



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN

“PROPUESTA DE APOYO SOLAR PARA LOS BAÑOS  
DEL ÁREA DE ACTIVIDADES DEPORTIVAS DE LA  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN”

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICOELECTRICISTA  
(ÁREA MECÁNICA)

P R E S E N T A:

BANDA CASTILLO RICARDO  
RAMÍREZ VILLA CARLOS EDWIN

ASESOR M. EN I. DAVID FRANCO MARTÍNEZ

OCTUBRE-2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*AGRADESIMIENTOS:*

*A la vida por permitirme concluir con esta etapa hermosa de la vida y poner en el camino a tantas personas que me apoyaron aunque sea tan solo un instante, una palabra, un gesto y hasta una mirada sirvieron para avanzar en un camino nada fácil. Gracias.*

*RAMÍREZ VILLA CARLOS  
EDWIN*

*BANDA CASTILLO RICARDO*

*A mi familia:*

*A mis padres:*

*Julia villa*

*De quien siempre mis compañeros me recordaron mi apellido*

*A mi familia, a una amiga y a una mujer. Todo esto por su impulso, siempre lo ha sido y una chica en especial, amiga y ejemplo, no podría jamás dejar de admirarla.*

*Marcelina Castillo Salinas  
Refugio banda castillo  
Sandra Banda Castillo  
Angélica Banda Castillo*

*Por su apoyo incondicional, gracias a su comprensión y guía he logrado uno de los anhelos de mi vida. Por lo cual les estaré eternamente agradecido.*

*A Liliana Zarate:*

*Por haber llegado a mi vida, estar a mi lado y llenándola de felicidad. Por haberme dado de nuevo ilusiones y esperanzas*

## *DEDICATORIAS:*

*A mi tutor de tesis:*

*Me en J. David Franco, por la paciencia que pocos me tuvieron.*

*A mis profesores:*

*Por todos los conocimientos que nos transmiten a todos los alumnos día a día con esmero*

*Ing. Alejandro Rodríguez Lorenzana por enseñarme lo que de verdad debía aprender.*

*Ing. Francisco Raúl Ortiz por ser más que un profesor, un amigo a lo largo de la carrera.*

*A la UNAM:*

*Por dejarme ser parte de este orgullo azul y oro, que llevaré con orgullo hasta el último halito de mi vida y por formar grandes profesionistas en todos los campos de la ciencia, para una mejoría en el país.*

# INDICE

Introducción.....	5
<b>I Calderas.....</b>	<b>7</b>
1. Generalidades.....	8
1.1. Definición.....	8
1.2. Partes y terminología.....	9
1.3. Sistema de control.....	10
1.4. Clasificación de calderas.....	12
1.4.1. Clasificación de acuerdo a la circulación de los fluidos dentro de los tubos de la caldera.....	12
1.4.2. Según los materiales.....	14
1.4.3. Según la combustión.....	15
1.4.4. Según su uso.....	18
1.4.5. Según la situación del hogar.....	19
1.4.6. Según su modo de producción.....	20
1.4.7. Según la toma de aire.....	20
1.4.8. Según el funcionamiento del hogar.....	21
1.4.9. De acuerdo a la presión de trabajo de la caldera.....	21
1.4.10. De acuerdo a la producción de vapor.....	22
1.4.11. De acuerdo al combustible utilizado.....	22
1.4.12. De acuerdo a la circulación del agua.....	24
1.4.13. De acuerdo al intercambio de calor.....	27
1.5. Controles básicos de la caldera.....	28
1.5.1. Control de nivel del domo.....	29
1.5.2. Tipos de alarma.....	31
1.5.3. Control de combustión.....	33
<b>II Métodos de cálculo de eficiencia de calderas pirotubulares.....</b>	<b>37</b>
2. Eficiencia en calderas.....	38
2.1. Método directo.....	40
2.2. Método indirecto.....	41
2.2.1. Perdidas por calor sensible en los humos.....	42
2.2.2. Perdidas por inquemados.....	43
2.3. Condiciones para realizar la prueba de eficiencia.....	44
2.3.1. Determinación de la eficiencia.....	45
2.4. Balance informal por el método de las perdidas.....	49
<b>III Análisis y cálculo de la eficiencia en las calderas de la FES Aragón.....</b>	<b>53</b>
3. Metodología para la obtención de datos.....	54
3.1. Localización del área de calderas.....	54
3.2. Determinación de los datos de entrada.....	55
3.2.1. Análisis de gases de combustión.....	55
3.2.2. Análisis elemental del diesel en peso.....	57
3.2.3. Consumo de combustible.....	58
3.2.4. Registro de lecturas en la tabla de datos de entrada.....	58

3.3.	Calculo de los datos faltantes para determinar la eficiencia.....	59
3.3.1.	Calculo del flujo de vapor.....	59
3.2.2.	Temperatura de bulbo húmedo.....	61
3.2.3.	Tabla de datos completa.....	62
3.4.	Calculo del calor absorbido por el generador de vapor.....	62
3.5.	Calculo de las pérdidas.....	63
3.6.	Determinación de la eficiencia.....	66
<b>IV</b>	<b>Propuesta de ahorro de energía.....</b>	<b>68</b>
4.	Calentadores solares.....	69
4.1.	Calentamiento del agua .....	69
4.2.	Definición de calentador solar.....	70
4.3.	Descripción de la energía solar.....	71
4.4.	Tipos de calentadores solares.....	73
4.5.	Componentes básicos de un calentador solar.....	77
4.6.	Uso del agua doméstica en general .....	80
4.7.	Consumo de agua por regadera .....	80
4.8.	Eficiencia en colectores solares.....	82
4.9.	Propuesta general para eficientar el sistema de agua para las regaderas de la Fes Aragón.....	83
4.9.1.	Propuesta de sustitución total del sistema de calentamiento por un sistema solar.....	86
4.9.2.	Consulta con un experto.....	87
4.9.3.	Percepción de la ganancia económica del proyecto.....	89
	Conclusiones.....	91
	Apéndice.....	93
	Bibliografía.....	99

## INTRODUCCIÓN:

El ahorro de energía se ha convertido en una necesidad en la actualidad, y la humanidad ha sido catalogada como una sociedad petróleo-dependiente por lo que se desarrollan nuevas tecnologías. Obtener energía de fuentes renovables es una solución y se ha dado la tendencia a optar por estas, y una de ellas es la energía solar.

En el primer capítulo se describe detalladamente los conceptos básicos de calderas, su clasificación y control. Esto ayuda a saber qué tipo de aparatos podríamos encontrar al momento de realizar el análisis y tomar las mediciones necesarias para los cálculos, además de saber específicamente que tipo de caldera analizaríamos y como funciona.

En el segundo capítulo se desarrollaron los diferentes métodos para el cálculo de la eficiencia, además del procedimiento para realizarlo. Lo cual nos sirvió para saber qué tipo de datos necesitaríamos y crear una tabla adecuada para la recopilación de datos.

En el tercer capítulo se organizaron los datos para iniciar con los cálculos necesarios a determinar y poder determinar las perdidas y eficiencia de la caldera. De esta forma comprobar lo que a simple vista habíamos predicho, la baja eficiencia de la caldera.

Por último el cuarto capítulo en el cual se propone el uso de calentadores solares como apoyo a la caldera y demostrar el ahorro que se llegaría a tener en el consumo de diesel y también se vería reflejado en las emisiones de gases de efecto invernadero, el cual sería otro de los objetivos del presente trabajo, proponer el uso de energías limpias.

Reducir nuestro consumo de energía se traduce en un ahorro para la economía familiar, personal o industrial y contribuye a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, principal causa del cambio climático. Por ello, es necesario reemplazar los combustibles fósiles por energías renovables (aprovechamiento del sol, el viento, cauces de agua, el calor de la Tierra) así como realizar un uso inteligente de la energía.

<sup>1</sup>La Comisión Nacional de Ahorro de Energía (Conae) estima que en México tenemos un potencial de ahorro de energía superior al 20%, lo que significa una economía de 100 mil millones de pesos al año.

---

<sup>1</sup> Greenpeace México. (Marzo del 2007). Guía de ahorro energético. Recuperado febrero del 2012, <http://es.scribd.com/doc/69489330/Guia-Para-El-Ahorro-de-Energia>

## **OBJETIVO Y JUSTIFICACIÓN**

El objetivo del presente trabajo, es realizar el análisis de eficiencia a una caldera la cual está ubicada en el área de actividades deportivas de la FES Aragón, para verificar su baja eficiencia la cual era evidente desde el momento de visitar la sala de calderas y proponer un sistema de calentamiento por medio de colectores solares, los cuales ahorrarían una cantidad considerable de dinero y lo más importante se dejaría de liberar gases contaminantes producto de la combustión.

La finalidad para la que fueron instaladas las calderas fue porque estaba planeado construir una alberca en el área donde se encuentra el gimnasio (parquet), ahora solo se usan para proporcionar agua caliente a las regaderas, por esto es que la capacidad de las calderas esta sobrada ya que no fueron usadas para su objetivo.

También tratamos de proponer el uso energías renovables como una necesidad actual y no como una tendencia.

# **CAPITULO I**

**CALDERAS.**

## 1. GENERALIDADES.

Las calderas o generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan o calientan el agua para aplicaciones industriales.

La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papín en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776. Inicialmente fueron empleadas como máquinas para accionar bombas de agua de cilindros verticales. Fue la impulsora de la revolución industrial, la cual comenzó en ese siglo y continúa en el nuestro.

### 1.1. Definición.

**Generador de vapor:** es un conjunto de aparatos y equipos auxiliares que se combinan para generar vapor, (caldera, economizador, sobre calentador de vapor, pre calentador de aire, etc.)

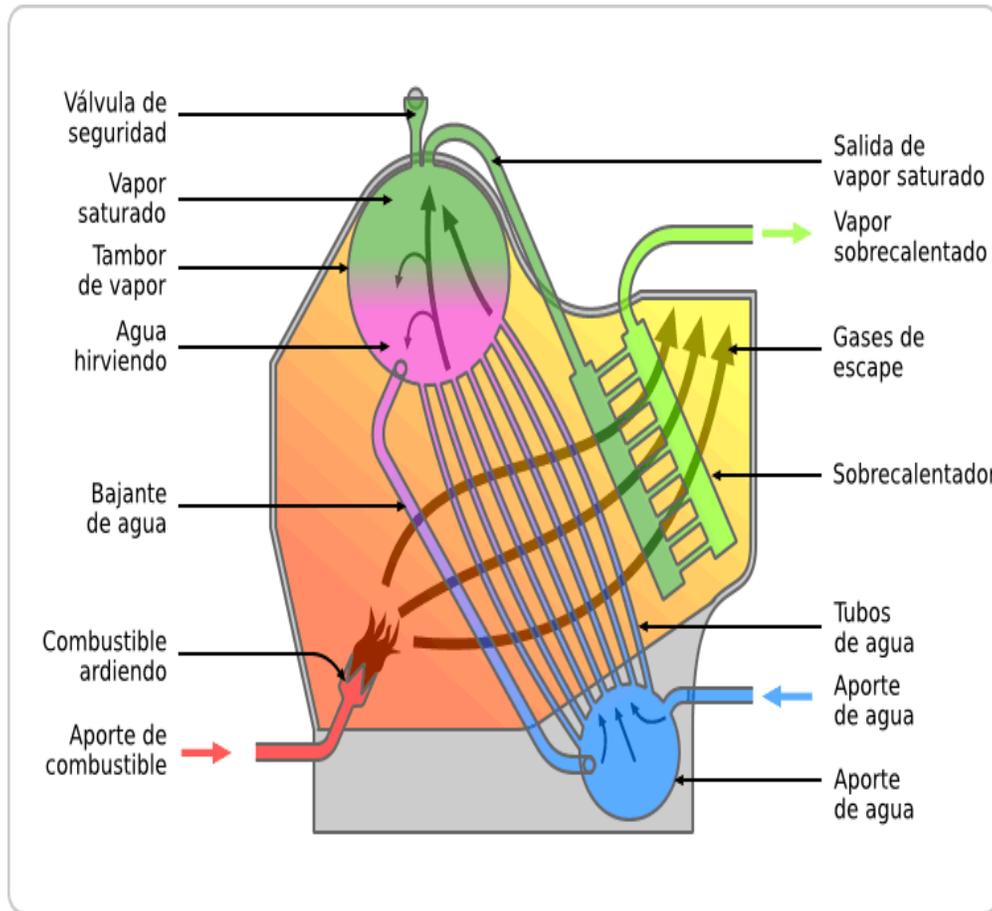
**Caldera de vapor:** es un recipiente cerrado a presión en el cual se genera vapor de agua, utilizando el calor liberado de un combustible o por gases calientes provenientes de un proceso externo o del uso de electricidad.

El término caldera se aplica a un dispositivo para generar vapor, fuerza, procesos industriales, calefacción, agua caliente para uso general. Por razones de sencillez de comprensión, a la caldera se le considera como un productor de vapor en términos generales. Sin embargo muchas calderas diseñadas para vapor se pueden convertir en calentadores de agua.

Las calderas son diseñadas para transmitir calor de una fuente externa (generalmente combustión de algún combustible), a un fluido contenido dentro de la misma caldera. Si este fluido no es agua ni vapor, por ejemplo mercurio, a la unidad se le clasifica como vaporizador (generador de vapores) o como un calentador de líquidos térmicos.

De cualquier forma que sea, este líquido debe estar dentro del equipo con las debidas medidas de seguridad. El vapor o agua caliente, debe ser alimentado en las condiciones deseadas, es decir, de acuerdo con la presión, temperatura y calidad, y en la cantidad que se requiera. Por razones de economía, el vapor debe ser suministrado con un mínimo de pérdidas.

## 1.2. partes y terminología.



<sup>2</sup>Fig. N° 1.1 Partes de una caldera acuotubular.

En la figura 1.1 se muestran algunas de las partes de una caldera ordinaria, y además podríamos mencionar el hogar, aislamiento térmico, tapas para inspección y acceso, válvulas, sistema de control y chimeneas. Podría haber otras partes dependiendo del tipo de caldera.

**Hogar:** área de la caldera donde son producidos los gases calientes efecto de la combustión. La flama actúa directamente en el quemador y está cercano a la zona que contiene el fluido de trabajo.

**Suavizador:** dispositivo que remueve los sólidos no evaporables del agua que será enviada a la caldera. Este dispositivo puede ser un simple filtro o bien puede

<sup>2</sup> Water\_tube\_boiler\_schematic.png: Emoscopes (2010-07-09 07:59 UTC). consultado en septiembre 2011  
Schematic diagram of a water-tube marine-type boiler.  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Water\\_tube\\_boiler\\_schematic-es.png?uselang=es](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Water_tube_boiler_schematic-es.png?uselang=es)

ser todo un sistema que mantenga el agua en circulación adsorbiendo por distintos métodos los sólidos, evitando que dañen los componentes móviles de la caldera o turbina si es que después continúa en el sistema.

**Chimenea:** sección de la caldera a través de la cual salen los gases de escape hacia la atmósfera. Este lugar es una zona estratégica para el aprovechamiento eficiente del calor que aún mantienen los gases de combustión.

**Purga:** proceso de remover los contaminantes no evaporables en el interior de la caldera. Estos son los contaminantes que no fueron removidos por el suavizador si lo hubiera.

La capacidad de una caldera es determinada por la cantidad de vapor (medido en lb/hr, kg/hr, Ton/hr, etc) producidas por la caldera a una presión y temperatura especificada por el fabricante. Por ejemplo 25,000 kg/hr a 7 bar. Para unidades más pequeñas se utiliza el caballo de caldera o BHP (boiler horse power) y equivale a 15.6 kg/hr o 33.475 btu/hr.

### **1.3. Sistema de control.**

Son controladores y dispositivos de campo que proveen la adecuada mezcla de aire y combustible para evaporar segura y económicamente el agua en el domo de la caldera.

- Condensado. Líquido restante después de que el vapor es utilizado por el proceso. Generalmente es regresado a la caldera para reutilizarse, y es recibido en un tanque que recoleta el vapor condensado (agua) proveniente de los procesos.
- Desareador. Tanque que calienta el agua de alimentación cerca de su punto de ebullición para remover cualquier oxígeno disuelto en el agua, y con esto llegar al vapor seco más fácilmente.
- Desmineralizado. Este es el elemento que remueve los contaminantes no evaporables del agua tales como sales y minerales. Evitando así que sean arrastrados por el vapor en su paso por las tuberías y dañen las piezas móviles del sistema.
- Tiro. Es el flujo de aire a través de la caldera que entra para alimentar el hogar. Incluye aire para la combustión y gases de escape.
- Domo. Área de la caldera donde es producido el vapor o los contaminantes no evaporables son recolectados.

- Nivel de domo. Nivel del agua en el interior del domo de vapor la cual está disponible para evaporación.
- Control de nivel de domo. mantiene el nivel del agua en un punto óptimo para la producción de vapor.
- Combustible dual. Caldera que utiliza dos tipos de combustible. Una caldera puede ser construida para quemar gas y aceite, aceite y sólidos (tales como madera o bagazo de caña). Uno de los combustibles es utilizado como primario y el otro como un *backup*.
- Economizador. Dispositivo que recupera calor de los gases de escape y lo regresa al domo de vapor para aumentar el calor producido por el horno.

Exceso de aire.

Aire no quemado que sale con los gases. Es utilizado para medir la eficiencia de la combustión y también es conocido como exceso de oxígeno ( $O_2$ )

Tiro forzado.

Se puede obtener soplando en el interior de los hogares herméticos debajo de las parrillas y hogares mecánicos o a través de quemadores de carbón pulverizado. El aire se introduce a presión y atraviesa el lecho del combustible o quemador para llegar hasta la cámara de combustión del hogar, tratándose de tiro forzado, la técnica seguida consiste en evacuar los productos de la combustión de la caldera propiamente dicha, por tiro natural, inducido o combinado de los dos.

Tiro inducido.

Consiste en un ventilador de chorro o centrífugo movido por vapor o por electricidad, que está instalado en la base de la chimenea. La aspiración de este ventilador crea un cierto vacío que absorbe los gases de la combustión del ducto de humos y los impele a la chimenea. El ventilador debe ser capaz de absorber grandes volúmenes de gases calientes, razón por la que lleva cojinetes refrigerados por agua.

Combustible.

Sustancia utilizada para encender la caldera. Puede ser aceite, bunker, gas, bagazo de caña, madera, etc.

Relación aire combustible

Es la proporción de combustible a aire durante el proceso de combustión. Aunque suele ser común dar un exceso de aire para asegurar la total combustión del combustible.

Control de relación aire combustible

Control que mantiene la relación correcta de aire y combustible para la combustión completa del segundo y prevención de condiciones de relaciones muy ricas en el mismo. Comúnmente es una perilla o llave que tiene la función de abrir o cerrar la entrada de aire a la llama.

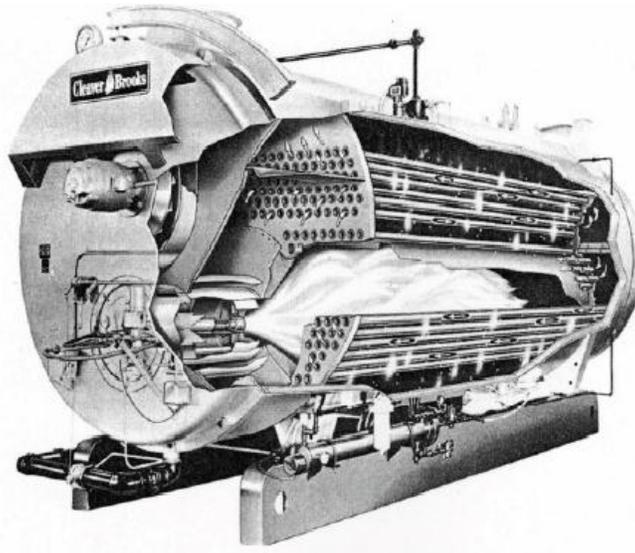
#### **1.4. clasificación de calderas.**

Las calderas se clasifican según diferentes criterios, siendo el mas común, tomando en cuenta lo que circule por el interior de los tubos o disposición de los tubos. Enseguida se mencionan algunas clasificaciones de acuerdo a los siguientes criterios:

1.4.1. Clasificación de acuerdo a la circulación de los fluidos dentro de los tubos de la caldera.

a) Calderas pirotubulares o de tubos de humo.

Se denominan así porque en estas calderas los gases de la combustión circulan por el interior de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección. Todo este sistema está contenido dentro de un gran cilindro que envuelve el cuerpo de presión.



**<sup>3</sup>Fig. N° 1.2. Calentador SM de cuatro pasos**

<sup>3</sup> Imágenes de presentación. ALHU INTERNATIONAL, INC. Consultado en septiembre del 2011.  
[http://www.caballano.com/calderas\\_archivos/image004.jpg](http://www.caballano.com/calderas_archivos/image004.jpg)

*Se fabrican en capacidades que van desde 1 BHP hasta aproximadamente 900 BHP, en unidades estandarizadas de 5, 10, 20, 40, 100, 200 y más BHP.*

*Las presiones de operación más comunes son de 150 Psi y 250 Psi aun cuando pueden trabajar a presiones más bajas.*

*Son de bajo costo ya que su fabricación es muy sencilla y se utilizan para quemar combustibles gaseosos, líquidos y sólidos*

b) Calderas acuaturbulares.

En estas calderas, 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. En este tipo de calderas además el hogar (recinto donde se produce la combustión) está conformado por paredes de tubos de agua. En ellas el intercambio es básicamente por radiación desde la llama.

Cuando se requieren presiones superiores a 300 Psi se hace indispensable la utilización de las calderas acuaturbulares aun cuando pueden operar desde de 120 Psi en adelante.



**<sup>4</sup>Fig. N° 1.3. Corte transversal de una caldera de tubos conductores de agua.**

---

<sup>4</sup> Imágenes de catálogo. THERMAL AUSTRAL. consultado en septiembre del 2011.  
<http://www.thermalaustral.com/wp-content/uploads/2010/09/caldera-02-300x300.jpg>

Las acuotubulares se fabricaban en una gran variedad que a su vez estaban clasificadas en:

- Calderas de tubos concéntricos
- Calderas de láminas de agua o cabezales
- Calderas de colectores
- Calderas de tubos
- Calderas especiales

#### 1.4.2. Clasificación según los materiales.

a) Fuertes: acero especiales.

En todo aparato a presión en 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.

Las calderas son un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas de intercambiadores de calor, en las cuales se produce un cambio de fase. En ambientes especiales de la industria, es necesario este cambio de fase a altas velocidades y a temperaturas elevadas.

Importantes áreas como la farmacéutica y la química, requieren de cantidades grandes cantidades de vapor seco, generado rápidamente para el control de reacciones y esterilidad, por lo cual algunas calderas son específicamente en funciones de alta temperatura en volúmenes relativamente pequeños de agua. Esto conlleva un aumento de la presión de trabajo dentro de las calderas, lo que es un riesgo en sistemas interconectados, por lo cual son construidas en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas.

b) Calefacción: Hierro colado.

Utilizadas comúnmente dentro de las viviendas para calefacción, las calderas de hierro fundido son comunes para ser utilizadas con leña o gas. Gracias a su pequeño tamaño y siendo que es para una construcción a presión, permite que los elementos sean montados eficientemente. Además que su construcción no requiere gran resistencia sino un uso estético y simple.



<sup>5</sup>Fig. N° 1.4. Calderas de vapor a altas presiones fabricada con placas de acero inoxidable

#### 1.4.3. Clasificación Según la Combustión.

##### a) Fuego.

Este tipo de calderas son el equipo integrante de la central térmica destinada a extraer la energía calorífica del combustible y cedérsela al fluido que circula por su interior, agua o vapor.

Los combustibles se introducen en el hogar de manera que alimenten directamente la llama. Esto se realiza en los gaseosos con relativa facilidad, en los líquidos pulverizándolos en forma de gotitas lo más pequeñas posibles y en los sólidos moliéndolos a tamaños muy finos e inyectándolos en la caldera arrastrados mediante una corriente de aire.

##### b) Nuclear.

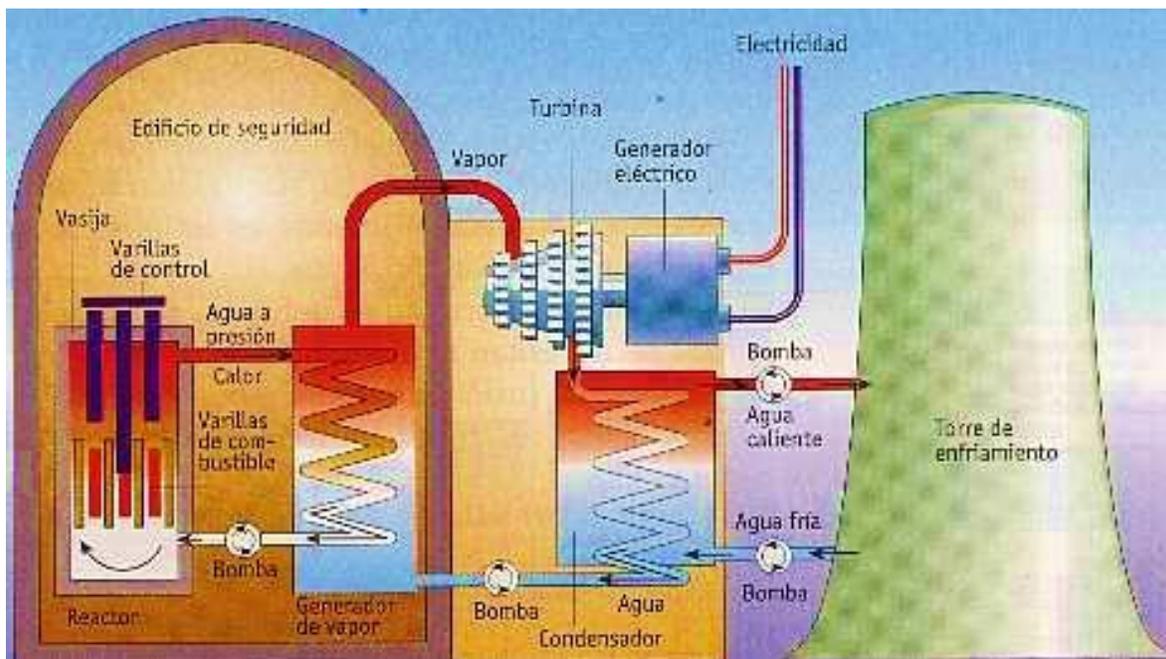
La energía nuclear es una de las formas de obtener electricidad en gran escala, una de las fuentes de energía más modernas. Ella compite con el carbón, el óleo combustible y el gas natural. Sin embargo, en las próximas décadas estos combustibles serán extintos o quedarán extremadamente nocivos para el medio ambiente.

---

<sup>5</sup> Imágenes de catálogo. Direct INDUSTRY. PIROBLOC. Consultado en septiembre del 2011.  
[http://img.directindustry.es/images\\_di/press-m2/pirobloc-introduce-el-acero-inoxidable-externo-en-sus-calderas-P344563.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/press-m2/pirobloc-introduce-el-acero-inoxidable-externo-en-sus-calderas-P344563.jpg)

El principio elemental de funcionamiento de un reactor nuclear es la rotura (fisión) de los núcleos de los átomos de la masa del material fisionable (denominado combustible nuclear), por medio de los neutrones capturados por ellos, con liberación de energía térmica y emisión de algunos neutrones (entre dos y cuatro, estadísticamente 2,56 por cada fisión), además de la formación de dos núcleos de masas inferiores.

Es común considerar a los reactores nucleares únicamente como intercambiadores de calor, ya que el calor producido por la fisión es transmitido a un líquido que lo rodea, normalmente agua tratada, el cual llega a su punto de ebullición rápidamente y aumenta la presión. El vapor es direccionado hacia una turbina generadora, la cual aprovecha la energía cinética del vapor y con ella produce energía eléctrica o bien el vapor es utilizado directamente usado en procesos químicos.



<sup>6</sup>Imagen. 1.5. Ciclo de generación de vapor para producción de electricidad usando energía nuclear.

### c) Eléctrica

Las calderas eléctricas pueden asemejarse a las de gas en climatización o funcionamiento pero sus componentes difieren mucho; una caldera eléctrica estándar posee: ingreso de agua fría y salida de agua caliente; requiere de una

<sup>6</sup> Imágenes de Google Libros electrónicos. Ciencias de la Tierra y del Ambiente. Consultado en septiembre del 2011

instalación mínima para conexiones libres o para sistemas ventilados y sin ventilar. Su rendimiento está estimado en un 99,8%, es un sistema libre de contaminación; no requiere de ventilación, no desperdician calor y por lo tanto logran una eficiencia mayor a cualquier otro calefactor. Además de que en el uso común no producen ruidos ni humos.

Con respecto al mantenimiento de las calderas eléctricas podemos decir que éste es mínimo además que nunca se tendrán problemas de provisión de combustible. Las calderas eléctricas son las únicas que pueden ofrecer una excelente provisión de agua caliente sanitaria como de calefacción.

Los modelos de calderas eléctricas actuales incluyen: termostato de control, purgador automático, termómetro incorporado (0°- 120°C), válvula de vaciado, programador de hora, bomba aceleradora, válvula de seguridad, vaso de expansión membrana y las estructuras suelen estar pintada en resina epoxi.

Este tipo de calentadores son de uso más tecnológico, ya que funcionan mediante programas y horarios de consumo. Además que mantienen una seguridad muy alta por sus múltiples sensores tanto de presión, temperatura, alcalinidad del agua y flujo de líquido.



**<sup>7</sup>Imagen. 1.6. Caldera de vapor eléctrica PIROBLOC armada como monobloc, elementos de control y seguridad de un armario eléctrico.**

---

<sup>7</sup> Imágenes de catálogo. Direct INDUSTRY. PIROBLOC. consultado en septiembre del 2011.  
<http://pirobloc.blogspot.mx/2008/11/calderas-elctricas-de-vapor-pirobloc.html>

#### d) Biomasa.

Las plantas transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica; la energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola en combustible.

La biomasa, como recurso energético, puede clasificarse en biomasa natural, residual y los cultivos energéticos.

- La biomasa natural es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana. Por ejemplo, las podas naturales de los bosques.
- La biomasa residual es el subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas (poda, rastrojos, etc.), silvícolas y ganaderas, así como residuos de la industria agroalimentaria (alpechines, bagazos, cáscaras, vinazas, etc.) y en la industria de transformación de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles, etc.), así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.
- Los cultivos energéticos son aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria (cereales y remolacha para producción de bioetanol y oleaginosas para producción de biodiesel), existen otros cultivos como los lignocelulósicos forestales y herbáceos.

La biomasa es un tipo de combustible sólido generado naturalmente y que puede o no, pasar por procesos químicos para convertirse en hidrocarburos, más eficientes que la quema directa.

#### 1.4.4. Clasificación según su uso.

##### a) Estacionarias (calefacción).

Se llama caldera a un recipiente que sirve para calentar agua. En los sistemas de calefacción, la caldera es el artefacto en el que se calienta agua, por medio de un combustible, que luego se distribuirá por los emisores mediante una red de tuberías.

El agua puede calentarse a diferentes temperaturas. En las calderas normales no se suelen sobrepasar los 90 °C, por debajo del punto de ebullición del agua a presión atmosférica. En calderas más grandes, para dar servicio a barriadas, se llega hasta los 140 °C, manteniendo la presión alta en las conducciones para que no llegue a evaporarse (agua sobrecalentada)

#### b) Móviles (locomotoras).

La locomotora de vapor típica emplea una caldera horizontal cilíndrica con el hogar en la parte posterior, parcialmente dentro de la cabina que protege a los operarios de las inclemencias meteorológicas. El hogar es el lugar donde se quema el combustible. Está formado por cuatro paredes laterales y un techo al que se denomina cielo. En la base se encuentra la parrilla o quemador, sobre el que se deposita el combustible, y bajo la parrilla, una caja para recoger las cenizas o cenicero y la boca por la que entra el aire para la combustión. Los humos del hogar salen por una serie de tubos situados longitudinalmente dentro de la caldera y rodeados de agua, a la que transmiten el calor. El conjunto de tubos se denomina haz tubular, y algunos de mayor diámetro contienen en su interior otros más finos por los que discurre vapor para ser recalentado y aumentar así la potencia de la locomotora. En la parte frontal de la caldera se encuentra la caja de humos, a donde va a parar el humo tras haber pasado por los tubos del haz, antes de salir por la chimenea, que sobresale en la parte superior. El vapor se recoge en la parte más alta de la caldera, bien sea a través de un tubo perforado, situado por encima del nivel del agua, o bien en un domo (cúpula en la parte superior). El vapor sale de la caldera a través de una válvula reguladora, conocida también como "regulador".

#### 1.4.5. Clasificación según la situación del hogar.

##### a) Interna.

Consta esencialmente de un cuerpo cilíndrico cerrado por medio de dos placas que se unen entre sí con dos barras de refuerzo para evitar las deformaciones que originan los grandes esfuerzos. Estos hogares utilizan tubos corrugados para una mejor operación y transferencia de calor, estos tubos se encuentran fijados, por un lado, a la chapa frontal de la caldera y por la otra extremidad a la cámara de humo donde desembocan los gases de combustión. Los gases que llegan a la cámara de humos deben atravesar el haz tubular antes de llegar a la base de la chimenea situada en el frente de la caldera.

##### b) Externa.

En este tipo de calderas, veremos las características de funcionamiento de la caldera con tubos hogares "Cornualles". Estas calderas están formadas por un cuerpo cilíndrico principal de fondos planos o convexos, conteniendo en su interior uno o dos grandes tubos sumergidos en agua, en cuya parte anterior se instala el hogar.

Caldera de gran volumen de agua, el hogar se encontraba de manera exterior, ejemplo de este tipo es la caldera cilíndrica sencilla.

c) Llama invertida.

Las calderas de llama invertida tienen esta denominación por la posición de la cámara de combustión, situada debajo del hueco en el que se carga el combustible.

Normalmente, se trata de calderas equipadas con un rotor para la circulación forzada del aire comburente. En algunos modelos (de aire *soplado*), el rotor se encuentra en el lado anterior de la caldera y empuja el aire en el interior haciéndolo fluir a través del combustible hasta la salida de humos. En otros modelos, el rotor se encuentra en la parte posterior, en el lugar de la salida de humos, y aspira los gases de combustión creando una depresión en la caldera que permite la atracción del aire comburente desde el exterior.

#### 1.4.6. Clasificación según su modo de producción.

a) De combustión continua.

Las de combustibles sólidos, se encienden al comienzo de la jornada y se regula la potencia mediante la regulación de la entrada de aire. La caldera se mantiene encendida durante todo el día. Normalmente, funcionan con combustibles sólidos como la leña, el carbón, la biomasa

b) De combustión intermitente.

Las de combustibles fluidos; se encienden a ratos, más o menos largos según la potencia demandada).

La caldera se enciende a intervalos de diferente duración según la potencia calorífica deseada, como la de gas o la eléctrica. Son variadas en su uso dependiendo las distintas épocas del año en la que el calor generado puede disiparse más rápidamente o lentamente.

#### 1.4.7. Clasificación según la toma de aire.

a) Estancas.

Tienen la cámara de combustión aislada y disponen de dos tipos de conductos: uno que permite la entrada del aire y otro que facilita la salida tras su combustión. Además, pueden ser aún más seguras si son de tiro forzado, es decir, complementándose con un extractor que fuerza los humos hacia el exterior.

b) Tiro natural o libre.

Toman el aire de la atmósfera para reavivar la combustión interna. Hay que tener cuidado con ellas, pues muchas veces cuando no entra suficiente aire y se puede producir una mezcla de aire venenoso que es el monóxido de carbono (CO). Deben tener un sistema de seguridad antiretorno de gases para evitarlo.

#### 1.4.8. Clasificación según el funcionamiento del hogar.

a) De hogar en sobrepresión.

Quemador con soplante, para combustibles fluidos, generalmente de combustión intermitente). Son atmosféricas y encienden una llama a la presión ambiente.

b) De hogar en depresión.

En el que el aire de combustión lo aporta el tiro de la chimenea (combustión de sólidos en general y calderas atmosféricas de gas). Actúan con quemador suplante, que es un ventilador que aumenta la presión ambiente y suele ser de combustión intermitente

#### 1.4.9. Clasificación de acuerdo a la presión de trabajo de la caldera.

a) Calderas de baja presión

Calderas que producen vapor a baja presión, hasta unos 4 o 5 kg/cm<sup>2</sup>. Este rango de presiones es más común en las calderas de agua caliente que en las calderas que generan vapor.

b) Calderas de media presión

Producen vapor hasta aproximadamente 20 kg/cm<sup>2</sup>. Generalmente vapor saturado, utilizadas en la industria en general.

c) Calderas de alta presión

Asociadas a ciclos de potencia, trabajan con presiones de 20 kg/cm<sup>2</sup> hasta presiones cercanas a la crítica.

d) Calderas supercríticas.

Son calderas que trabajan con presiones superiores a la crítica: 225,56 ata, 374,15 fC. Utilizadas en grandes plantas de generación de energía eléctrica, en EEUU y en algunos países de Europa, también hay algunas en Japón.

#### 1.4.10. Clasificación de acuerdo a la producción de vapor.

##### a) Calderas chicas

Producen de 1 a 2 toneladas de vapor saturado por hora.

##### b) Calderas medianas

Producciones de hasta aproximadamente 20 toneladas de vapor por hora. Las calderas chicas y medianas casi en su totalidad son calderas humo tubulares de baja y media presión.

##### c) Calderas grandes

Calderas que producen desde 20 toneladas de vapor por hora, siendo normal encontrar producciones de 500 y 600 toneladas por hora. Generalmente vapor sobrecalentado, siendo calderas acuotubulares.

#### 1.4.11. Clasificación de acuerdo al combustible utilizado.

##### a) Calderas de combustibles líquidos

Se fabrican Generadores de Vapor de todo tipo y tamaño que utilizan combustibles líquidos. Requieren de instalaciones de almacenaje y tanques de servicio, de elementos de precalentamiento del fuel además de sistemas de bombeo y transporte.

La viscosidad de estos combustibles varía desde 30 – 40 cSt (100°C) en los fuel de baja viscosidad hasta 700 cSt (100°C) y más para combustibles de alta viscosidad, como los utilizados en sistemas de generación eléctrica.

En las plantas industriales en general se utiliza fuel de viscosidad del orden de 380 - 450 cSt (100°C). Es normal tener que precalentarlos a 30 – 40°C para reducir su viscosidad y poder bombearlos hasta los quemadores.

Para una buena atomización del combustible en quemadores que no utilicen vapor para atomizar se requiere una viscosidad de 25 a 30 cSt (100°C), y utilizando atomización con vapor se pueden manejar viscosidades entre 55 y 70 cSt (100°C), por lo tanto es necesario precalentar el combustible a temperaturas desde 80 a 130 °C en el quemador. En unidades grandes es común arrancar con un combustible de baja viscosidad y luego pasar a utilizar uno más viscoso.

Los quemadores que utilizan combustibles líquidos se instalan generalmente horizontales. Hay algún tipo de quemadores de ángulo regulable para poder variar el intercambio por radiación en el hogar.

La turbulencia del aire que entra al quemador es importante para obtener una correcta combustión y un largo de llama apropiado, de tal manera que no dañelas paredes de refractario o las paredes de tubos de agua y al mismo tiempo asegure una combustión completa de todas las gotas de fuel. Para esto es fundamental el dimensionamiento correcto del tamaño del hogar.

#### b) Calderas de combustible gaseosos

Utilizan tanto gas natural como GLP, aire propanado o gas obtenido en gasificadores. Generalmente los quemadores de gas trabajan con muy baja presión, por lo que es común que tengan sistemas de reducción de presión importantes.

En el caso de tener asociado un gasificador que suministre un gas pulverizado se utilizan cámaras torsionales a fin de aumentar el tiempo de permanencia del combustible en el hogar. Es importante lograr una buena mezcla de aire-gas.

Con los combustibles gaseosos el riesgo de explosiones por acumulación de combustible no quemado es grande, por lo que es sumamente importante prever las medidas de seguridad adecuadas. La posición de los quemadores de gas es similar a la de los que utilizan combustibles líquidos.

Es común utilizar quemadores duales, que permitan el uso de uno u otro combustible, dependiendo de su disponibilidad y costo. La emisividad de las llamas de estos combustibles es diferente, por lo que el intercambio por radiación resultará distinto según el combustible utilizado, Lo mismo ocurre con la temperatura de los humos a la salida del hogar y con las condiciones de intercambio en las zonas convectivas de la caldera. Son factores que hay que tener en cuenta, ya que modifican los resultados obtenidos en el equipo. De cualquier manera el fuel oíl y el gas natural son de los combustibles más fácilmente intercambiables.

#### c) Calderas de combustibles sólidos

Los combustibles sólidos utilizados son muy variados: leña en todos los tamaños (rolos, astillas, chips), deshechos de producción (pellets de madera, aserrín, bagazo de caña de azúcar, cáscara de arroz), carbón (en distintos grados de pulverización), etc. Cada uno requerirá una tecnología apropiada para poder quemarlos de la mejor manera, desde molinos para pulverizarlos finamente hasta grillas muy sofisticadas.

El diseño del hogar para estos combustibles es sumamente complejo, teniendo que considerar el ingreso de aire suficiente y su correcta mezcla con el

combustible, la permanencia de las partículas en el hogar para quemarse completamente y la disposición de las cenizas entre otros factores.

En general resultan hogares de mayor volumen que los utilizados en caleras de combustibles líquidos y gaseosos.

Los combustibles polvorientos, finamente molidos se inyectan en el hogar mediante toberas apropiadas. Hay algún tipo de combustible que se quema en un lecho fluidizado, regulado mediante el ingreso de aire a distintas alturas del hogar. (Este sistema se utiliza también en las calderas de recuperación de la industria de la celulosa).

En el caso de combustibles no polvorientos el diseño de las grillas que los sostienen durante la combustión es de fundamental importancia. En países desarrollados se utilizan calderas que queman los residuos sólidos urbanos.

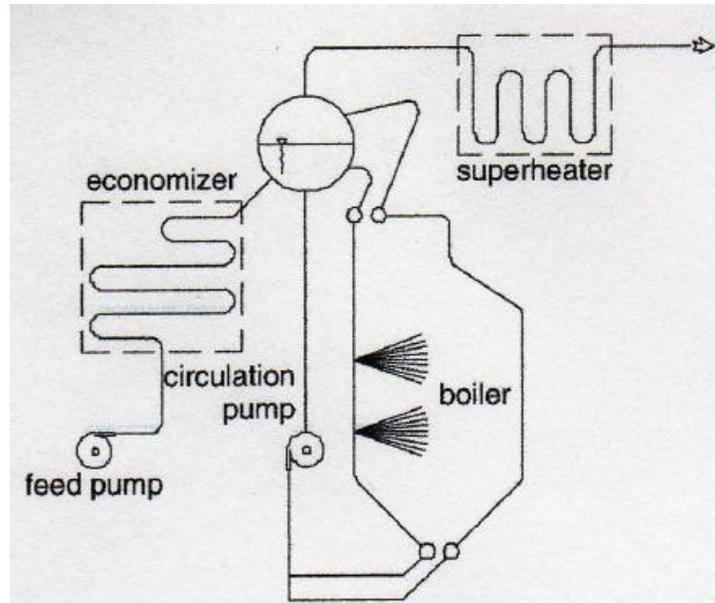
#### 1.4.12. Clasificación de acuerdo a la circulación del agua.

Es una clasificación que tiene sentido únicamente en las calderas acuotubulares. En las humotubulares la circulación del agua en el interior es siempre por convección natural.

##### a) Circulación natural.

La circulación del agua y de la mezcla agua-vapor ocurre naturalmente debido a la diferencia de densidades entre el agua más fría y la mezcla de agua- vapor (efecto sifón). Implica entonces tener un circuito cerrado por donde circula el agua y una diferencia de altura apreciable entre las partes altas y bajas del equipo.

Los generadores chicos, los de potencia mediana y una buena parte de los grandes generadores de vapor son de circulación natural.



<sup>8</sup>Fig. 1.7. Diagrama de posición de una caldera de circulación natural en donde se ve la posición del agua y del vapor.

Las calderas de circulación natural se clasifican a su vez en.

1) Circulación limitada. Son aquellas en las que el agua forma un circuito cerrado desde su entrada en la caldera hasta su salida en forma de vapor quedando limitada la circulación a la reposición de la cantidad vaporizada. Ejemplo: la Belleville

2) Circulación libre. Son aquellas en las que los movimientos circulatorios del agua son los naturales originados por la corriente de convección. Ejemplos: la cilíndrica Babcock&Wilcox de cabezales o la caldera Field.

3) Circulación acelerada. Son aquellas en las que la circulación está favorecida por la disposición de los elementos que la componen, disposición que hace que la velocidad de circulación pueda alcanzar hasta los 1,2 metros por segundo a éste tipo pertenecen BabcockWilcox de colectores, Schütz, Thornicroft, Foster Wheeler La Seine, Wagner o Yarrow, entre otras.

<sup>8</sup> UDELAR – FACULTAD DE INGENIERÍA GENERADORES DE VAPOR. Consultado en septiembre del 2011.  
<http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/genvap/material/Clasificacion.pdf>

#### b) Circulación asistida.

En este caso la circulación en los tubos de la caldera es complementada por bombas instaladas en el circuito. La caldera consiste en un circuito cerrado, pero permite construcciones más compactas incluso con tubos inclinados.

Se utiliza en aquellos caso en que la diferencia entre las densidades del fluido frío y del caliente no es demasiado grande, típicamente para presiones superiores a los 140-160 bar.

Brindan una respuesta más rápida ante variaciones en la demanda de vapor que los de circulación natural, pero las bombas trabajan con agua caliente y a altas presiones, son más costosas y requieren importantes mantenimientos. En general se debe instalar un sistema de respaldo para evitar la parada de toda la caldera por salida de servicio de la bomba.

#### c) Circulación forzada.

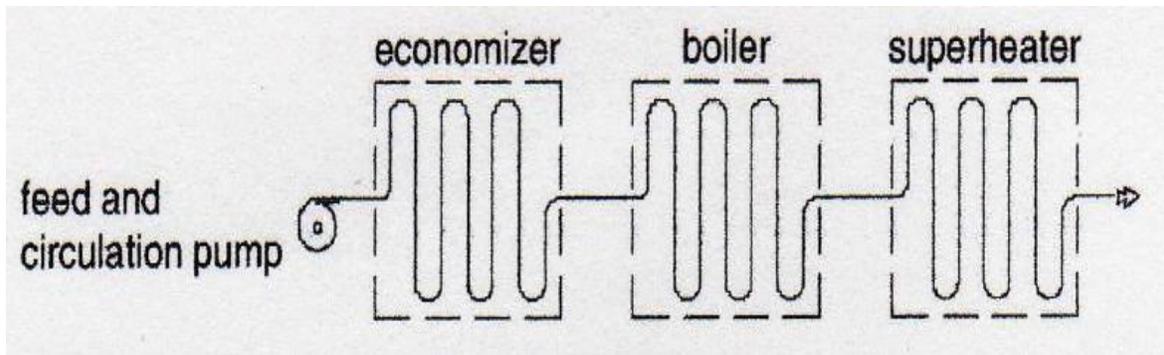
Este tipo de calderas tiene una concepción distinta, se trata de un circuito abierto y no cerrado. La bomba impulsa el agua a través de una primera superficie de intercambio donde se precalienta, luego pasa a un segundo intercambiador donde se vaporiza y luego, en algunos casos, pasa a un tercer intercambiador donde se sobrecalienta.

A diferencia de las anteriores no hay una masa de agua circulando sin vaporizarse, la bomba entrega toda el agua que se vaporiza.

No hace falta resaltar la importancia de la bomba en este diseño, un paro de la bomba implica un paro de la caldera.

Las calderas de circulación forzada pueden ser:

- 1) De un solo paso. En las cuales el agua impulsada hacia los tubos vaporizadores se convierte totalmente en vapor. De este tipo tenemos a las Benson y Sulzer
- 2) De recirculación. En las cuales solo se convierte en vapor una parte del agua que circula mientras la restante vuelve al circuito de circulación. De este tipo son: La caldera La Mont, la Velox.



**<sup>9</sup>Fig. N° 1.8. Diagrama de caldera en circulación forzada en serie.**

#### 1.4.13. Clasificación de acuerdo al intercambio de calor

Hay que aclarar previamente que no es una clasificación estricta, refiere al tipo de intercambio predominante que se da en las superficies de vaporización (se excluyen los intercambios en las superficies de recuperación: pre calentadores y sobre calentadores). En todas las calderas se tienen intercambios por radiación y por convección, difícilmente se encuentre uno solo de estos tipos.

En el hogar el intercambio es predominantemente por radiación desde la llama, pero hay zonas del mismo donde se puede producir intercambio por convección desde el flujo de humos (por ej. en la última parte del hogar de una caldera humo tubular). Así mismo en las restantes superficies de intercambio (bancos de convección y tubos de humos), además del intercambio conectivo podemos tener radiación desde los gases a alta temperatura.

a) Radiantes, o de radiación total.

Son aquellas calderas que solo tienen hogar, y allí prácticamente todo el calor es intercambiado por radiación.

En general se trata de calderas acuatubulares grandes, donde los tubos en donde se genera el vapor conforman las paredes del hogar. Las altas temperaturas que se tienen en la combustión hacen que se tenga un intercambio muy importante de calor por radiación. Además estas calderas trabajan a presiones elevadas, con lo que el calor de vaporización necesario es relativamente bajo, y al utilizar agua de alimentación previamente calentada hasta temperaturas muy cercanas a la de saturación, se consigue que las paredes de tubos del hogar sean suficientes para transferir todo el calor de vaporización necesario.

<sup>9</sup>UDELAR – FACULTAD DE INGENIERÍA GENERADORES DE VAPOR. Consultado en septiembre del 2011 <http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/genvap/material/Clasificacion.pdf>

b) Convectivos.

Típicamente son las calderas HRSG (HeathRecoverySteamGenerator), sin cámara de combustión. Utilizan un fluido caliente como fuente de calor, producto de algún proceso previo (hornos de fundición, hornos de vidrio, turbinas de gas, motores diesel, etc.)

c) De calentamiento indirecto.

Son calderas de fluidos térmicos en las que se calienta un fluido intermedio, típicamente un aceite, y este es el que al circular por un intercambiador, genera el vapor de agua. El fluido es nuevamente recirculado hacia la caldera.

### **1.5. CONTROLES BÁSICOS DE LA CALDERA.**

La caldera es el equipo que convierte agua en vapor aplicando calor o energía proveniente de la combustión en un quemador. De su correcta elección y equipamiento depende en buena parte el rendimiento total del sistema de vapor.

El vapor proveniente de la caldera debe ser suministrado en la cantidad, presión y temperatura correctas, libres de aire y gases incondensables, limpias y secas.

Los objetivos del equipamiento de la caldera son:

- Funcionamiento
- Seguridad
- Eficiencia

En cuanto a los controles que se colocan para el buen funcionamiento de la caldera podemos mencionar:

- Sistema de control de nivel de agua
- Control de bomba de agua de alimentación
- Control del quemador de combustible
- Presostatos
- Válvulas de interrupción o de corte
- Manómetros

Para la seguridad de la instalación y sus alrededores incluyendo el factor humano tenemos los siguientes controles elementales:

- Indicadores y alarmas de nivel
- Válvulas de seguridad

- Válvulas de retención
- Presostatos
- Normas de construcción, ubicación y operación

Para una mayor eficiencia contamos con:

- Tratamiento del agua de alimentación
- Control de purgas de caldera
- Control de la combustión
- Alimentación de combustible

#### 1.5.1. Control de nivel de domo.

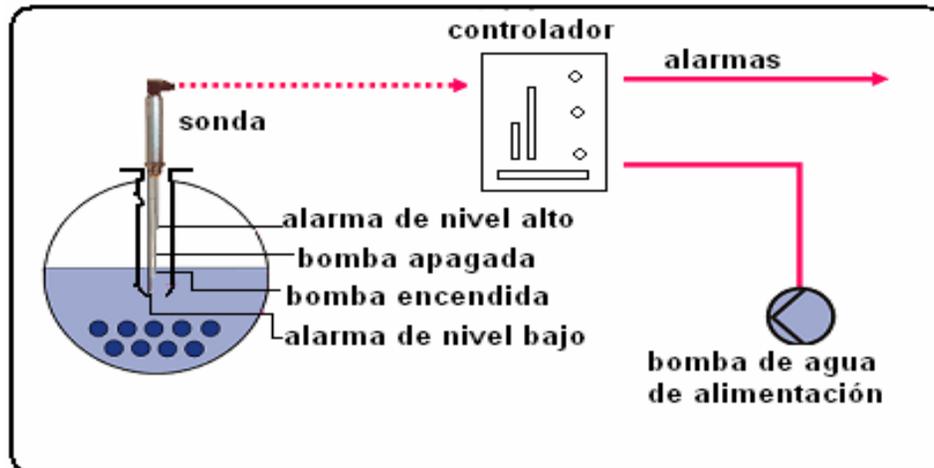
Como ya mencionamos el control de nivel regula la alimentación de agua a la caldera. Para este propósito se tienen diferentes alternativas cuya elección dependerá de la aplicación específica. Entre estas tenemos:

- Control de nivel manual con visor de vidrio
- Control de nivel todo/nada (*on/off*)
- Control de nivel modulante con medición continua del nivel, un controlador y una válvula modulada para la regulación del agua de alimentación

Control todo / nada.

Más conocido como control *on/off*. Este control actúa sobre la bomba de alimentación en dos niveles de agua preestablecidos. Algunas calderas aún utilizan un sistema de flotador para la determinación de estos niveles, pero en la actualidad la mayoría de calderas que utilizan este tipo de control de nivel hacen uso de sondas de conductividad las cuales comunican al control que debe encender la bomba cuando el nivel de agua en la caldera ha bajado a un mínimo o que debe apagarla cuando el nivel a llegado a un máximo.

Generalmente en la sonda se incluyen otros puntos que funcionan como alarmas de alto nivel o de bajo nivel. En el caso de alarma de bajo nivel puede existir una primera que sea visual o sonora y una segunda a un nivel más bajo que interrumpa el quemador o la operación completa.



<sup>10</sup>Fig. N° 1.9. Control de nivel todo/nada.

Control de nivel modulante.

El control de nivel modulante actúa sobre una válvula eléctrica o neumática en forma proporcional, para mantener un nivel de agua preestablecido. Variaciones súbitas en el nivel del domo o presión del agua de alimentación reducen grandemente la eficiencia de la caldera y pueden causar costosos paros. Aunque no está involucrado directamente con el control de la combustión, una buena estrategia de control de nivel del domo contribuye a mejorar la eficiencia de la caldera.

<sup>11</sup>Tabla 1.1. Control modulante para más de un elemento.

Tipo	Variables	Capacidad de la caldera en kg/hr		
		<6000	6000-15000	>15000
Un elemento	nivel	cargas irregulares	pequeños cambios de carga	cargas mantenidas
Dos elementos	nivel caudal de vapor	cargas irregulares con grandes fluctuaciones	cambios de cargas moderados	lentos cambios de cargas moderados
Tres elementos	nivel caudal de vapor caudal de agua			>20000

<sup>10</sup> Arcenio David Figueroa Arias (Guatemala febrero del 2008) tendencias tecnológicas en el control e instrumentación de calderas. Página 86. Recuperado en septiembre del 2011.

<sup>11</sup> Información técnica. Para el usuario. <http://www.spiraxsarco.com>

## Ventajas del control modulante sobre el control todo / nada

Independientemente de la cantidad de elementos que se utilicen el control modulante tiene varias ventajas sobre el control todo/nada. Entre estas podemos mencionar:

- Presión y caudal de vapor estable
- Mayor eficiencia en la operación del quemador
- Menor fatiga térmica sobre la pared de la caldera. El agua no se puede alimentar a más de 90 °C porque puede darse cavitación en las bombas, esto implica que en el control todo/nada se producen choques térmicos en la caldera que estaría trabajando a una temperatura más alta que el agua proveniente de la bomba.
- Menor arrastre de agua con el vapor
- Puede utilizarse una estación central de bombeo.

### 1.5.2. Tipos de alarmas

La mayoría de los controladores comerciales poseen alarmas. Estas se usan para alertar al operador cuando uno de los parámetros excede alguno de los límites establecidos. La alarma puede consistir en una indicación visual (luz intermitente), una señal audible (bocina) o, con frecuencia, ambas. Una alarma puede activar tanto un relé o una válvula, como un motor o una bomba, a fin de interrumpir el funcionamiento de una parte del proceso.

Es posible asignar prioridades a las alarmas, pudiendo ir de alarmas que se disparen por un determinado acontecimiento o por una emergencia. Dependiendo de la prioridad correspondiente, esas alarmas se emplean para el control de calidad, evitar fallas o actuar ante ciertas condiciones críticas que requieran una acción inmediata por parte del operador.

Ciertos controladores presentan numerosos tipos de alarmas. Los más comunes son las alarmas absolutas BAJA Y ALTA.

Se genera una alarma absoluta BAJA cuando el parámetro controlado es inferior al umbral de la alarma.

Se genera una alarma absoluta ALTA cuando el parámetro controlado es superior al umbral de la alarma.

Después de detectar una condición de alarma, se debe seguir un protocolo de reconocimiento. Este depende de la acción de la alarma seleccionada. Dicha acción puede ser de tipo con cerrojo o sin cerrojo. Cuando la alarma es accionada

sin cerrojo, ésta requiere que el operador la reconozca. Este reconocimiento no es necesario una vez que el parámetro controlado ya no provoca la alarma.

Cuando la alarma es accionada con cerrojo, ésta requiere que el operador la reconozca. No obstante, este reconocimiento es necesario aunque el parámetro controlado ya no provoque la alarma. Este tipo de acción permite que el operador se entere de que una condición de alarma se produjo, aunque el parámetro controlado recupere su estado normal.

En ambos casos, el indicador de alarma destella cuando se debe reconocer una alarma. Si después del reconocimiento por parte del operador la condición de alarma del parámetro controlado aún persiste, el indicador de alarma permanecerá iluminado.

En el control de nivel se utilizan alarmas visuales y sonoras en el caso de alcanzarse ciertos valores inconvenientes para el proceso. Las hay también de interrupción para evitar inundaciones o sobrecalentamientos peligrosos.



**<sup>12</sup>Imagen. 1.10. Hogar de una caldera pirotubular deformado por efecto de una falla en el control de nivel.**

---

<sup>12</sup> Arcenio David Figueroa Arias (Guatemala febrero del 2008) tendencias tecnológicas en el control e instrumentación de calderas. Página 96. Recuperado en septiembre del 2011.

### 1.5.3. control de combustión

La regulación de la combustión se basa en mantener constante la presión de vapor en la caldera, tomándose sus variaciones como una medida de la diferencia entre el calor tomado de la caldera como vapor y el calor suministrado.

El controlador de la presión de vapor ajusta la válvula de control de combustible. La señal procedente del caudal de aire es disminuida en una relación determinada y se compara con el valor actual del caudal de combustible.

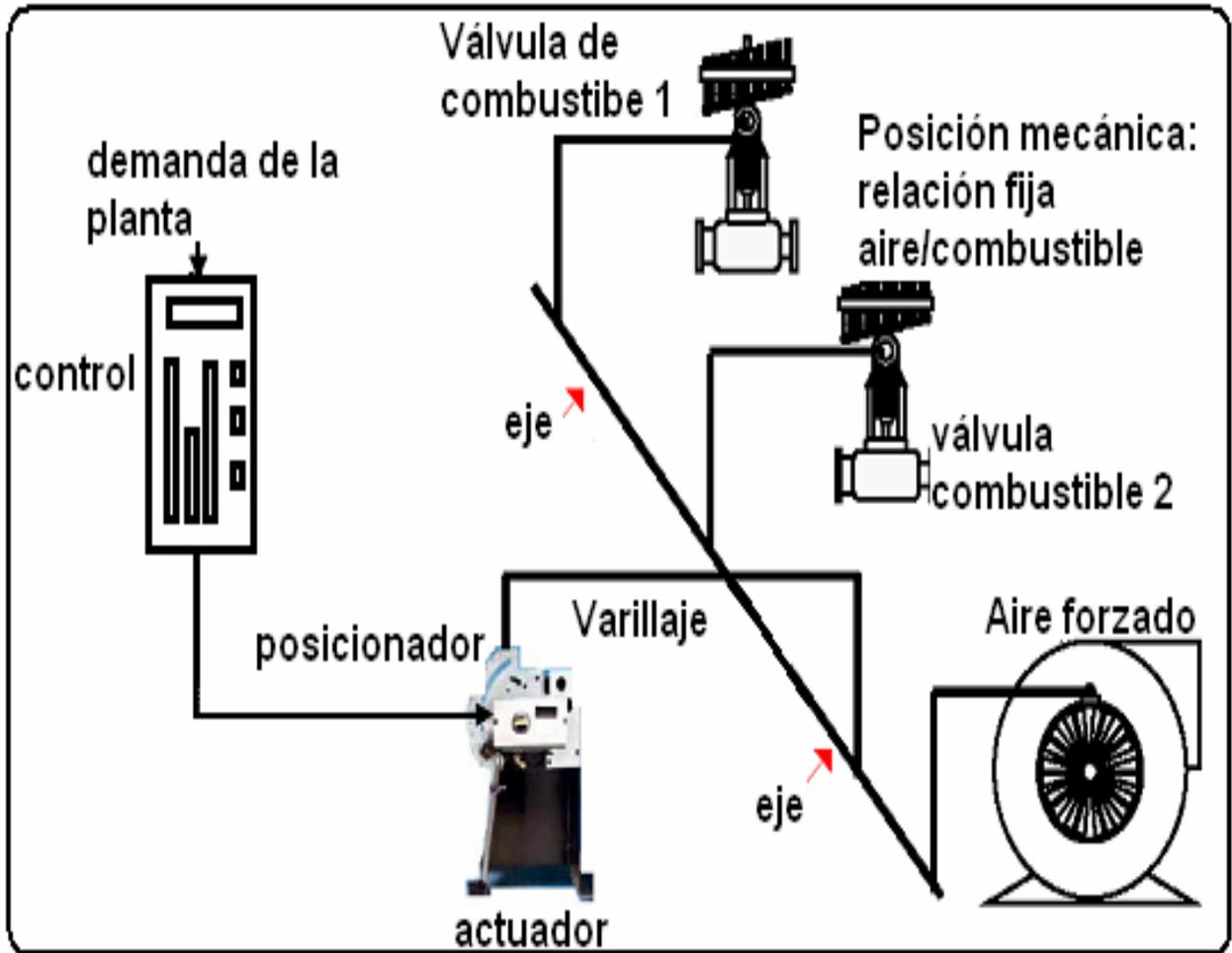
El propósito del sistema de control de combustión es proveer la combinación correcta de aire y combustible para producir segura y económicamente la cantidad requerida de vapor. La cantidad requerida de vapor es llamada demanda.

En el sistema de control de combustión automático un controlador determina el *set point* para la demanda de vapor requerida. Cuando la planta demanda más vapor que el que está siendo producido, la presión de vapor cae, lo cual causa que el controlador incremente la tasa de calentamiento (aumenta la llama). Lo opuesto es también cierto, disminución del uso del vapor incrementa la presión en la caldera y el controlador reduce la tasa de calentamiento. Además de incrementar o disminuir la tasa de calentamiento el control de combustión es responsable de mezclar el combustible y el aire en una proporción correcta para que la ebullición del agua no cause una explosión. Esto es llamado control de relación aire/combustible.

La relación aire/combustible es controlada usando uno de tres métodos siguientes, dependiendo en parte del tamaño de la caldera, cuanta eficiencia se quiere alcanzar, y cuanto piensa invertirse.

#### Posición simple punto

En este método, un varillaje mecánico mueve una barra que a su vez actúa levas mecánicas que están *seteadas* físicamente a una predeterminada relación aire / combustible. Aunque este es el método menos eficiente, es el más simple y económico.

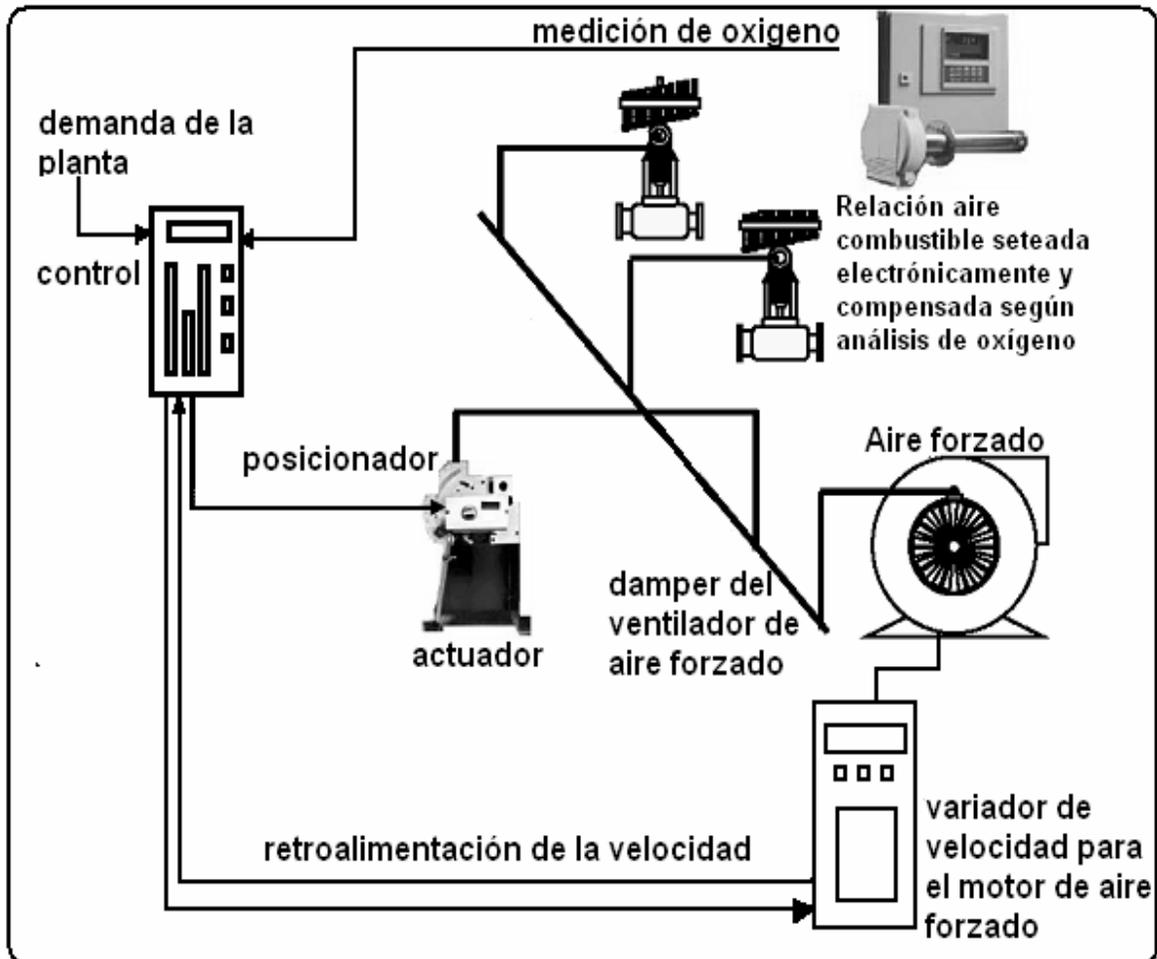


<sup>13</sup>Fig. N° 1.11. Control de combustión de simple punto.

Posición paralela con equilibrio de Oxígeno

En este método, un analizador de oxígeno es instalado en la descarga de la chimenea para proveer una medición continua del aire en exceso (no quemado). El controlador compara esta señal con una tabla interna que es ingresada en la puesta en marcha, y calcula continuamente la relación óptima aire/combustible. En esta estrategia se agrega un variador de velocidad al motor del ventilador de aire forzado de manera que este pueda correr en velocidades más bajas. Este método da como resultados ahorro en combustible y electricidad y reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. Se requieren pocos cambios a la instalación mecánica.

<sup>13</sup> Arcenio David Figueroa Arias (Guatemala febrero del 2008) tendencias tecnológicas en el control e instrumentación de calderas. Página 99. Recuperado en septiembre del 2011.

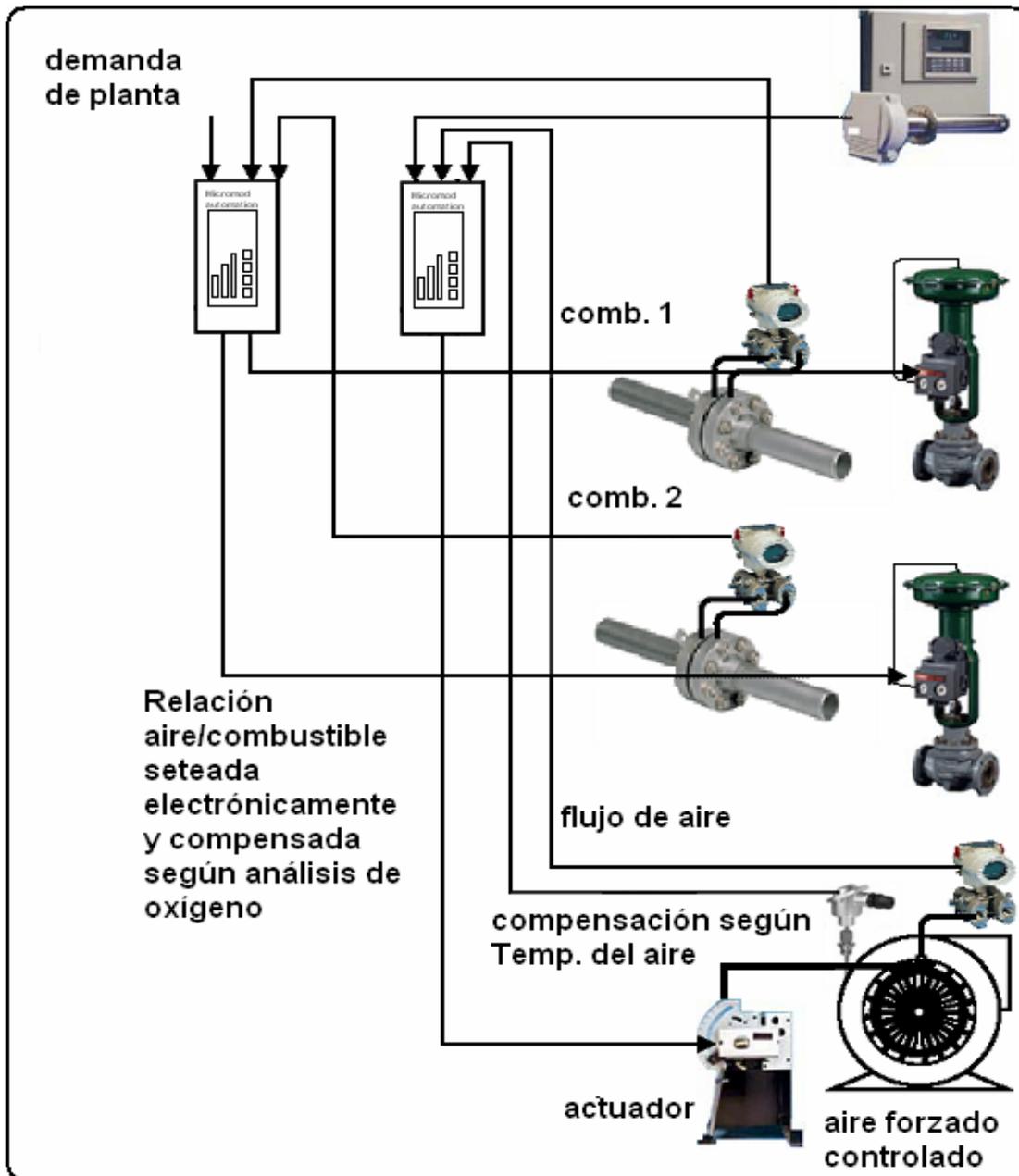


<sup>14</sup>Fig. N° 1.12. Control de combustión con compensación de oxígeno.

#### Control de combustión con medición completa

Es el método más eficiente y seguro para el control de combustión. El aire y el combustible son medidos continuamente y controlados en paralelo con la demanda de la caldera para proveer una relación instantánea aire / combustible. Una característica de seguridad llamada “**limite de cruce**” protege contra condiciones peligrosas causando que la caldera pare si existe mucha demanda de combustible o muy poco flujo de aire.

<sup>14</sup> Arcenio David Figueroa Arias (Guatemala febrero del 2008) tendencias tecnológicas en el control e instrumentación de calderas. Página 100. Recuperado en septiembre del 2011.



<sup>15</sup>Fig. N° 1.13. Control de combustión por medición completa.

<sup>15</sup> Arcenio David Figueroa Arias (Guatemala febrero del 2008) tendencias tecnológicas en el control e instrumentación de calderas. Página 101. Recuperado en septiembre del 2011.

# **CAPITULO II**

## **MÉTODOS DE CÁLCULO DE EFICIENCIA DE CALDERAS PIROTUBULARES.**

## 2. Eficiencia en calderas.

Para evaluar la eficiencia térmica de un generador de vapor o una caldera es necesario tomar en cuenta, además de la combustión, una serie de factores que estudiados metodológicamente nos indiquen en donde debemos poner énfasis si queremos disminuir las pérdidas térmicas.

El grado de aptitud de una caldera de transferir cierta porción del calor que recibe del fogón al agua o al vapor es la llamada “eficiencia térmica de la caldera”. Para esta consideración debe tomarse en cuenta el rendimiento del fogón y en algunas ocasiones también los rendimientos del sobre calentador, el recalentador, el economizador y el precalentador de aire.

La eficiencia puede expresarse en porcentaje, o por el término de evaporación, que indica la proporción de vapor generado por cantidad de combustible quemado.

El término “Eficiencia” se explica de la siguiente manera:

- 1) 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 unidad de masa de combustible quemado en la parrilla, y el valor calórico del combustible, en las condiciones en las que se quema.
- 2) 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 unidad cubica de combustible y el valor calórico de combustible.

En la tabla 2.1. se pueden observar las eficiencias mínima recomendable para calderas tipo paquete basadas en el poder calorífico superior del combustible. La caldera que se analizara es de  $2.01 \times 10^6$  BTU/h, si 1 BTU/h es igual a 0.293 W obtenemos una potencia de 588930 W o 588.93 KW, por lo que la eficiencia recomendada debe ser de un 80%.

La eficiencia de una caldera depende de los factores fijos siguientes.

- a) Diseño de la caldera.
- b) Perdidas internas.
- c) Equipos internos de recuperación de calor
- d) El tipo de combustible que se emplea y su inherente característica.
- e) Proporción de la combustión en relación con el volumen del fogón y con la superficie de calefacción.

Además depende de las variables siguientes:

- a) Condiciones del combustible en el momento en que se quema.
- b) El tiro, según sea afectado por la presión barométrica.
- c) El ajuste de los quemadores.
- d) Porcentaje de exceso de aire.
- e) Estado de limpieza de las superficies que absorben el calor
- f) Temperatura y grado de humedad del aire para la combustión.
- g) Proporción de la combustión incompleta y carbón no quemado.
- h) Tipo de operación, ya sea continuo o intermitente, encendido apagado frecuente, carga alternativamente alta y baja, u operación modular.

Que la caldera sea del tipo acuotubular o de humo tubular, o que sea de hierro colado o de acero, tiene poca o ninguna influencia sobre la eficiencia.

**<sup>16</sup>Tabla 2.1. Eficiencia recomendada basándose en el poder calorífico superior del combustible.**

<b>Calderas tubos de humo</b>	<b>Capacidad kW</b>	<b>□ %</b>	<b>Combustible</b>
	100-200	76	Gas natural o L.P.
	100-200	80	Combustóleo, gasóleo, diesel.
	200-800	76	Gas natural o L.P.
	200-800	80	Combustóleo, gasóleo, diesel.
<b>Calderas tubos de agua</b>			
	100-200	74	Gas natural o L.P.
	100-200	78	Combustóleo, gasóleo, diesel.
	200-800	76	Gas natural o L.P.
	200-800	80	Combustóleo, gasóleo, diesel.

<sup>17</sup>A partir del balance de energías de una caldera paquete, es posible calcular su eficiencia.

La eficiencia térmica se define como:

<sup>16</sup> Secretaría de energía. (26 de diciembre de 1995). Consultado en octubre del 2011. Diario oficial de la nación. Norma oficial mexicana NOM-002ENER-1995. Eficiencia térmica de calderas paquete. Especificaciones y método de prueba.

<sup>17</sup> Juan José soto Cruz. (1996) fundamentos sobre ahorro de energía. Consultado en octubre 2011. Ediciones de la universidad autónoma de Yucatán.

$$\eta = Q_2/Q_1$$

Del balance de calor tenemos que:

$$Q_a = Q_1 - Q_p$$

Sustituyendo la ecuación tenemos que:

$$\eta = 1 - Q_p/Q_1$$

Donde:

$\eta$ = eficiencia térmica

$Q_p$ = calor perdido

$Q_1$ = calor generado

$Q_a$ = calor aprovechado

Existen dos métodos para calcular su eficiencia, estos son el “método directo” y el “método indirecto”

## 2.1. METODO DIRECTO.

El método directo, la eficiencia de una caldera se define como la relación entre la energía aprovechada en la transformación de agua en vapor, y la energía suministrada por el combustible. Se expresa normalmente en forma de porcentaje:

$$\text{Eficiencia de la caldera} = \frac{\text{Calor que sale con el vapor producido}}{\text{Calor suministrado por el combustible}} \times 100$$

En otra fórmula podemos definir la eficiencia como:

$$\frac{\text{Peso del vapor (calor del vapor - calor del agua de alimentacion)}}{\text{Peso del combustible X valor calorico del combustible}} \times 100$$



<sup>18</sup>Fig. 2.1. Esquema del balance energético de una caldera.

Del esquema anterior podemos deducir la fórmula de eficiencia

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{F PCI}$$

Dónde:

$\eta$  : Rendimiento (%)

$\dot{m}$ : Caudal de agua en la caldera (kg/h)

$C_p$  : Calor específico del agua (kJ/kg °C)

$\Delta T = T_s - T_e$  (°C)

$T_s$ : Temperatura del agua a la salida de la caldera (°C)

$T_e$ : Temperatura del agua a la entrada de la caldera (°C)

$F$ : Consumo de combustible (kg/h)

$PCI$ : Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

## 2.2. MÉTODO INDIRECTO.

En el método indirecto o de pérdidas, la eficiencia se calcula restándole a 100 el valor de las pérdidas de calor, también se expresa como un porcentaje:

$$\text{Eficiencia de la caldera} = (100 - \text{pérdidas}) \%$$

<sup>18</sup> Google libros. Fundamentos sobre el ahorro de energía. Balance de energía. Consultado en noviembre del 2011

O bien puede expresarse como el producto de una división.

$$Eficiencia = \frac{\text{calor calorico del combustible} - \text{Perdidas}}{\text{Calor calorico del combustible}} \times 100$$

Dentro de las pérdidas se consideran:

- Perdidas de calor sensible en gases de combustión.
- Perdidas de combustible no quemado.
- Perdidas por radiación.
- Pérdidas de calor en purgas y otros.

El calor que sale con el vapor producido y el calor suministrado por el combustible se calculan de la siguiente manera

-Calor que sale (exportado) con el vapor.

Este valor se calcula mediante el uso de las “tablas de vapor”, para esto se necesitó conocer:

- La temperatura del agua de alimentación.
- La presión a la cual se esta produciendo el vapor.
- El flujo de vapor.

-Calor suministrado por el combustible.

Se calcula en base a la cantidad de combustible suministrado ( $m$ ) y su poder calorífico ( $PC$ )

$$Q_{suministrado} = m * PC$$

Entre las pérdidas que debemos tomar en cuenta para poder hacer este cálculo, podemos deducir varias fórmulas.

### 2.2.1. Pérdidas de calor sensible en los humos

Estas pérdidas dependen fundamentalmente de los siguientes factores:

- La temperatura de los humos, o mejor dicho, la diferencia de temperatura entre la de los humos y la del aire comburente.
- El calor específico de los humos.

- El exceso de aire empleado en la combustión, que se manifiesta en el porcentaje de CO<sub>2</sub> en los humos y afecta al caudal másico o volumétrico de los mismos.

Estas pérdidas suelen estar comprendidas entre el 6 y el 10% de la potencia nominal, incrementándose notablemente este valor en caso de mantenimiento deficiente.

El cálculo de estas pérdidas puede efectuarse con una de estas ecuaciones:

$$Ph = \frac{\dot{m} C_{pm} \Delta T}{F * PCI}$$

Dónde:

*ph* : Rendimiento (%)

*m*: Caudal masico de los humos (kg/h)

*C<sub>pm</sub>*: Calor específico de los humos (kJ/kg °C)

$\Delta T = T_h - T_a$  (°C)

*T<sub>s</sub>*: Temperatura de los humos a la salida de la caldera (°C)

*T<sub>e</sub>*: Temperatura del aire ambiente de la sala de calderas (°C)

*F*: Consumo de combustible (kg/h)

*PCI*: Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

A continuación se reproducen en la tabla 2.1. los valores del calor específico medio de los distintos gases de la combustión a diferentes temperaturas.

**Tabla 2.2. Calor específico de algunos gases mezclados en la combustión.**

Calor específico de distintos gases de combustión (kJ/kg °C)					
Temperatura (°C)	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>
100	1,2156	1,7376	1,2742	1,5706	1,7414
200	1,2910	1,8389	1,2809	1,5811	1,7849
300	1,3408	1,9139	1,2931	1,5936	1,8276
400	1,3764	1,9741	0,8837	1,6079	1,8695
500	1,4036	2,0256	1,3115	1,6233	1,9101

### 2.2.2. Pérdidas por inquemados

Estas pérdidas son debidas fundamentalmente a la presencia de monóxido de carbono CO en los gases y en la práctica, si la combustión es correcta, son muy pequeñas. Su valor suele estar muy por debajo del 0,5% de la potencia útil de la caldera con combustibles gaseosos.

En los combustibles líquidos y sólidos la producción de inquemados suele ser visible por la aparición de humos negros. Para estos combustibles también es de aplicación el método BACHARACH que permite la detección de los inquemados sólidos: la muestra de gases se hace pasar por un dispositivo donde los inquemados no dejan una marca visible en el patrón cuyo nivel de ennegrecimiento comparado en una escala aporta la cantidad de inquemados contenidos en los humos. Si bien este procedimiento no permite cuantificar energéticamente las pérdidas por inquemados si permite obtener un porcentaje aproximado de pérdidas divididas a estas, a continuación se indica una estimación obtenida por procedimientos experimentales:

**Tabla 2.3 Índice BACHARACH de perdidas sobre combustible**

Índice BACHARACH	1	2	3	4	5	6
% de perdidas sobre combustible	0,7	1,3	2,4	3,5	4,7	6

En la práctica, en el sector de la edificación se suele determinar el rendimiento de la combustión en lugar del rendimiento de la caldera, es decir, se obvia en los cálculos las pérdidas por el cuerpo de la caldera (radiación y convección) dada la dificultad de su medición y la baja incidencia respecto a los parámetros que interesa controlar y que son la cuantía de las distintas materias contenidas en los humos y su temperatura.

De esta forma, el rendimiento de combustión queda simplificado a la expresión:

$$\eta = 100 - (Ph + Pi)$$

### **2.3. Condiciones para realizar la prueba de eficiencia.**

Las condiciones que debe cumplir el equipo para la realización de la prueba, son las siguientes:

- a) La caldera debe probarse a su máxima capacidad.
- b) La presión de prueba de la caldera debe ser la presión normal de operación y debe permanecer constante ( $\pm 5\%$ )
- c) La caldera a probar no debe estar afectada por otros equipos.
- d) Durante la prueba no se deben de realizar purgas
- e) Durante la prueba no se debe de realizar un soplado de hollín.
- f) No debe de haber fugas de gases de combustión ni filtraciones de aire.
- g) El monóxido de carbono en los gases de combustión no deben ser mayores de  $200 \text{ cm}^3/\text{m}^3$

### 2.3.1. Determinación de la eficiencia.

Para esto es necesario tomar algunas variables a medir directamente de la caldera con tal sobreponerlos en graficas que nos sirvan después para determinar el porcentaje de calor perdido.

Tg: temperatura de gases de combustión a salida del equipo.

[O<sub>2</sub>]: concentración de oxígeno en gases de combustión (base ceca)

[CO]: concentración de monóxido de carbono en gases de combustión (base ceca)

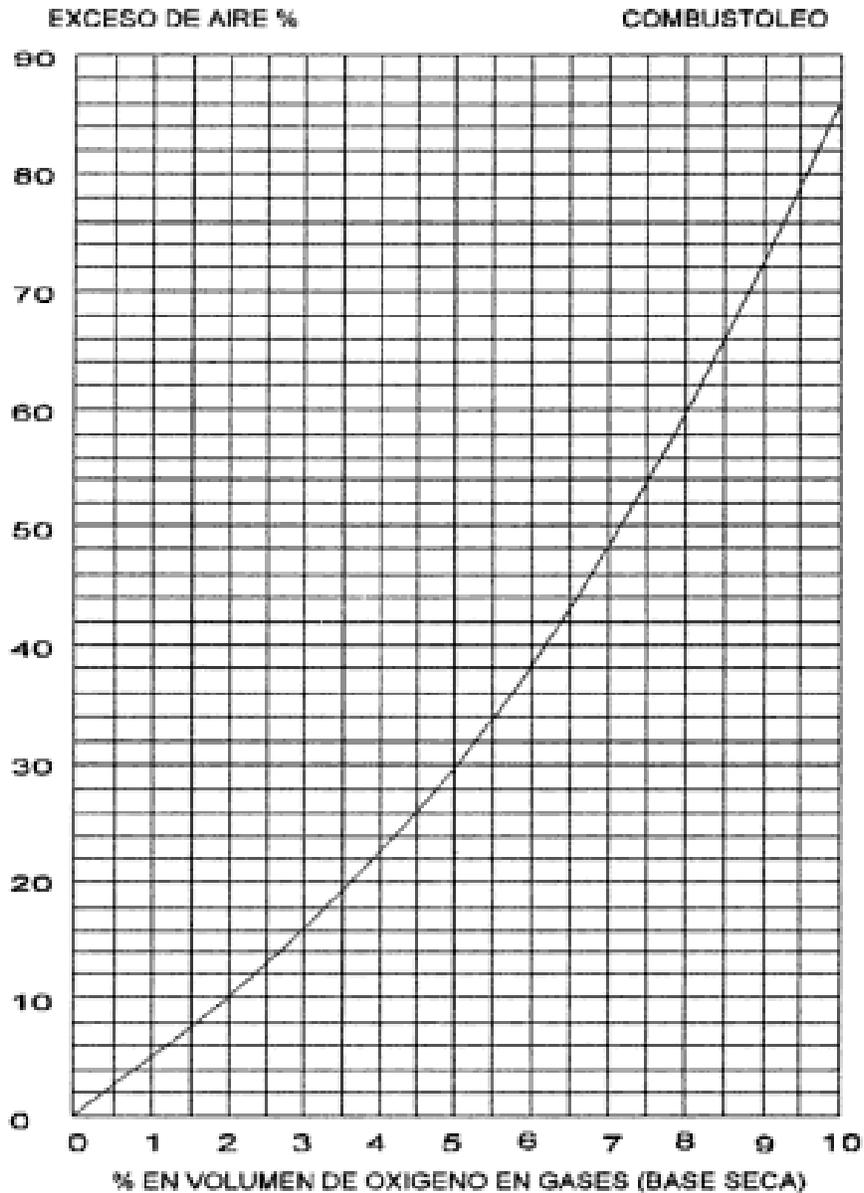
Tce: temperatura de la cubierta externa de la caldera.

Para hacer la determinación de la eficiencia hay que obtener los siguientes datos en base a los datos obtenidos anteriormente.

En algunos casos es posible obtener los datos directamente de tabla y curvas de función tomadas experimentalmente de la caldera por la empresa de origen. Aquí tenemos algunos ejemplos que pueden tomarse como general para algunas calderas.

#### 1.- Exceso de aire.

Se puede obtener el exceso de aire a partir de la concentración de oxígeno (valor promedio) en los gases de combustión de acuerdo con la fig. 2.2.

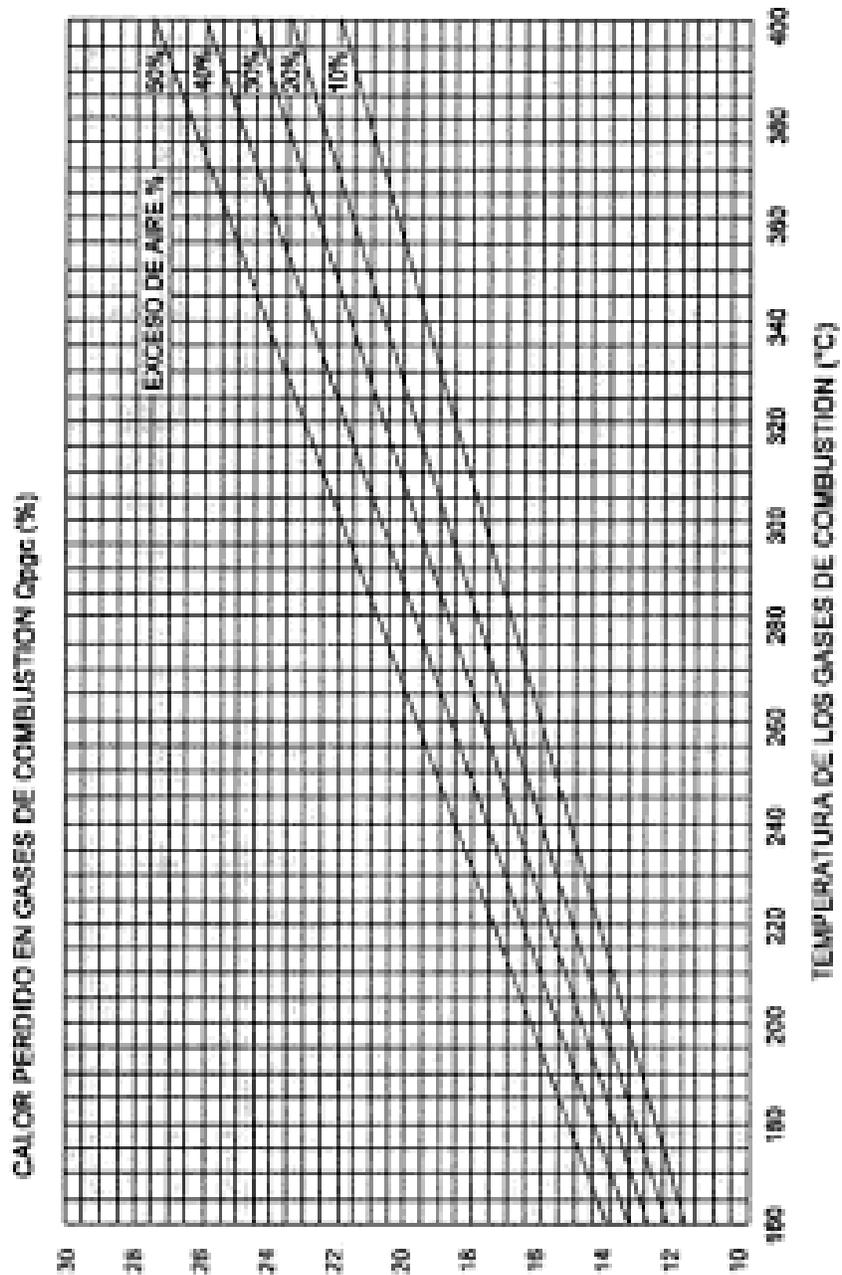


<sup>19</sup>Fig. 2.2. Concentración del exceso de aire en gases de desecho.

2.- Fracción del calor liberado contenido en los gases de combustión (% $Q_{pgc}$ )

Con el exceso de aire y la temperatura (promedio) de los gases de combustión, entramos en Fig. 2.3. Y se obtiene el calor liberado en los gases de combustión (en porcentaje)

<sup>19</sup> Juan José soto Cruz. (1996) fundamentos sobre ahorro de energía. Consultado en octubre 2011. Ediciones de la universidad autónoma de Yucatán.

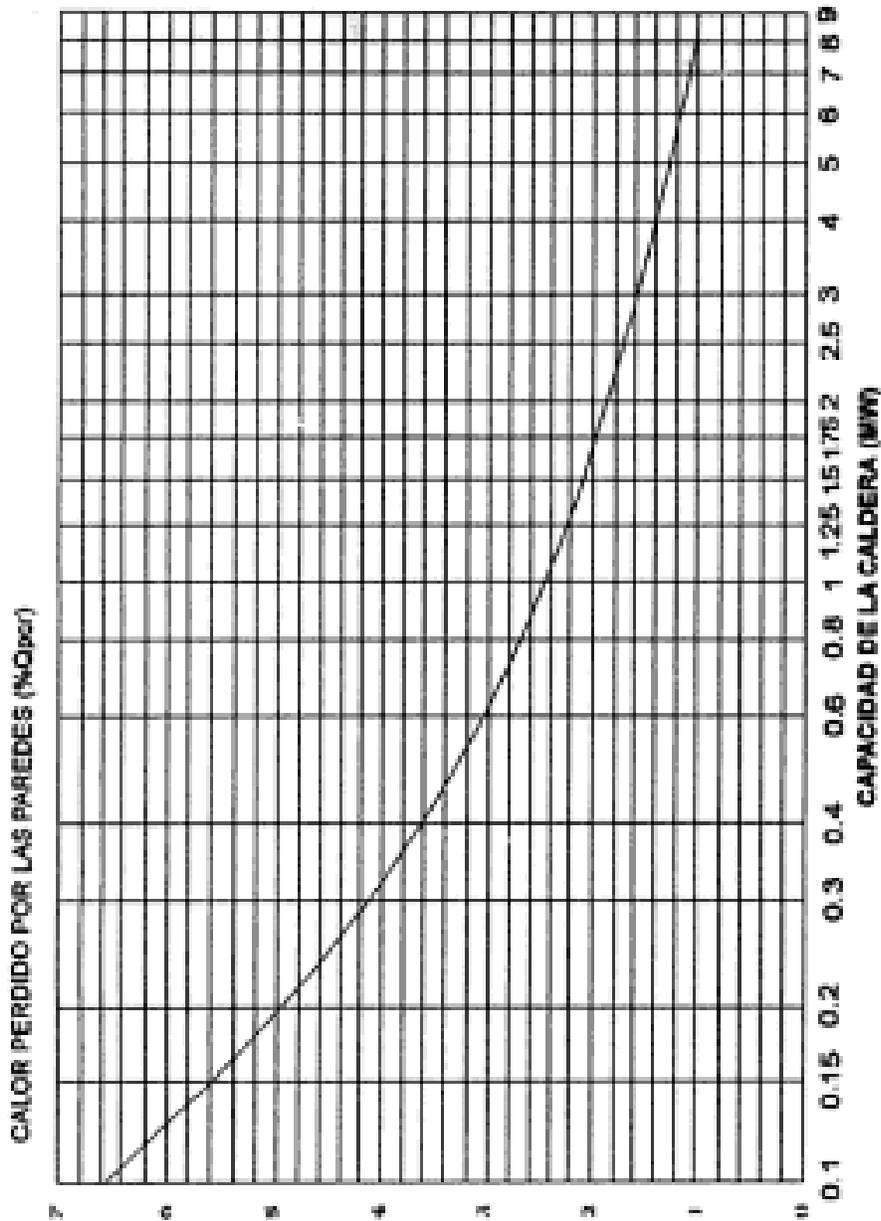


<sup>20</sup>Fig. 2.3. Calor perdido en los gases de combustión en calderas que utilizan combustóleo.

3.- Calor perdido a través de las paredes (% $Q_{pcr}$ )

<sup>20</sup> Juan José soto Cruz. (1996) fundamentos sobre ahorro de energía. Consultado en octubre 2011. Ediciones de la universidad autónoma de Yucatán.

De la gráfica en la fig. 2.4, y en función de la capacidad de la caldera, obtenemos el calor perdido por convección y radiación a través de las paredes de la caldera (en porciento)



<sup>21</sup>Fig. 2.4. Calor perdido a través de las paredes.

#### 4.-Eficiencia Térmica

<sup>21</sup> Juan José soto Cruz. (1996) fundamentos sobre ahorro de energía. Consultado en octubre 2011. Ediciones de la universidad autónoma de Yucatán.

Sustituyendo los valores de % Qpgc y % Qpcr en la ecuación siguiente, determinamos la eficiencia térmica de la caldera mediante el método indirecto.

$$\eta = 100 - \% Q_{pgc} - \% Q_{pcr}$$

Por supuesto es posible obtener los datos de múltiples maneras experimentales en función de la misma caldera.

#### **2.4.<sup>22</sup> Balance informal por el método de las pérdidas.**

En un generador de vapor acuatubular que queme combustóleo, para poder efectuarle un balance térmico global, se deben considerar los siguientes pasos:

1.- Calor absorbido por el agua de la caldera  $q_1$ . Es calor necesario para calentar y vaporizar el agua que servirá en algún proceso en forma de vapor.

$$q_1 = (M_v/M_c) (h_v - h_a)$$

Donde:

$M_v$ = flujo de vapor.

$M_c$ = flujo de combustible.

$h_v$ = entalpia de vapor a la salida.

$h_a$ = entalpia del agua de alimentación a temperatura ambiente.

2.- Calor perdido por gases secos que salen por la chimenea  $q_2$ . Esta pérdida es generalmente la más importante. Los gases se llevan una buena cantidad de la energía del combustible y a mayor temperatura y flujo de gases de salida mayores sean las pérdidas.

$$q_2 = W_g C_p (t_g - t_a)$$

Donde:

$W_g$ = peso o masa de los gases secos/Kg de comb. (Formula ASME mostrada en el cap 4)

$C_p$ = calor específico de los gases secos.

$t_g$ = temperatura de los gases en la chimenea.

$t_a$ = temperatura aire amb.

3.- Calor perdido en el agua tomada como producto de la combustión de hidrogeno del combustible  $q_3$ . Es una pérdida importante ya que el agua que se

---

<sup>22</sup> Juan José soto Cruz. (1996) fundamentos sobre ahorro de energía. Consultado en octubre 2011. Ediciones de la universidad autónoma de Yucatán.

forma por la combustión del hidrogeno del combustible, se vaporiza y se lleva una buena parte de la energía.

$$q_3=8,936H_2(h_{vg}-h_f)$$

Donde:

$H_2$ = fracción de hidrogeno en el comb.

$h_{vg}$ = entalpia de vapor de agua en gases a  $t_g$

$h_f$ = entalpia de líquido saturado a la temperatura amb.

4.-Calor perdido por la humedad en el combustible  $q_4$ . El agua que contiene el combustible en un bajo porcentaje, al entrar al hogar recibe calor y se vaporiza perdiéndose una pequeña cantidad de energía.

$$q_4=\text{humedad} (h_{vg}-h_f)$$

Donde:

Humedad= humedad del análisis del combustible

5.-Calor perdido por combustión incompleta y formación de CO  $q_5$ . Si los gases de escape se detectan CO. Es señal de combustión incompleta. El CO tiene un valor calorífico acumulado que se desperdicia o pierde al salir a la atmosfera.

$$q_5=5644.4C_b (CO / (CO_2+CO))$$

Donde:

CO y  $CO_2$ = % del análisis de gases.

$C_b$ = Fracción de carbono en el comb.

6.-Calor perdido por humedad en aire suministrado  $q_6$ . La pequeña cantidad de agua que tiene el aire se vaporiza y tomara calor del combustible.

$$q_6=W_a W'A (h_{vg}-h_{vsa})$$

Donde:

$W_a$ = humedad absoluta.

$W'A$ = peso de aire seco por kg de comb.(formula ASME del capítulo 4)

$h_{vsa}$ = entalpia del vapor saturado a la temperatura amb.

7.-Calor perdido debido al combustible sin quemar  $q_7$ , contenido en las cenizas o escorias. Es una pérdida de poca consideración cuando la caldera quema combustibles gaseosos o líquidos, que en ocasiones cuando no hay residuos apreciables se considera cero, pero si se utiliza carbón mineral, entonces hay que

medir y separar los residuos carbonosos de la ceniza para determinar su calor cedido.

8.-Calor perdido en la atomización del combustible  $q_8$ . En muchos generadores de vapor, se utiliza vapor para atomizar el combustible. El vapor recibe en el hogar un calor que se sobrecalienta y que se pierde en la chimenea.

$$q_8 = (M_{va}/M_c)(h_{vsa} - h_{vst})$$

Donde:

$H_{vst} = h_{vsa}$

$M_{va}$  = flujo de atomización.

9.-Calor perdido por radiación  $q_9$ . Son pérdidas de menor calor que se pueden determinar por estimación en base a curvas del código ASME o por diferencia de calor absorbido por el agua, menos la suma de las otras pérdidas.

$$h_9 = (fr) (PCS)$$

Donde:

$Fr$  = factor de pérdidas por radiación.

$PCS$  = poder calorífico superior del combustible.

Una vez calculadas todas las pérdidas significativas se hace la suma total de ellas y después se establece la diferencia entre el calor suministrado por el combustible y el valor total de las pérdidas.

$$q_p = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + q_9$$

$$\text{Créditos de calor} = q_1 + q_p - PCS$$

Esta diferencia debe ser la energía suministrada al agua o calor útil.

Con ello el balance térmico, suma de energías entrando al generador de vapor igual a la suma de energías saliendo, quedara determinado y será posible calcular la eficiencia térmica del generador de vapor dividiendo el calor útil entre la energía suministrada por el combustible.

$$\eta_t = q_1 / (PCS + \text{créditos})$$

Para este método es necesario seguir los pasos.

1.-Fijar la carga de vapor en 50%. 70% o 100% de su capacidad nominal, manteniéndola sin variación durante el tiempo que dure la prueba que será de 2 a 4 horas. En su defecto es porcentaje debe adecuarse a la carga neta de trabajo.

2.-Tomar lecturas con una periodicidad convenida de los siguientes medidores utilizando la instrumentación propia del equipo, previamente verificada.

a) consumo de combustible durante el tiempo que dure la prueba, por sondeo del ataque y/o en el medidor de combustible. Esta es una medición clave y deberá hacerse con cuidado.

b) lectura de los integradores de agua de alimentación a la caldera y de vapor producido.

c) presiones y temperaturas de diversos fluidos como son: agua de alimentación a la caldera, vapor sobrecalentado, temperatura de bulbo seco del ambiente, temperatura de bulbo húmedo, temperatura del combustible, temperatura de los gases secos en la chimenea o a la salida del calentador regenerativa, etc.

d) Efectuar el análisis de gases en un punto corriente de la chimenea o del ducto de gases, haciendo un mapeo del ducto para tomar 3 o 4 lecturas en un mismo plano y obtener valores promedio confiables.

e) tener condiciones operativas adecuadas para este tipo de pruebas tales como: que no se trabajen los sopladores de hollín y no estén abiertas más purgas de lo debido.

f) Contar con el análisis elemental de combustible de una muestra representativa reciente hecha por un laboratorio reconocido.

Conclusión de uso del monitoreo para mediciones.

En los últimos años el monitoreo de las calderas para la medición de su eficiencia ha sido avanzado en tecnología, así como sistemas computarizados capaces de tomar estos parámetros y dar un resultado directo. Sin embargo aún es necesario la utilización de modelos complejos como el tipo CFD (Dinámica Computacional de Fluidos, CFD en sus siglas en inglés), que se utilizan para obtener los parámetros de temperatura, velocidad, flujo y demás parámetros obtenibles de un fluido contenidos en un ambiente controlado.

Este método tiene gran importancia en el estudio actual pues para obtener los parámetros buscados es necesario que las instalaciones a estudiar estén bajo parámetros operativos controlados.

Sin embargo es necesario tener en cuenta la logística de operación para este tipo de cálculo, pues con frecuencia se puede generar un gran número de variables obtenidas por experimentación, lo que da complejidad al sistema y llega a incrementar los costes en la operación de la caldera.

# **CAPITULO III**

**ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LA  
EFICIENCIA EN CALDERAS DE LA  
FES ARAGÓN.**

### 3. Metodología para la obtención de datos.

La metodología desarrollada para su aplicación en grandes calderas de potencia debe iniciarse realizando un completo y detallado inventario de todos los datos disponibles. En este capítulo se detallara el procedimiento por medio del cual se obtuvieron los datos que nos servirán para determinar La eficiencia de la caldera.

Se requiere conocer las características técnicas de los instrumentos, su localización física en la instalación y un diagrama en el cual se indica el flujo de vapor.

#### 3.1..Localización del área de calderas.

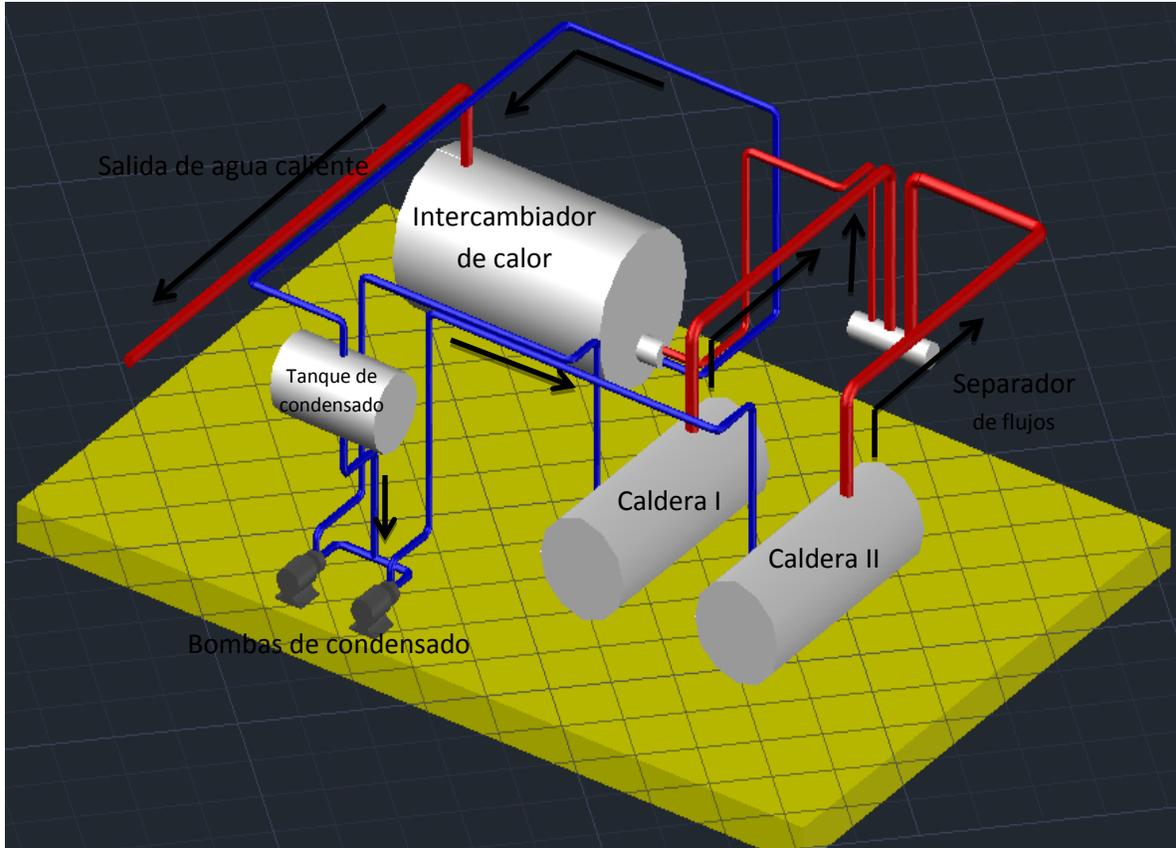
El cuarto de calderas se encuentra en el interior de la FES Aragón, detrás del gimnasio y las regaderas en el área de actividades deportivas como se muestra en la Fig. N° 3.1. Las calderas fueron instaladas porque se tenía contemplado construir una alberca en donde está actualmente el gimnasio de parquet (cancha de basquetbol), por esta razón se colocaron 2 calderas, de las cuales solo se encuentra en operación una de ellas y la otra sirve para proporcionar de refacciones a la que está en funcionamiento.



<sup>23</sup>Fig. N° 3.1. Área de calderas de la FES Aragón (maps.google.com.mx)

<sup>23</sup> Google maps. Imágenes ©2011 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, GeoEye, Datos del mapa ©2011 Google. Octubre del 2011. <https://maps.google.com.mx/?hl=es>.

En la Fig. N° 3.2. se muestra la distribución de la sala de calderas, el equipo con el que se cuenta y el flujo de vapor. Con una primera visita al lugar se pudieron obtener datos de placas los cuales fueron registrados y se muestran en la tabla de datos de entrada.



**Fig. 3.2. Diagrama de distribución de la sala de calderas y flujo del vapor.**

### 3.2. Determinación de los datos de entrada.

#### 3.2.1. Análisis de gases de combustión.

Se efectuó el análisis de gases con un analizador de gases de celdas electroquímicas en un punto conveniente de la chimenea o ducto de gases donde se tomaron 3 lecturas a diferentes cargas. Además obtendremos las temperaturas de los gases, la ambiental y la presión. Este análisis se hizo en tres cargas diferentes,  $2 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $3.5 \text{ Kg/cm}^2$  y  $4 \text{ Kg/cm}^2$ , la última medida es la carga máxima en que está en operación la caldera, se considerará  $4 \text{ Kg/cm}^2$  como carga plena por lo que tendremos tres lecturas las cuales se muestran en la Fig. 3.3. Entonces determinaremos la eficiencia a tres diferentes cargas. Los resultados de este análisis se muestran en tabla 3.1. (Cada columna son los resultados de cada carga).

**Tabla. 3.1. Impresión de los resultados del analizador de gases, de izquierda a derecha la carga de vapor es de 2 Kg/cm<sup>2</sup>, 3.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 4 Kg/cm<sup>2</sup>.**

Serial number:	1104899	
Fuel:	Light oil	
Reference oxigen:	3%	
Date: 17. 5. 2011	Time: 4:57	
Current measuerd values		
Gas temp.	54.6 °c	
O <sub>2</sub>	20.95%	
CO	67 ppm	84 mg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	0.00%	
NO	91 ppm	121 mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	0 ppm	0 mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub>	91 ppm	186 mg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	0 ppm	0 mg/m <sup>3</sup>
Environ. Temp.	26.1 °C	
Stack loos efficiency	100.0 %	0.0 %
lambda	∞	
I.H., S.A. de C.V. Tel.: ++(525)3 606323 Fax.: ++(525)3 60 67 25		

Serial number:	1104899	
Fuel:	Light oil	
Reference oxigen:	3%	
Date: 17. 5. 2011	Time: 5:00	
Current measuerd values		
Gas temp.	119.9 °c	
O <sub>2</sub>	20.95%	
CO	63 ppm	79 mg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	0.00%	
NO	84 ppm	112 mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	0 ppm	0 mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub>	84 ppm	172 mg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	0 ppm	0 mg/m <sup>3</sup>
Environ. Temp.	26.1 °C	
Stack loos efficiency	100.0 %	0.0 %
lambda	∞	
I.H., S.A. de C.V. Tel.: ++(525)3 606323 Fax.: ++(525)3 60 67 25		

Serial number:	1104899	
Fuel:	Light oil	
Reference oxigen:	3%	
Date: 17. 5. 2011	Time: 5:03	
Current measuerd values		
Gas temp.	57.6 °c	
O <sub>2</sub>	20.95%	
CO	70 ppm	87 mg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	0.00%	
NO	98 ppm	118 mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	0 ppm	0 mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub>	88 ppm	180 mg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	0 ppm	0 mg/m <sup>3</sup>
Environ. Temp.	26.8 °C	
Stack loos efficiency	100.0 %	0.0 %
lambda	∞	
I.H., S.A. de C.V. Tel.: ++(525)3 606323 Fax.: ++(525)3 60 67 25		

Serial number:	1104899	
Fuel:	Light oil	
Reference oxigen:	3%	
Date: 17. 5. 2011	Time: 5:00	
Environ. Temp.	20.4 °C	
Gas temp.	168.6 °C	
pressure	0.04 mbar	4 Pa
Press the enter key to use the actual pressure as reference or the menú key to switch to the main menu Lambda.....		
I.H., S.A. de C.V. Tel.: ++(525)3 606323 Fax.: ++(525)3 60 67 25		

Serial number:	1104899	
Fuel:	Light oil	
Reference oxigen:	3%	
Date: 17. 5. 2011	Time: 5:02	
Environ. Temp.	26.8 °C	
Gas temp.	110.1 °C	
pressure	0.02 mbar	2 Pa
Press the enter key to use the actual pressure as reference or the menú key to switch to the main menu Lambda.....		
I.H., S.A. de C.V. Tel.: ++(525)3 606323 Fax.: ++(525)3 60 67 25		

Serial number:	1104899	
Fuel:	Light oil	
Reference oxigen:	3%	
Date: 17. 5. 2011	Time: 5:02	
Environ. Temp.	26.8 °C	
Gas temp.	110.1 °C	
pressure	0.02 mbar	2 Pa
Press the enter key to use the actual pressure as reference or the menú key to switch to the main menu Lambda.....		
I.H., S.A. de C.V. Tel.: ++(525)3 606323 Fax.: ++(525)3 60 67 25		

De los resultados obtenidos se tuvo que realizar la conversión a porcentajes y a partes por millón (ppm) respectivamente, la unidad ppm es independiente de la presión y temperatura y es usada para concentraciones bajas y si las concentraciones son elevadas se expresa en porcentaje (%). Como " el tanto por ciento (%)" ppm describe una proporción. Por ciento significa "un número x de partes de cada cien", mientras que ppm significa "un número x de partes en cada millón". La conversión es como sigue:

1000000	=	100%
100000	=	10%
10000	=	1%
1000	=	0.1%
100	=	0.01%
10	=	0.001%
1	=	0.0001%

**Tabla 3.2. Resultados del analizador de gases y sus respectivas conversiones.**

gases	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
	2 Kg/cm <sup>2</sup>		3.5 Kg/cm <sup>2</sup>		4 Kg/cm <sup>2</sup>	
	%	ppm	%	ppm	%	ppm
O <sub>2</sub>	20.95	209500	20.95	209500	20.95	209500
CO	0.007	67	0.006	63	0.007	70
CO <sub>2</sub>	0.0	0.000	0	0	0	0
NO	0.009	91	0.008	84	0.009	88
NO <sub>2</sub>	0.000	0	0	0	0	0
SO <sub>2</sub>	0	0.000	0	0	0	0
N <sub>2</sub>	0.0042	42	0.0037	37	0.0042	42

### 3.2.2. Análisis elemental del Diesel (Fuel Oil) en peso.

Es necesario contar con el análisis elemental de una muestra del combustible, el cual debe contener este análisis el cual se encuentra en tablas por lo que solo se consultó la bibliografía correspondiente y se utilizó la tabla correspondiente al Diesel la cual es mostrada en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2 análisis elemental del Diesel.**

Fuente: Improving Boiler Efficiency. Samuel G. Dukelow  
2ª edición. Editorial Instrument Society of America.

Sustancias	%	Peso en %
C	0.879	87.9
H	0.103	10.3
S	0.012	1.2
O	0.005	0.5
N	0.001	0.1
H <sub>2</sub> O	0	0
Ash (Cenizas)	0	0

### 3.2.3. Consumo de combustible.

El consumo de combustible durante el tiempo que dura la prueba por sondeo del tanque la medición obtenida se muestra en la tabla 3.3. de datos de entrada, el cual es de 33.64 Kg/hr.

### 3.2.4. Registro de lecturas en la tabla de datos de entrada.

También son registradas la presión de vapor a la salida, temperatura del agua de alimentación, temperatura de los gases secos de la chimenea obtenida del analizador de gases. El resto de los valores que están en blanco en la tabla se determinaron a través de los datos de entrada para obtener la tabla final con todos los datos necesarios y entonces determinar la eficiencia de la caldera por el método indirecto o de pérdidas.

La tabla 3.3. se completará más adelante con los cálculos que se describen después de dicha tabla, y obtener todos los datos para realizar el cálculo de la eficiencia para cada una de las cargas.

**Tabla 3.3. Datos de entrada.**

Parámetro	unidades	medición 1	medición 2	medición 3
Flujo de vapor a la salida del generador de vapor	Kg/hr			
Presión de vapor a la salida	Kg/cm <sup>2</sup> man.	2	3.5	4
	Kg/cm <sup>2</sup> abs.	2.7953	4.2953	4.7953
Temperatura de vapor a la salida	°C			
Flujo de combustible (diesel)	Kg/hr	33.64	33.64	33.64
Temperatura del agua de alimentación	°C	26.4	26.8	26.9
Flujo de vapor de atomización	Kg/hr			
Temperatura de los gases secos de la chimenea	°C	168.6	110.1	107.8
Temperatura del bulbo seco del aire	°C	26.4	26.8	26.9
Temperatura del bulbo húmedo	°C			

### 3.3. Calculo de los datos faltantes para determinar la eficiencia.

#### 3.3.1. Calculo del flujo de vapor

Para completar la tabla tendremos que calcular el flujo de vapor ( $\dot{m}$ ) el cual se determina por (Q) ( $\rho$ ) donde Q es el caudal de vapor y  $\rho$  es la densidad de vapor y si el caudal Q es (v) (A) necesitamos conocer la velocidad v por lo que partimos de:

$$P = \frac{m a}{A} = \frac{m v}{A t} = \frac{m v}{t A} = \dot{m} \frac{v}{A} \dots\dots\dots 1$$

Si  $Q = vA$  y  $\dot{m} = Q\rho$  sustituyendo en 1 y despejando la velocidad v

$$P = vA\rho \frac{v}{A} = v^2\rho$$

$$v = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

Donde:

P = presión absoluta de vapor a la salida de la caldera

$\rho$  = densidad de vapor

v= velocidad de vapor

Para calcular la densidad de vapor utilizamos las tablas de vapor saturado, entrando con la presión de vapor absoluta. La densidad será el inverso del volumen específico. De esta misma tabla podremos obtener también la temperatura del vapor.

@.....2.7953Kg/cm<sup>2</sup> correspondientes a 2.7412 Bar tenemos que la temperatura y volumen específico  $V_G$  son:

$$T = 130.4874^\circ\text{C} \quad \rho_1 = \frac{1}{0.659153433 \text{ m}^3/\text{Kg}} = 1.5171 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

@.....4.2953Kg/cm<sup>2</sup> correspondientes a 4.2122 Bar tenemos que la temperatura y volumen específico  $V_G$  son:

$$T = 145.4925^{\circ}\text{C} \quad \rho_2 = \frac{1}{0.440372763 \text{ m}^3/\text{Kg}} = 2.2708 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

@.....4.7953 Kg/cm<sup>2</sup> correspondientes a 4.7026 Bar tenemos que la temperatura y volumen específico V<sub>G</sub> son:

$$T = 149.5457^{\circ}\text{C} \quad \rho_3 = \frac{1}{0.397018085 \text{ m}^3/\text{Kg}} = 2.5188 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

Calculando la velocidad de flujo de vapor con la presión de vapor en pascales (Pa) se tiene que:

$$v_1 = \sqrt{\frac{P_{1abs}}{\rho_1}} = \sqrt{\frac{274.1264 \times 10^3 \text{ Pa}}{1.5171 \text{ Kg}/\text{m}^3}} = 425.0777 \text{ m}/\text{s}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{P_{2abs}}{\rho_2}} = \sqrt{\frac{421.2262 \times 10^3 \text{ Pa}}{2.2708 \text{ Kg}/\text{m}^3}} = 430.6934 \text{ m}/\text{s}$$

$$v_3 = \sqrt{\frac{P_{3abs}}{\rho_3}} = \sqrt{\frac{470.2594 \times 10^3 \text{ Pa}}{2.5188 \text{ Kg}/\text{m}^3}} = 432.0877 \text{ m}/\text{s}$$

Para calcular el caudal Q se necesita el área transversal del tubo que es cedula 60 Y tiene un diámetro interior de 109.52 mm, consiguientemente el área y los caudales serán:

$$A = \frac{\pi r^2}{2} = \frac{\pi(0.05476 \text{ m})^2}{2} = 4.7103 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Entonces los caudales correspondientes a cada lectura serán:

$$Q_1 = v_1 A = (425.0777 \text{ m}/\text{s})(4.7103 \times 10^{-3} \text{ m}^2) = 2.0022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_2 = v_2 A = (430.6934 \text{ m/s})(4.7103 \times 10^{-3} \text{ m}^2) = 2.0287 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_3 = v_3 A = (432.0877 \text{ m/s})(4.7103 \times 10^{-3} \text{ m}^2) = 2.0353 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Y los correspondientes flujos de vapor serán:

$$\dot{m}_1 = Q_1 \rho_1 = \left( 2.0022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \left( 1.5171 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = 3.0375 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_1 = Q_1 \rho_1 = \left( 2.0287 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \left( 2.2708 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = 4.6068 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_1 = Q_1 \rho_1 = \left( 2.0353 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \left( 2.5188 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = 5.1265 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Para obtener los caudales en Kg/hr se realiza correspondiente conversión de la siguiente forma.

$$\dot{m}_1 = 3.0375 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \left( \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \right) = 10935 \text{ Kg/hr}$$

$$\dot{m}_2 = 4.6068 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \left( \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \right) = 16584.48 \text{ Kg/hr}$$

$$\dot{m}_3 = 5.1265 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \left( \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \right) = 18455.4 \text{ Kg/hr}$$

### 3.3.2. Temperatura de bulbo húmedo.

Para calcular la temperatura de bulbo húmedo es necesario conocer la humedad por lo que nos auxiliamos de una unidad meteorológica y la medición se muestra en el apéndice A que corresponde a un 16 % de humedad en la hora que se realizó el análisis en la caldera. Para obtener el valor de la temperatura de bulbo húmedo se puede determinar a partir de una carta psicométrica la cual también se muestra en el apéndice B y los resultados se muestran en seguida.

Temperatura del agua de alimentación o bulbo seco °C	Temperatura de bulbo húmedo °C
26.4	22.8
26.8	22.9
26.9	22.95

### 3.3.3. Tabla de datos completa.

Con los datos que se acaban de calcular podemos llenar la tabla en los espacios faltantes y queda como se muestra en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4. Tabla de datos completa.**

Parámetro	unidades	medición 1	medición 2	medición 3
Flujo de vapor a la salida del generador de vapor	Kg/hr	10935	16584.48	18455.4
Presión de vapor a la salida	Kg/cm <sup>2</sup> man.	2	3.5	4
	Kg/cm <sup>2</sup> abs.	2.7953	4.2953	4.7953
Temperatura de vapor a la salida	°C	130.4874	145.4925	149.5457
Flujo de combustible (diesel)	Kg/hr	33.64	33.64	33.64
Temperatura del agua de alimentación	°C	26.4	26.8	26.9
Flujo de vapor de atomización	Kg/hr	10953	16584.48	18455.4
Temperatura de los gases secos de la chimenea	°C	168.6	110.1	107.8
Temperatura del bulbo seco del aire	°C	26.4	26.8	26.9
Temperatura del bulbo húmedo	°C	22.8	22.9	22.95

### 3.4. Calculo del calor absorbido por el generador de vapor $q_1$ .

El calor absorbido por en generador de vapor o también conocido como calor útil, se puede determinar si se conoce el gasto de vapor o flujo de vapor y las entalpías de vapor y del agua de alimentación. El cálculo se muestra en las

siguientes tablas en distintas cargas de la caldera, las formulas empleadas son las descritas en el capítulo 2.

### Medición 1.

Calor absorbido por el G.V. $q_1=(M_v/M_c)(h_v-h_a)$										
Flujo de vapor $M_v(\text{Kg/hr})$	Flujo de combustible $M_c(\text{Kg/hr})$	Entalpia del vapor de salida del S.C. $h_v(\text{Kcal/Kg})$				Entalpia del agua de alimentacion $h_a(\text{Kcal/Kg})$				$q_1 (\text{Kcal/Kg})$
		$p_v(\text{Kg/cm}^2)=$	4.7953	$t_v(^{\circ}\text{C})=$	149.55	$p(\text{Kg/cm}^2)=$	4.7953	$t_a(^{\circ}\text{C})=$	26.9	
18455.4	34	656.0756				27.0548				345090.0854

### Medición 2.

Calor absorbido por el G.V. $q_1=(M_v/M_c)(h_v-h_a)$										
Flujo de vapor $M_v(\text{Kg/hr})$	Flujo de combustible $M_c(\text{Kg/hr})$	Entalpia del vapor de salida del S.C. $h_v(\text{Kcal/Kg})$				Entalpia del agua de alimentacion $h_a(\text{Kcal/Kg})$				$q_1 (\text{Kcal/Kg})$
		$p_v(\text{Kg/cm}^2)=$	4.7953	$t_v(^{\circ}\text{C})=$	149.55	$p(\text{Kg/cm}^2)=$	4.7953	$t_a(^{\circ}\text{C})=$	26.9	
18455.4	34	656.0756				27.0548				345090.0854

### Medición 3.

Calor absorbido por el G.V. $q_1=(M_v/M_c)(h_v-h_a)$										
Flujo de vapor $M_v(\text{Kg/hr})$	Flujo de combustible $M_c(\text{Kg/hr})$	Entalpia del vapor de salida del S.C. $h_v(\text{Kcal/Kg})$				Entalpia del agua de alimentacion $h_a(\text{Kcal/Kg})$				$q_1 (\text{Kcal/Kg})$
		$p_v(\text{Kg/cm}^2)=$	4.7953	$t_v(^{\circ}\text{C})=$	149.55	$p(\text{Kg/cm}^2)=$	4.7953	$t_a(^{\circ}\text{C})=$	26.9	
18455.4	34	656.0756				27.0548				345090.0854

### 3.5. Calculo de las perdidas.

Recordando que el método para determinar la eficiencia en calderas paquete es el de pérdidas o indirecto, y las perdidas mayores deben ser por gases de la combustión. De las perdidas identificadas en el capítulo anterior se determinaran 5 debido a que; el contenido de humedad en el combustible es 0 entonces las perdidas por el contenido de humedad en el diesel ( $q_4$ ) son 0, el calor perdido por combustible sin quemar contenido en las cenizas ( $q_7$ ) es difícil de cuantificar en el tiempo de duración de la prueba y las consideramos 0 y las perdidas por vapor de atomización ( $q_8$ ) también son 0 porque no tenemos ninguna extracción de vapor en la caldera. Los cálculos y resultados se muestran a continuación para cada una de las tres mediciones.

- Calor perdido por los gases de la combustión  $q_2$ .

Medición 1.

Calor perdido en los gases secos de la chimenea $q_2 = W_g C_p (t_g - t_a)$														
Peso o masa de los gases secos/kg de comb $W_g = (44,01(CO_2) + 28,01(CO) + 32,00(O_2) + 28,02(N_2)) / (112,01(CO_2 + CO) + Cb + (12,01/32)S)$											$q_2$ (Kcal/Kg)			
$CO_2 =$	0,0	$CO =$	0,007	$O_2 =$	20,95	$N_2 =$	0,004	$C_p =$	0,879	$S =$		0		
7326.6060											0,24	168,6	26,4	250042,4089

Medición 2.

Calor perdido en los gases secos de la chimenea $q_2 = W_g C_p (t_g - t_a)$														
Peso o masa de los gases secos/kg de comb $W_g = (44,01(CO_2) + 28,01(CO) + 32,00(O_2) + 28,02(N_2)) / (112,01(CO_2 + CO) + Cb + (12,01/32)S)$											$q_2$ (Kcal/Kg)			
$CO_2 =$	0,0	$CO =$	0,006	$O_2 =$	20,95	$N_2 =$	0,004	$C_p =$	0,879	$S =$		0		
7791.4944											0,24	110,1	26,8	155767,5559

Medición 3.

Calor perdido en los gases secos de la chimenea $q_2 = W_g C_p (t_g - t_a)$														
Peso o masa de los gases secos/kg de comb $W_g = (44,01(CO_2) + 28,01(CO) + 32,00(O_2) + 28,02(N_2)) / (112,01(CO_2 + CO) + Cb + (12,01/32)S)$											$q_2$ (Kcal/Kg)			
$CO_2 =$	0,0	$CO =$	0,007	$O_2 =$	20,95	$N_2 =$	0,004	$C_p =$	0,879	$S =$		0		
7012.6964											0,24	107,8	26,9	136158,5141

- Calor perdido en el agua debido al hidrogeno del combustible  $q_3$ .

Medición 1.

Calor perdido en el agua formada debido al hidrogeno del combustible como producto de la combustion $q_3 = 8,936H_2(h_{vg} - h_l)$									
Fraccion de hidrogeno en el comb. $H_2$	Entalpia del vapor de agua en gases $h_{vg}$ (Kcal/Kg)				Entalpia de liquido saturado ala temp ambiente $h_l$ (Kcal/Kg)				$q_3 = 8,936H_2(h_{vg} - h_l)$
	$p =$	0,00004	$tg =$	168,6	$pa =$		$ta =$	26,4	
0,103	673,7542				26,4347				595,7980

Medición 2.

Calor perdido en el agua formada debido al hidrogeno del combustible como producto de la combustion $q_3 = 8,936H_2(h_{vg} - h_l)$									
Fraccion de hidrogeno en el comb. $H_2$	Entalpia del vapor de agua en gases $h_{vg}$ (Kcal/Kg)				Entalpia de liquido saturado ala temp ambiente $h_l$ (Kcal/Kg)				$q_3 = 8,936H_2(h_{vg} - h_l)$
	$p =$	0,00002	$tg =$	110,1	$pa =$	0	$ta =$	26,8	
0,1045	647,0789				26,8342				579,1919

Medición 3.

Calor perdido en el agua formada debido al hidrogeno del combustible como producto de la combustion $q_3 = 8,936H_2(h_{vg} - h_l)$									
Fraccion de hidrogeno en el comb. $H_2$	Entalpia del vapor de agua en gases $h_{vg}$ (Kcal/Kg)				Entalpia de liquido saturado ala temp ambiente $h_l$ (Kcal/Kg)				$q_3 = 8,936H_2(h_{vg} - h_l)$
	$p =$	0,00001	$tg =$	107,8	$pa =$	0	$ta =$	26,9	
0,103	646,0381				26,9341				569,8283

- **Calor perdido por combustión incompleta  $q_5$ .**

Medición 1.

Calor perdido por combustión incompleta (CO) $q_5=5644.4C_b(CO/(CO_2+CO))$			
Fracción del carbono en el comb. $C_b$	% de gases en chimenea CO	% de gases en chimenea $CO_2$	$q_5=5644.4C_b(CO/(CO_2+CO))$
0.879	0.0067	0	4961.4276

Medición 2.

Calor perdido por combustión incompleta (CO) $q_5=5644.4C_b(CO/(CO_2+CO))$			
Fracción del carbono en el comb. $C_b$	% de gases en chimenea CO	% de gases en chimenea $CO_2$	$q_5=5644.4C_b(CO/(CO_2+CO))$
0.879	0.0063	0	4961.4276

Medición 3.

Calor perdido por combustión incompleta (CO) $q_5=5644.4C_b(CO/(CO_2+CO))$			
Fracción del carbono en el comb. $C_b$	% de gases en chimenea CO	% de gases en chimenea $CO_2$	$q_5=5644.4C_b(CO/(CO_2+CO))$
0.879	0.007	0	4961.4276

- **Calor perdido por la humedad del aire suministrado al combustible  $q_6$ .**

Medición 1.

Calor perdido por la humedad del aire suministrado en la combustión $q_6=W_a W' A(h_{vg}-h_{vsa})$														
Humedad absoluta $W_a$ (Kg agua/Kg aire)				Peso de aire seco por Kg de combustible (aire real) $W' A$ (Kg aire/Kg comb.)				Entalpia del vapor de agua en gases $h_{vg}$ (Kcal/Kg)		Entalpia de vapor saturado a la temperatura Ambiente $h_{vsa}$ (Kcal/Kg)		$q_6=W_a W' A(h_{vg}-h_{vsa})$		
$t_{a1}=$	26.4	$t_{a2}=$	22.8	$N_{en\ gases}=$	1.2855	$N_{en\ combustible}=$	0.001	$p=$	0.00004	$t_g=$	168.6		$p_s=$	$t_s=$
0.016				1.6715				673.7542		609.3359		1.7228		

Medición 2.

Calor perdido por la humedad del aire suministrado en la combustión $q_6=W_a W' A(h_{vg}-h_{vsa})$														
Humedad absoluta $W_a$ (Kg agua/Kg aire)				Peso de aire seco por Kg de combustible (aire real) $W' A$ (Kg aire/Kg comb.)				Entalpia del vapor de agua en gases $h_{vg}$ (Kcal/Kg)		Entalpia de vapor saturado a la temperatura Ambiente $h_{vsa}$ (Kcal/Kg)		$q_6=W_a W' A(h_{vg}-h_{vsa})$		
$t_{a1}=$	26.8	$t_{a2}=$	22.9	$N_{en\ gases}=$	0.0037	$N_{en\ combustible}=$	0.001	$p=$	0.00002	$t_g=$	110.1		$p_s=$	$t_s=$
0.016				0.0035				647.0789		609.5094		0.0021		

Medición 3.

Calor perdido por la humedad del aire suministrado en la combustión $q_6=W_a W' A(h_{vg}-h_{vsa})$														
Humedad absoluta $W_a$ (Kg agua/Kg aire)				Peso de aire seco por Kg de combustible (aire real) $W' A$ (Kg aire/Kg comb.)				Entalpia del vapor de agua en gases $h_{vg}$ (Kcal/Kg)		Entalpia de vapor saturado a la temperatura Ambiente $h_{vsa}$ (Kcal/Kg)		$q_6=W_a W' A(h_{vg}-h_{vsa})$		
$t_{a1}=$	26.9	$t_{a2}=$	22.95	$N_{en\ gases}=$	0.0042	$N_{en\ combustible}=$	0.001	$p=$	0.00001	$t_g=$	107.8		$p_s=$	$t_s=$
0.016				0.0042				646.0381		609.5528		0.0024		

- **Calor perdido por radiación  $q_9$ .**

El factor de radiación se determina de la tabla de pérdidas por radiación como porcentaje del aporte bruto de calor (ABMA) mostrada en el apéndice C. el poder calorífico se muestra en la tabla de propiedades de algunas fuentes energéticas del apéndice D.

Medición 1.

Perdidas por radiacion $h_9=(fr)(PCS)$		
Factor de perdidas por radiacion fr(%)	Poder calorifico del comb. PCS(Kcal/Kg de comb.)	$h_9=(fr)(PCS)$
1.08	10500	113.4000

Medición 2.

Perdidas por radiacion $h_9=(fr)(PCS)$		
Factor de perdidas por radiacion fr(%)	Poder calorifico del comb. PCS(Kcal/Kg de comb.)	$h_9=(fr)(PCS)$
0.82	10500	86.1000

Medición 3.

Perdidas por radiacion $h_9=(fr)(PCS)$		
Factor de perdidas por radiacion fr(%)	Poder calorifico del comb. PCS(Kcal/Kg de comb.)	$h_9=(fr)(PCS)$
0.67	10500	70.3500

### 3.6. Determinación de la eficiencia.

Calculadas todas las perdidas posibles se procederá a determinar la eficiencia, pero antes de eso se necesita determinar los créditos por el calor que entra con el aire de combustión y en el combustible. El resultado de la eficiencia en cada una de las mediciones se muestra a continuación así como los cálculos respectivos.

### Medición 1.

sumatoria de calor perdido $\sum q_p$	creditos de calor	eficiencia termica $\eta_t$
$q_p=q_2+q_3+q_4+q_5+q_6+q_7+q_8+q_9$	Creditos de calor= $q_1+q_p$ -PCS	$\eta_t=q_1/(PCS+creditos)$
255714.7574	447947.3495	44.2216

### Medición 2.

sumatoria de calor perdido $\sum q_p$	creditos de calor	eficiencia termica $\eta_t$
$q_p=q_2+q_3+q_4+q_5+q_6+q_7+q_8+q_9$	Creditos de calor= $q_1+q_p$ -PCS	$\eta_t=q_1/(PCS+creditos)$
161394.2776	460468.5918	65.7314

### Medición 3.

sumatoria de calor perdido $\sum q_p$	creditos de calor	eficiencia termica $\eta_t$
$q_p=q_2+q_3+q_4+q_5+q_6+q_7+q_8+q_9$	Creditos de calor= $q_1+q_p$ -PCS	$\eta_t=q_1/(PCS+creditos)$
141760.1224	476350.2078	70.8822

Comparando los resultados obtenidos con los de la tabla 2.1 la eficiencia a su máxima capacidad que es de 4 Kg/cm<sup>2</sup> es de 70.88% y deberíamos de tener un porcentaje aproximado a 80%.

# **CAPITULO IV**

## **PROPUESTA DE AHORRO DE ENERGÍA.**

## **4. Calentadores solares.**

### **4.1. calentamiento del agua.**

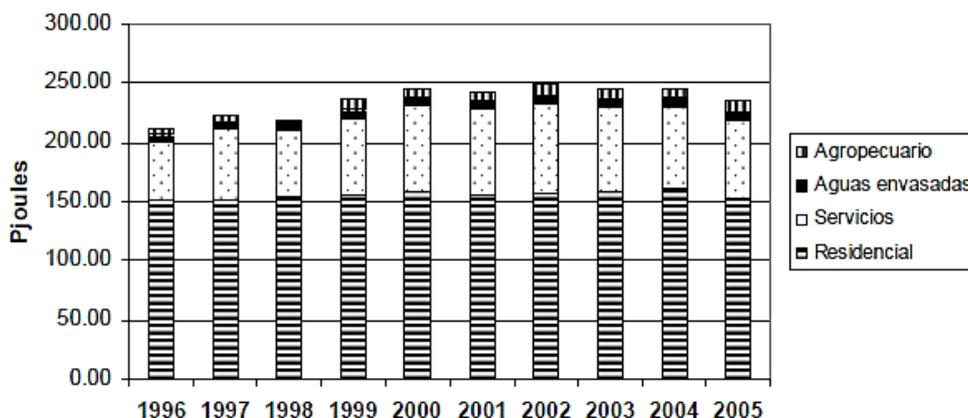
Uno de los principales usos finales de la energía es el calentamiento de fluidos, principalmente aire y agua. En la industria, los servicios y entretenimiento las necesidades son en un volumen mayor, como en una alberca, producción, tratamiento y manejo de alimentos o confort en los procesos de crianza y engorda de animales. En este sentido, el calentamiento de agua es un proceso relativamente simple que se obtiene, predominantemente, con la quema de combustibles fósiles, en el sector residencial, con gas LP, gas natural y leña, esto último en zonas rurales o periurbanas, mientras que en los sectores productivos, se logra con gas LP, gas natural, combustóleo y/o diesel.

Un calentador solar es un aparato que utiliza el calor del sol para calentar alguna sustancia, esta es un fluido ideal para el transporte del calor como puede ser agua, aceite, salmuera, glicol o incluso aire. El calentamiento solar de agua es un proceso que puede ser más económico que los procedimientos que utilizan combustibles fósiles, además de que sus impactos al medio ambiente son prácticamente nulos y pueden tener una vida útil de hasta 20 años sin mayor mantenimiento.

En otras partes del mundo el calentamiento solar es una alternativa aplicada con gran amplitud. A finales del 2004 se tenía instalados a nivel global 164 millones de m<sup>2</sup> de área de captación, correspondiente a una capacidad instalada de cerca de 115 GWh. 1 China es el mercado líder en el mundo, con el 38% de la capacidad instalada, mientras que los Estados Unidos ocupan el segundo lugar (17%) y Japón el tercero (4.7%). La Unión Europea en su conjunto representa el 10.4% del mercado internacional, donde Alemania, Grecia y Austria son los principales mercados. La producción anual de todo el campo de captadores solares instalados en el 2004 en los 35 países fue de poco más de 68,000 GWh (244,800TJ), correspondiendo a 10.8 billones de litros de equivalente de petróleo y una disminución de 29.6 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Una estimación hecha con base en los consumos actuales de energéticos y/o el número de instalaciones existentes para varios tipos de usuarios, las tasas de reposición de los equipos y el crecimiento de la economía y del parque de casas habitación, ubica un potencial de mercado de más de dos millones de metros cuadrados al año.

<sup>24</sup>El calentamiento de agua a bajas temperaturas es un proceso que, en México, se obtiene, predominantemente con los métodos mencionados al inicio de este capítulo, pero no se tienen estudios que permitan ubicar la cantidad de energía que se utiliza para calentar fluidos a baja temperatura. Sin embargo, se estima que ésta es cercana a los 230 PJ por año. Esto representa cerca del 6% del consumo energético final del país



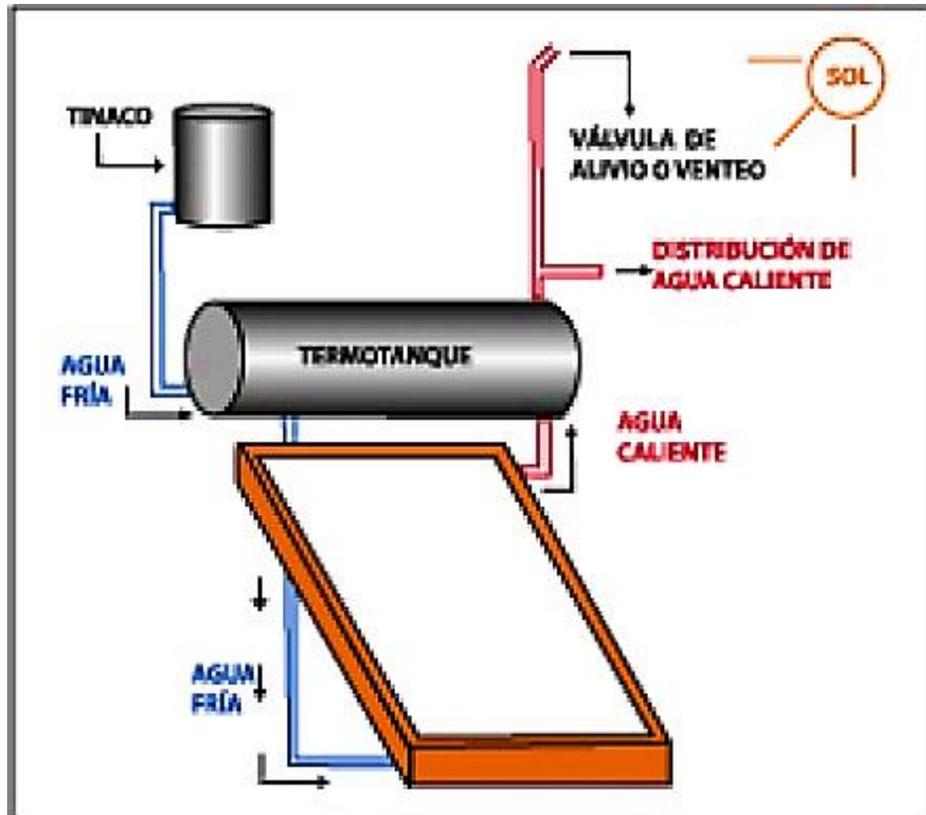
<sup>25</sup>Fig. 4.1. Estimado de consumo de energía para calentamiento de fluidos a baja temperatura en México (inferior a 100°C) hasta el año 2005.

#### 4.2. Definición de calentador solar.

Un calentador solar de agua es un sistema fototérmico capaz de utilizar la energía térmica del sol para el calentamiento de agua sin usar ningún tipo de combustible. Se compone de: un colector solar plano, donde se captura la energía del sol y se transfiere al agua; un termotanque, donde se almacena el agua caliente; y un sistema de tuberías por donde circula el agua, los cuales se muestran el Fig. 4.2. Se compone de: un colector solar plano, donde se captura la energía del sol y se transfiere al agua; un termotanque, donde se almacena el agua caliente; y un sistema de tuberías por donde circula el agua.

La eficiencia para captar la energía solar es muy elevada en los calentadores solares. Dependiendo de la tecnología y materiales implementados, puede llegar a tener eficiencias de 70% u 80%

<sup>24</sup> Y <sup>25</sup> Comisión Nacional del Ahorro de Energía/ ANES/ GTZ. (Agosto del 2007). Programa para la promoción de calentadores solares en México. Recuperado en enero del 2012. [conae.gob.mx](http://conae.gob.mx).



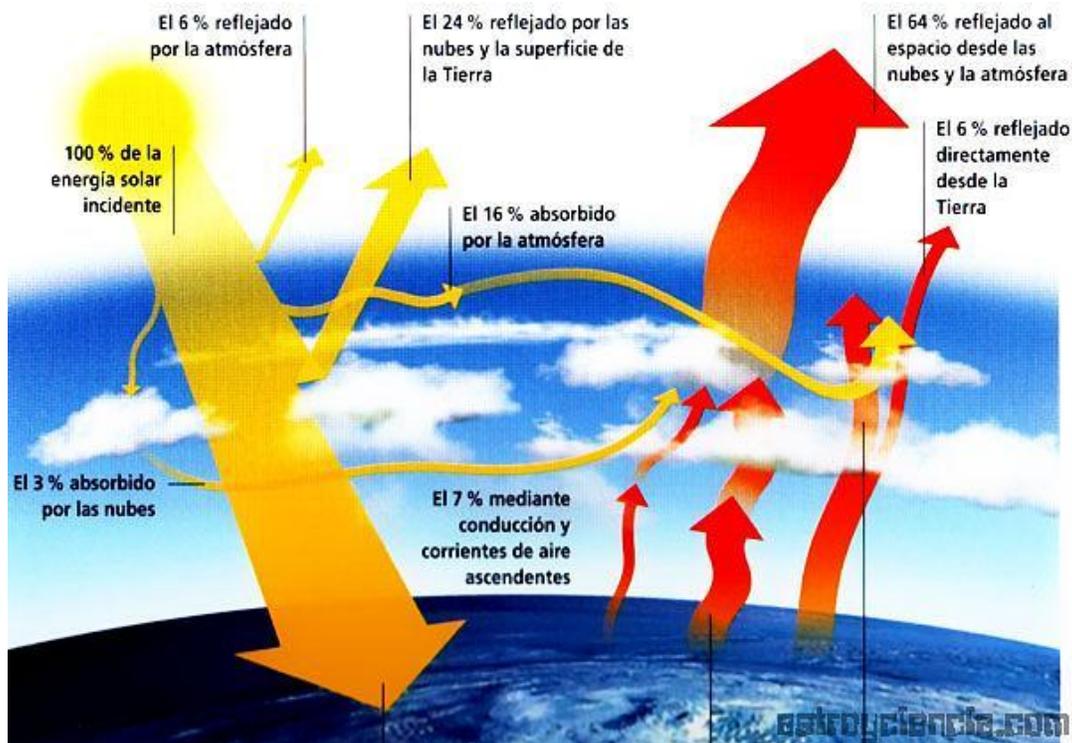
<sup>26</sup>Fig. 4.2. Esquema básico de un calentador solar.

### 4.3. Descripción de la energía solar.

El sol está compuesto mayoritariamente por hidrógeno y helio. En él se produce, de manera continua, un proceso nuclear de fusión por el que el hidrógeno se transforma en helio y se genera una gran cantidad de energía. Esta energía es emitida a todo el espacio en forma de radiación electromagnética ultravioleta (UV), visible (V) e infrarroja (IR).

Un colector solar es capaz de captar la energía que aporta la radiación solar. En función de la misma, los colectores pueden ser de alta (400°C), media (100°C-400°C), o baja (-100°C) temperatura, siendo estos últimos, los que han adquirido un mayor desarrollo comercial.

<sup>26</sup> <http://faeitch2011.files.wordpress.com/2011/03/colector-con-termotanque.jpg>. consultado en enero del 2012.



<sup>27</sup>Fig. 4.3. Proporción de emisión de radiación solar

Nuestro planeta recibe menos de una milmillonésima parte. La cual resulta, en proporción con el tamaño de la Tierra, una cantidad enorme. De esta forma, en un año, la Tierra recibe del sol la energía que podría producir 60 millones de toneladas de petróleo. De acuerdo con la Asociación Nacional de Energía Solar AC, si se lograra convertir el 1% de esta energía en electricidad se podría producir lo equivalente a la electricidad utilizada en todo México en 1996.

<sup>28</sup>Por su ubicación geográfica, México cuenta con excelentes recursos de energía solar, con un promedio de radiación de alrededor de 5 kWh/m<sup>2</sup> por día, lo que significa a que en un m<sup>2</sup> y con un equipo solar de eficiencia de 50% se reciba diariamente el equivalente a la energía contenida en un metro cúbico de gas natural, o bien, la de 1.3 litros de gas licuado de petróleo.

<sup>29</sup>Suponiendo que los 230 PJoules que se estiman arriba como consumo anual para calentar agua en México, se proveyera con equipos solares (Se supone un recurso solar de 18,000 kJoules/m<sup>2</sup> día y una eficiencia de conversión de 50%), el

<sup>27</sup> <http://blog.technosun.com/wp-content/uploads/2010/06/ciclo-de-la-energia.jpg>. Consultado en enero del 2012

<sup>28</sup> Secretaría de Energía (SENER) (2005). Balance Nacional de Energía 2005. México. Se considera una equivalencia de 38.1 MJ/m<sup>3</sup> de gas natural y 3.8 MJ/barril de gas LP. Consultado en enero del 2012.

<sup>29</sup> Estimaciones de ENTE, S.C. con base en precios promedio de gas natural y gas licuado de petróleo al mes de mayo de 2007, obtenidos de la Comisión Reguladora de Energía (<http://www.cre.gob.mx>) y el Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía (<http://www.sie.sener.gob.mx>).

área que se tendría instalada sería cercana a los 70 millones de metros cuadrados <sup>Ref.4.3</sup>, lo que representaría un ahorro aproximado de casi 5 millones de toneladas de gas licuado y 640,200 metros cúbicos de gas natural, equivalentes a poco más de 49 mil millones de pesos en recursos ahorrados, además de una disminución de alrededor de 4 millones de toneladas en emisiones de CO2 equivalentes al año.  
<sup>Ref.4.4</sup>

El enorme potencial que tiene nuestro país se desperdicia, perdiendo la oportunidad de que miles de familias mexicanas se vean beneficiadas en su economía y en su salud al utilizar los calentadores solares.

#### 4.4. Tipos de calentadores solares

Los calentadores son de varios tipos, de los cuales debe tomarse primero en cuenta el tipo de funcionamiento que tiene, el cual es parte importante a nivel industrial. De acuerdo con su funcionamiento los calentadores solares son de dos tipos:

**Activos:** Los calentadores solares activos son aquellos que utilizan una bomba o algún tipo de energía externa para mover el agua dentro de su ciclo convección forzada.

**Pasivos:** Los calentadores solares pasivos no requieren de energía externa para funcionar. Utilizan el principio de convección natural para mover el agua dentro del sistema.

Aunque generalmente por la forma en la cual operan estos se pueden clasificar en dos grandes grupos de los cuales podemos derivar a un más aumentando la tecnología de materiales, forma y por supuesto, costos:

**Colectores solares planos:** es cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica. Funcionan aprovechando el efecto invernadero (el mismo principio que se puede experimentar al entrar en un coche aparcado al sol en verano). El vidrio actúa como filtro para ciertas longitudes de onda de la luz solar: deja pasar fundamentalmente la luz visible, y es menos transparente con las ondas infrarrojas de menor energía.

El sol incide sobre el vidrio del colector, que siendo muy transparente a la longitud de onda de la radiación visible, deja pasar la mayor parte de la energía. Ésta calienta entonces la placa colectora que, a su vez, se convierte en emisora de

radiación en onda larga o infrarrojos, menos energética. Pero como el vidrio es muy opaco para esas longitudes de onda, a pesar de las pérdidas por transmisión, (el vidrio es un mal aislante térmico), el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior. Al paso por la caja, el fluido calor-portador que circula por los conductos se calienta, y transporta esa energía térmica a donde se desee.

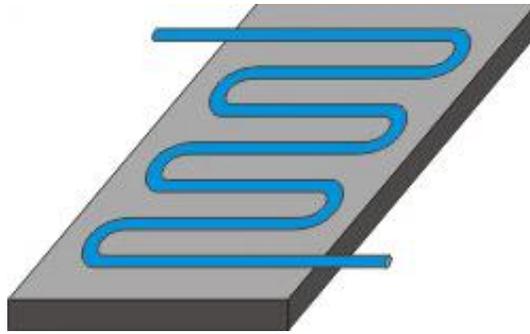
El rendimiento de los colectores mejora cuanto menor sea la temperatura de trabajo, puesto que a mayor temperatura dentro de la caja (en relación con la exterior), mayores serán las pérdidas por transmisión en el vidrio. También, a mayor temperatura de la placa captadora, más energética será su radiación, y más transparencia tendrá el vidrio a ella, disminuyendo por tanto la eficiencia del colector.

**Colector solar de concentradores reflejantes:** también conocidos como concentradores solares tienen como función que el fluido se caliente a alta temperatura mediante espejos parabólicos.

Estos espejos concentran los rayos solares en un punto del líquido termo adsorbente, el cual puede estar ubicado ya sea en un punto focal (espejos concéntricos), en donde un campo de espejos concentra la energía en un recipiente lleno de líquido termo sensible; o en una tubería recta y que corra al punto focal (espejos parabólico), en el que el espejo es largo y con forma parabólica concentrando la energía radiante en una tubería llena de líquido que pasa a lo largo de todo el espejo y esté conectado a un tanque de almacenamiento.

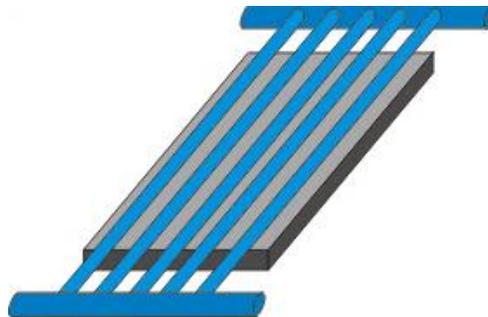
**Colector solar de tubos de vidrio:** este tipo de colector solar tiene varios tipos dependiendo de las necesidades de consumo del sistema. Los tres tipos conocidos son el de tuberías en serpentín, tuberías paralelas y tuberías al vacío.

- **Tuberías en serpentín:** en este orden, las tuberías de vidrio son en realidad una sola en forma de serpentín encerrada dentro de una caja herméticamente cerrada cubierta por algún vidrio u otro material transparente con tal de lograr el efecto invernadero. Su posición es horizontal y está conectado directamente al tanque de almacenamiento del que usa el efecto convectivo para hacer circular el agua entre el tanque de almacenamiento y el serpentín, haciendo pasar el agua caliente al tanque y sustituyéndola con agua fría procedente del mismo tanque.



<sup>30</sup>Fig. 4.4. Disposición de la tubería de vidrio en forma de serpentin.

- **Tuberías en paralelo:** muy similar a la estructura en serpentin, con la diferencia de que las tuberías de vidrio se encuentran en un orden paralelo y en vertical conectado directamente al tanque de almacenamiento. Encerrado sobre una placa de absorción y transportando el fluido que transporta el calor desde la zona de absorción hacia el tanque de almacenamiento. Esto se logra utilizando el efecto sifón.



<sup>31</sup>Fig. 4.5. Tuberías de vidrio en paralelo. Obsérvese que necesita estar con un ángulo mínimo para permitir el efecto sifón en la instalación.

- **Tubos al vacío:** quizá el orden más eficiente de los calentadores solares. Consta de una serie de tubos de cristal colocados paralelamente y en vertical, los tubos están aislados herméticamente y contienen materiales termo conductores que se conectan indirectamente al tanque de almacenamiento para transmitir el calor mediante conducción. Así el agua dentro del tanque está separada del medio de absorción y pierde menos calor por radiación durante las noches.

---

<sup>30</sup> <sup>31</sup> y <sup>32</sup> <http://www.textoscientificos.com/imagenes/solar/colector-paralelo.gif>. Consultado en enero del 2012.



<sup>32</sup>Fig. 4.6. Tubos al vacío. Cada tubo puede contener un fluido termo adsorbente como es glicol, salmuera o aire.

También podemos clasificar estos calentadores en subtipos más sencillos de los cuales abarcamos los tipos de circuitos y de circulación del que están formados.

#### **Según la separación entre circuito primario y secundario.**

Los calentadores solares funcionan gracias a la correcta operación de los circuitos de flujo de agua, en cuales la diferencia de densidades provoca el flujo de líquido caliente hacia zonas de aprovechamiento y de líquido frío hacia zonas de absorción.

**Sin separación entre primario y secundario (Circuito abierto).** El fluido calor-portador (el fluido que circula por los paneles solares) es usado directamente para su consumo. Esta configuración es muy simple y se puede emplear únicamente para la producción de agua caliente sanitaria en climas sin riesgo de heladas.

**Con separación entre primario y secundario (Circuito cerrado).** Un intercambiador separa el circuito primario del secundario. Por el circuito primario, cerrado, circula el fluido calor portador, generalmente agua glicolada. Por el secundario circula el agua de consumo, bien en un circuito abierto (agua caliente sanitaria) o bien en un circuito cerrado (calefacción). El fluido del primario, recalentado por la radiación solar al pasar por el panel, cede su exceso calórico al circuito secundario mediante el intercambio energético en el intercambiador de calor.

#### **Según el sistema de circulación.**

La circulación en un calentador de agua es algo sumamente importante debido a que es los factores de diferencia de densidad o ahorro de energía los que

permitirán el aprovechamiento correcto del calor transportado de una zona de trabajo a otra.

Además que su correcto funcionamiento es directamente proporcional a la eficiencia del sistema, y en caso de que la circulación sea obstruida o interrumpida, el calor absorbido por el sistema no tendría lugar de desahogo provocando la descompostura total del sistema.

**Termosifón o circulación por convección natural.** No tienen bomba para la circulación entre los paneles y el acumulador. El fluido dentro de los paneles, calentado por el sol, disminuye su densidad, por lo que el mayor peso del agua fría del depósito (colocado por encima de los colectores más de 50 cm.), empuja al agua caliente del panel, menos pesada, obligándola a ascender por la tubería que une la parte superior del depósito.

**Circulación forzada.** Una bomba hace circular el agua de forma forzada, lo cual permite regular mejor la instalación. Ahora el captador y el depósito pueden adoptar la posición relativa que convenga, es decir, que pueden estar al mismo nivel.

#### **4.5. Componentes básicos de un calentador solar.**

##### **Fluido Calor-portador**

Si se utiliza circulación indirecta existen dos circuitos: uno con agua potable para el consumo, y otro con un fluido calor-portador

El fluido calor-portador es aquél que pasa por los tubos del absorbedor, transfiriendo la energía térmica absorbida a otra parte del sistema, al intercambiador de calor o depósito acumulador. Los dos circuitos se ceden energía mediante un intercambiador de calor. En este sistema, el agua potable no pasa por el colector, sino únicamente por el contenedor, que aloja un intercambiador de calor donde se transfiere la energía captada por el fluido calor portador

Los tipos más utilizados son: agua natural, agua con anticongelante (20 %-30 %), fluidos orgánicos, aceites de silicona. El agua y la mezcla de anticongelante, pueden ser también aceites de silicona o líquidos orgánicos sintéticos. Los anticongelantes son glicoles y los más usados son el etilenglicol y el propilaglicol.

Podemos decir más específicamente que en este tipo de calentadores de circulación indirecta una sustancia de trabajo se calienta y se envía a un intercambiador de calor. Éste utiliza el mismo principio que un radiador. De esta manera se separa el fluido del sistema con el fluido a utilizar.

Los fluidos calor portador tienen su función al pasar a través del absorbedor y transferir a la parte del sistema de aprovechamiento térmico (acumulador o inter-acumulador) la energía.

Los fluidos calor portador tienen su función al pasar a través del absorbedor y transferir a la parte del sistema de aprovechamiento térmico (acumulador o inter-acumulador) la energía.

### **Captadores Solares**

El captador solar es el elemento que capta la radiación solar y la transforma en energía térmica.

Para conseguir agua caliente a baja temperatura se utilizan captadores planos o de vacío, mientras que para aplicaciones industriales en las que se genere vapor o de media temperatura se utilizan concentradores solares.

**Colectores No Vidriados:** Son aquellos que no presentan cubierta que aisle al captador plano del exterior. Tiene pérdidas de calor más elevadas. Aplicación en calentamiento de piscinas al aire libre y en casos donde se demanda baja temperatura.

**Colectores Vidriados:** Estos captadores están limitados por una cubierta, generalmente de cristal. Coeficiente de pérdida menor. Aplicables en instalaciones de un nivel energético superior como la preparación de agua caliente sanitaria o calefacción. Dentro de este tipo se encuentran los de tubos de vacío y los planos.

- **Los tubos de vacío** se caracterizan por disponer de una ampolla de vidrio que aísla el interior del captador del ambiente y permiten alcanzar temperaturas de hasta 120 °C.
- **Los colectores planos** consiguen el máximo aprovechamiento de la radiación solar incidente mediante el efecto invernadero que produce la cubierta.



<sup>33</sup>Fig. 4.7. Esquema general de un colector plano.

**Captadores por Aire:** Esta tipología de captadores tiene la misma base de funcionamiento que las de transmisión por líquido, pero el fluido a calentar es aire. La sección de los tubos es más grande.

**Captadores fabricados con materiales plásticos o caucho.** Para el calentamiento de piscinas al aire libre. Son resistentes a los productos químicos, cloro, intemperie, rayos ultravioleta y congelación. Trabajan a temperaturas menores de 30 C.

### Acumuladores

La necesidad de energía no siempre coincide en el tiempo con la captación que se obtiene del Sol, por lo que es necesario disponer de un sistema de acumulación que haga frente a la demanda en momentos de poca o nula radiación solar, así como a la producción solar en momentos de poco o nulo consumo.

### Intercambiadores de calor

El intercambiador de calor es un elemento que se instala cuando se quiere transferir el calor de un fluido a otro sin que éstos se mezclen. Se suelen utilizar cuando el agua contiene anticongelante.

<sup>33</sup> [http://4.bp.blogspot.com/\\_jEeG2I2ioqs/TFHiNHggDRI/AAAAAAAAAKY/UIFtvFPR8I8/s1600/Imagen3.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_jEeG2I2ioqs/TFHiNHggDRI/AAAAAAAAAKY/UIFtvFPR8I8/s1600/Imagen3.jpg). Consultado en enero del 2012

## **Bombas de circulación**

Las bombas de circulación o electrocirculadores son aparatos accionados por un motor eléctrico, capaces de suministrar al fluido una cantidad de energía suficiente para transportar el fluido a través de un circuito, venciendo las pérdidas de carga existentes en el mismo.

## **Depósito de expansión**

Su función es absorber las dilataciones del fluido calor portador que se producen con el aumento de temperatura.

### **4.6. Uso del agua doméstica en general.**

Es difícil estimar la cantidad de agua que se necesita para mantener estándares de vida aceptables o mínimos. Además, las diferentes fuentes de información emplean diferentes cifras para el consumo total de agua y para el uso del agua por sector de la economía.

En general se considera que un volumen de 20 a 40 litros de agua dulce por persona por día es el mínimo necesario para satisfacer las necesidades de beber y saneamiento solamente. Si también se incluye el agua para bañarse y cocinar, esta cifra varía entre 27 y 200 litros per cápita por día.

La cantidad de agua que las personas realmente utilizan en un país depende no sólo de las necesidades mínimas y de cuánta agua se dispone para el uso, sino también del nivel de desarrollo económico y del grado de urbanización.

Por supuesto que uno de los usos más importantes que le damos al agua es en nuestros propios hogares. Este tipo de uso corresponde a la categoría de uso doméstico. Los usos domésticos incluyen agua para todas las cosas que usted hace en su casa: tomar agua, preparar los alimentos, bañarse, lavar la ropa y los utensilios de cocina, cepillarse los dientes, regar su jardín y ¡Hasta bañar al perro!

### **4.7. consumo de agua por regadera.**

<sup>34</sup>En México, el promedio de consumo de agua es de aproximadamente 365 litros por persona, al día. En la Ciudad de México, en una zona como Iztapalapa, cada persona utiliza apenas 28 litros diarios; en los sectores de clase media, por ejemplo las colonias de la delegación Benito Juárez, va de 275 a 410 litros; pero en zonas de alto poder adquisitivo como las Lomas de Chapultepec, el consumo es de 800 a mil litros por día.

---

<sup>34</sup> Comisión Nacional del Ahorro de Energía. [conae.gob.mx](http://conae.gob.mx). Información general. Consultado en enero del 2012.

Para lograr la mejor selección del calentador solar se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1.- El número de personas y sus hábitos de consumo. Este dato es primordial para saber qué equipo solar se debe comprar. Sin embargo, si se cambian los hábitos de consumo por unos más responsables, el equipo a adquirir será de menor capacidad y así los costos serán menores.

2.- Considerar otros usos distintos al aseo personal.

Las tablas 4.1. y 4.2. de selección de calentadores solares son para clima cálido, y temperatura del agua ambiente de 20°C, y la tabla 4.3. es para clima templado a frío con heladas, temperaturas del agua de 15°C.

**Tabla. 4.1. Sólo para uso de regadera, 30 litros por persona a 45°C.**

No. De personas	Capacidad de termotanque	Numero de colectores planos
2	115	1
4	115	1
6	200	2
8	300	2
10	300	2

**Tabla 4.2. Para uso de regadera y lavabo, 45 litros por persona a 55°C.**

No. De personas	Capacidad de termo tanque	Numero de colectores planos
2	115	1
4	200	2
6	300	3
8	2 x 200	3
10	300 + 200	4

**Tabla 4.3. Sólo para uso de regadera, 40 litros por persona a 45°C.**

No de personas	Capacidad de termo tanque	Numero de colectores solares planos	Válvula anticongelante
2	115	1	1
4	200	2	1
6	300	2	1
8	300	3	1
10	2 x 200	4	1

## **Instalaciones.**

Se recomienda que estos se instalen en las azoteas de las casas, orientados hacia el sur (ya que nos encontramos en el hemisferio norte), de tal manera que queden expuestos a la radiación solar todo el día.

Se deberá evitar sombras sobre el calentador, por lo que se sugiere que el tinaco quede del lado norte del calentador solar. Si existen muros o pretilas deberán estar tan separados como las alturas de los mismos.

El colector solar plano debe colocarse con cierto grado de inclinación, lo que permite aprovechar eficientemente la radiación. No obstante, la inclinación a la que se debe colocar el colector dependen de la localización de la ciudad donde se pretenda instalar, sin embargo, se recomienda, que esta sea aproximadamente  $10^\circ$  más, que la latitud del lugar de instalación. En el caso de la ciudad de México la inclinación debe ser de  $15^\circ$ .

La posición del termo tanque debe permitir que este se llene por gravedad, por consiguiente debe colocarse por lo menos 30 cm, sobre el nivel superior del colector. De tal suerte, que los tinacos que sean abastecidos por los calentadores solares, deberán estar como mínimo 50 cm, sobre el nivel de los calentadores solares.

Sin embargo, en situaciones donde el termo tanque no se pueda colocar por encima del colector por el espacio requerido o por los circuitos que se deben usar, es posible la utilización de bombas que mantengan la circulación dentro del colector y el flujo de agua dentro del termo tanque, asegurándonos que esto permita la correcta operación de calentador.

Es frecuente y recomendable que el calentador solar y el “boiler” se instalen en serie, es decir, uno después del otro. De esta forma, si usted tiene boiler en la casa también puede instalar el calentador solar y alternar su uso. Por ejemplo en el caso de días muy nublados o si se requiere más agua caliente que lo normal, el “boiler” respalda al sistema solar garantizando que siempre habrá agua suficientemente caliente.

### **4.8. Eficiencia en colectores solares.**

<sup>35</sup>El rendimiento térmico del colector solar se determina mediante la obtención de valores de eficiencia instantánea de una combinación de valores de radiación incidente, temperatura ambiente, y la temperatura del agua de entrada. Esto

---

<sup>35</sup>. David Franco Martínez. (7 de mayo 2012). Estudio de eficiencia instantánea térmica de un colector solar. UNAM. FES ARAGON. Octubre del 2012.

requiera medir experimentalmente la radiación solar incidente sobre el colector solar, así como la tasa de incremento de la energía calorífica en el agua mientras pasa a través del colector solar, todo bajo condiciones de estado estacionario o cuasi estacionario.

El método experimental de acuerdo a la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005 para realizar las mediciones, debe de ser en estado estable o casi estacionario, siendo los parámetros a registrar la temperatura de agua de entrada y salida como fluido de trabajo y determinar el calor útil ganado  $Q_u$ . *Así también determina la eficiencia instantánea del colector.*

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_b}$$

*Dónde:*

$Q_u$  = calor útil.

$G_b$  = radiación solar

$A_c$  = área bruta del colector.

$Q_u = mC_p\Delta T$

*Se puede notar que la eficiencia de un colector solar dependerá de la cantidad de radiación solar en el momento de realizar el cálculo. La máxima eficiencia se tendría entre las 12:00pm y 13:00 pm que es la hora en que se da <sup>36</sup>la mayor radiación solar en la ciudad de México.*

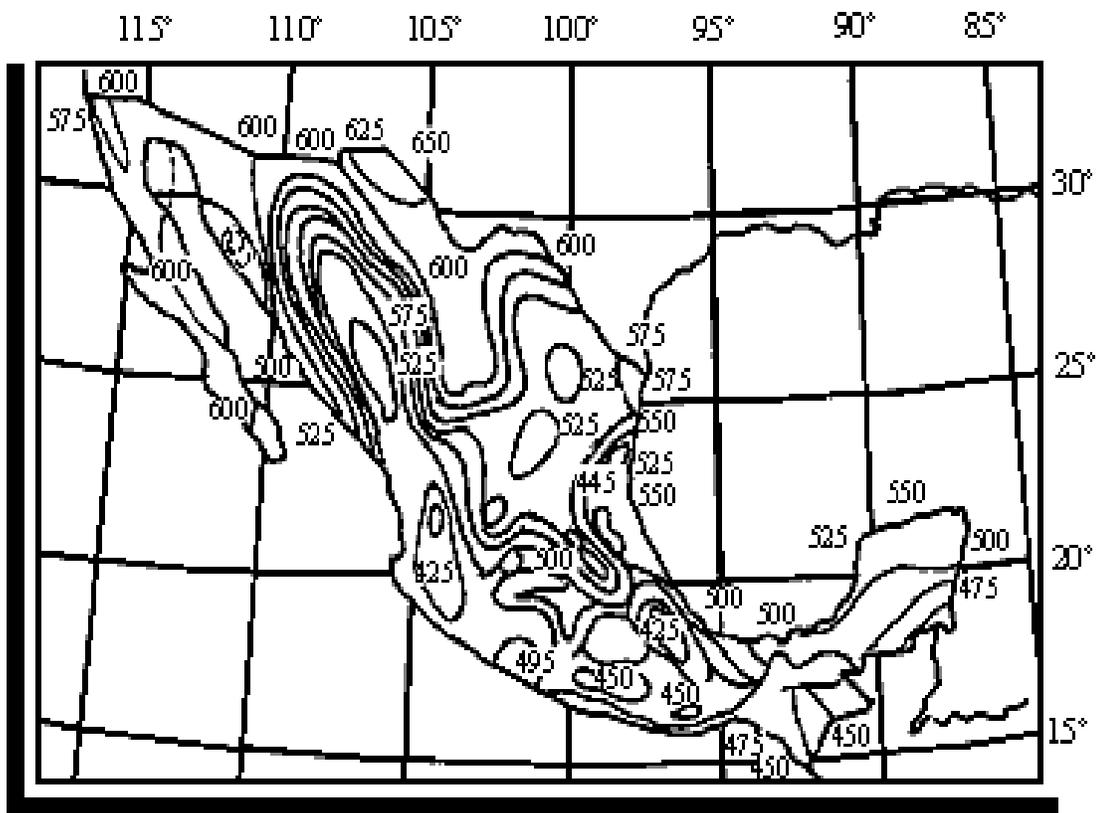
#### **4.9. Propuesta general, para eficientar el sistema de agua para las regaderas de la FES Aragón.**

Después de haber investigado sobre los distintos tipos de calentadores solares hemos decidido hacer varias propuestas que tienen relación a la eficiencia del sistema de agua sanitaria.

Los sistemas de calentamiento de energía solar son la solución adecuada para el sistema, debido a que la ciudad de México se encuentra entre las cinco ciudades que reciben mayor cantidad de radiación solar al año con cerca de 4465 KWh/m<sup>2</sup>.

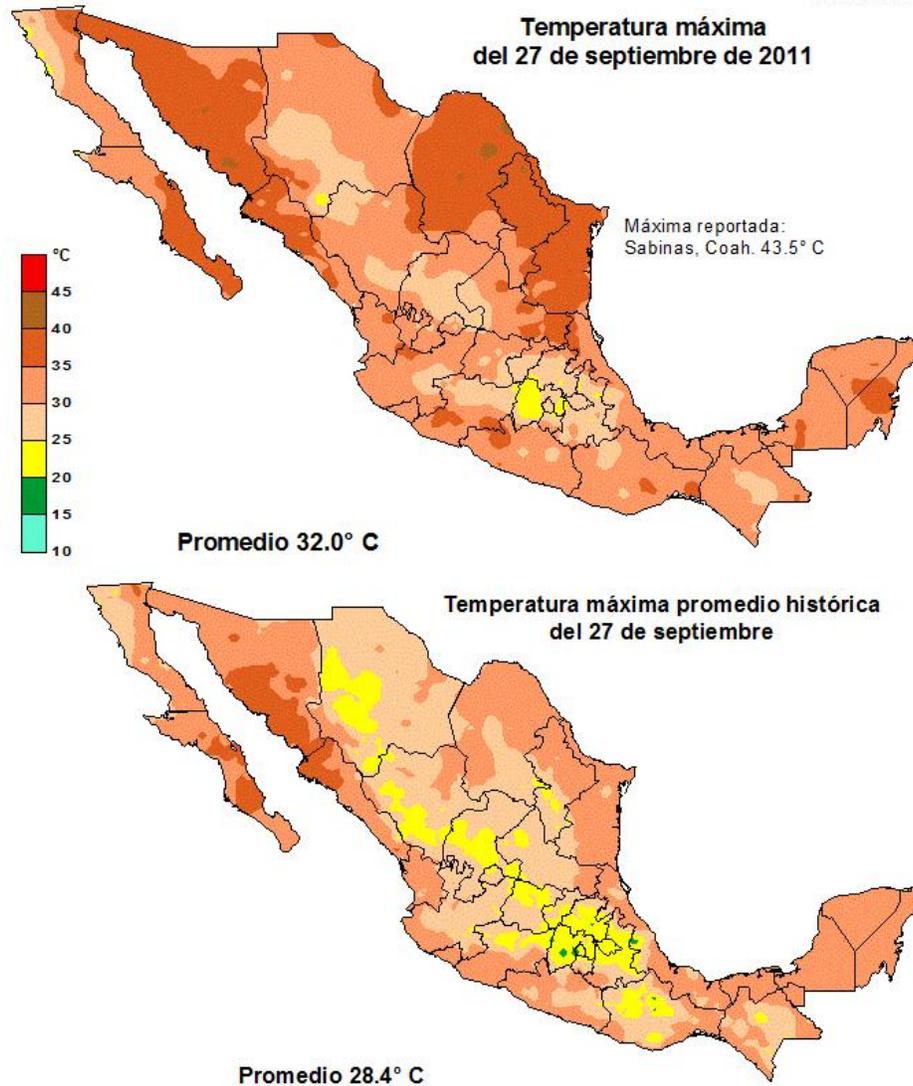
---

<sup>36</sup> Datos obtenidos de la unidad meteorológica instalada en el edificio del centro tecnológico de las FES Aragón.



<sup>37</sup>Fig. 4.8. Mapa de soleamiento o insolación para la República Mexicana y cada una de las líneas corresponde a los lugares que reciben la misma cantidad de radiación.

<sup>37</sup> [http://saecsaenergiasolar.com/renovables/energia\\_solar/imagenes/9.gif](http://saecsaenergiasolar.com/renovables/energia_solar/imagenes/9.gif). Consultado en enero del 2012.



**Fig. 4.9. Mapa que muestra las temperaturas promedio de un día normal de la ciudad de México (27 de septiembre) en donde la temperatura no es la máxima mensual. Incluye el promedio histórico hasta esa fecha.**

La ciudad de México, según datos obtenidos por estaciones meteorológicas obtiene un promedio de carga de insolación de 15 MJ/día/m<sup>2</sup> en verano y de 8 a 10 MJ/día/m<sup>2</sup> en invierno. Estos son por supuesto datos de energía acumulada, pues el día en periodo de acumulación de energía solar abarca aproximadamente

de las 10am hasta las 8pm (10 horas) en las que se tiene una radiación solar, por supuesto que esto no es constante y en invierno el tiempo de sol se reduce.

#### 4.9.1. Propuesta de sustitución total del sistema de calentamiento por un sistema solar.

Después de haber hecho un estudio de la eficiencia energética de las calderas de la FESAragón y, llegando a la conclusión que es necesario hacer más allá de una restructuración, es necesaria una total sustitución del sistema de calentamiento, para lo cual se ha ideado la implementación de un proyecto de calentador solar con las siguientes características:

##### Necesidades de calentamiento

- Volumen de agua a calentar: 10 000 litros
- Energía necesaria para elevar la temperatura de 25°C a 60°C
- Tiempo de consumo de agua caliente: 10:00 am hasta 7:00 pm
- Promedio de temperatura para regaderas: 45°C

##### Propiedades del sistema de calentadores solares

- Clasificación: Tubos de vacío en paralelo; circuito cerrado (con separación entre primario y secundario); circulación forzada;
- Temperatura media buscada: 75°C
- Mantenimiento necesario: mínimo.

Por supuesto como es propio de los sistemas de calentadores solares, es necesario mantener por lo menos una de las calderas a diesel ya existentes con tal de tener un respaldo de agua caliente para ser utilizado en los meses de invierno, en donde la eficiencia del sistema de calentadores solares disminuiría en una gran proporción.

#### **Calculo de la energía necesaria para elevar la temperatura del agua ambiente hasta los 60°C necesarios para la mescla.**

La fórmula que utilizaremos para calcular la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura del agua desde la temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ) hasta la temperatura requerida para el proceso de mescla antes de entrar a las regaderas ( $T_{final}$ ) es la siguiente:

$$q = mC_p\Delta T$$

$$q = (10\,000\text{ Kg}) \left( 4.183 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} \right) (60 - 25)^\circ\text{C} = 1\,464\,050\text{ KJ} = 1\,464.05\text{ MJ}$$

Cabe señalar que este cálculo es en condiciones ideales, es decir no reales puesto que el valor de calor específico del agua es para agua pura o destilada y el agua que se calentara para las regaderas, es proveniente de la red de agua potable y almacenada en una sistema y contiene impurezas. El valor del agua dependerá de la cantidad de impurezas y es aproximadamente de <sup>38</sup> 4.186 KJ/Kg°K, y el resultado sería de 1465.1 MJ.

#### 4.9.2. Capacidad de absorción de energía.

En la ciudad de México contamos con radiación solar suficiente para el adecuado funcionamiento de los calentadores solares (Fig. 4.8). Es decir, el rendimiento de los calentadores solares llegara a ser mayos, permitiéndonos tener una absorción casi total de la energía solar recibida en la ciudad de México por metro cuadrado. La propuesta profesional llevo a tener 100m<sup>2</sup> como área mínima de absorción con tal de cubrir el requerimiento de calentamiento de agua.

Durante el verano la capacidad de absorción de energía por día es:

$$\left(15 \frac{MJ}{dia m^2}\right) (100m^2) = 1500 \frac{MJ}{dia}$$

Durante el invierno la capacidad de absorción de energía por día es:

$$De \quad \left(8 \frac{MJ}{dia m^2}\right) (100m^2) = 800 \frac{MJ}{dia} \text{ hasta } \left(10 \frac{MJ}{dia m^2}\right) (100m^2) = 1000 \frac{MJ}{dia}$$

Por lo que podemos observar durante el verano las necesidades energéticas son cubiertas sin ningún problema. Y durante épocas invernales, pese a que la radiación se reduce significativamente, es propio de la ciudad de México mantener una temperatura estable durante los meses de invierno. Y localmente no se tiene ningún tipo de descenso en la temperatura suficiente como para disminuir drásticamente la eficiencia en los equipo.

Además es necesario tomar en cuenta que en los últimos años la radiación solar ha aumentado debido al efecto invernadero. Lo que lleva a un aumento anual de calor en aproximadamente 40 W/m<sup>2</sup> en los gases de efecto invernadero. Por lo que la eficiencia del sistema, con el adecuado mantenimiento tiene la posibilidad de aumentar su eficiencia en un periodo de 3 a 5 años.

Costo de los colectores solares para 100 m<sup>2</sup>.

El calentador solar elegido para el proyecto fue el de la empresa sungreen México modelo tsm-58/1800-20 de 20 tubos y capacidad de 200 lts. Ocupa un área de

---

<sup>38</sup> <http://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/fisica/respuestas/1348607/calor-especifico-del-agua-potable>. (10/01/2006). Consultado en septiembre del 2012.

captación solar de 2.88 m<sup>2</sup> y el precio por unidad es de 9000 pesos, por lo que para cubrir nuestras necesidades necesitaremos de 34 a 35 equipos para conectarlos entre sí, el costo sería:

$$\text{Costo total} = 9,000 \text{ pesos}(35 \text{ unidades}) = 315,000 \text{ pesos}$$



**Fig. 4.9. Equipo propuesto para el calentamiento de agua en las regaderas de la FES Aragón.**

Ventajas del uso de calentadores solares diseñados para el requerimiento de calefacción de agua potable.

- 1) Se puede combinar con la tubería existente.
- 2) Se puede seguir funcionando en caso de roturas del tubo ocasional.
- 3) Soporta temperaturas mínimas de hasta -50C.
- 4) La utilización de los paneles solares para calentar agua supone un importante ahorro económico, tiene un alto rendimiento y escaso mantenimiento.
- 5) El generar energía térmica sin que exista un proceso de combustión supone, desde el punto de vista ambiental, un proceso limpio y exento de cualquier contaminación.
- 6) Alta rentabilidad económica. Vida útil de 15 a 20 años.
- 7) No hay dependencia energética de terceros.
- 8) Alto rendimiento de transformación, de radiación de energía calorífica.

Los heat pipes conducen el calor recolectado desde los tubos hasta el cabezal. Almacenamiento de energía solar: Con la ayuda de una bomba de recirculación, el

agua es circulada a través de la cabecera del colector solar. Cada vez que el agua circula a través del cabezal la temperatura se incrementa entre 5 a 10C. Durante todo el día, el agua en el tanque de almacenamiento es calentada gradualmente. Al transferirse calor entre los fluidos, el vapor del heat pipe se condensa y cae por gravedad a la parte inferior del tubo para volver a ser calentado solarmente.



**Fig.4.10. Se muestra como quedaran interconectados los equipos**

#### **4.9.3. Percepción en la ganancia económica del proyecto.**

Teniendo el proyecto en una base matemática para su realización, también es necesario hacer un análisis de su ganancia económica. Esto es que el objetivo de todo proyecto es mejorar tanto su valor en eficiencia laboral, utilización, espacio, tecnología y economía.

En este caso las calderas utilizan Diesel que es un combustible derivado del petróleo. Los costos como en cualquier mercado al por mayor, la oferta y la demanda son factores que determinarán diariamente el precio que se va a fijar a este producto.

La formación del precio de la gasolina depende de tres factores: el costo del carburante (gasóleo o gasolina) en el mercado internacional, los impuestos y otros

costes como almacenamiento, transporte, mantenimiento de reservas estratégicas, comercialización, gastos financieros, etc.

En el uso de combustible de las calderas sobre las que estamos trabajando, estamos tomando el precio de combustible de \$ 10.27 pesos MN, que es el promedio de salida del precio que tuvo en los últimos meses del año 2011 y con el que entra al primer bimestre del año 2011 (Anexo. Tabla de precios de petróleo).

Utilizamos esto como dato para así poder hacer un cálculo aproximado de cuánto se gasta, económicamente hablando, en combustible por la caldera al año. Para esto tomamos los datos comentados por el operador de las calderas quien nos comenta que la operación es todos los días de la semana (5 días) por 15 minutos en la mañana y 15 minutos por la tarde en donde la energía acumulada es almacenada por un tanque aislado térmicamente. También tomamos en cuenta que las calderas no son utilizadas durante todos los meses del año, pues en periodo vacacional estas se mantienen apagadas pues las actividades deportivas cesan prácticamente en su totalidad. Entonces solo opera por aproximadamente 8 meses al año.

Cálculo aproximado del consumo de diesel:

Flujo de combustible en la esprea 10 Gal/min = 37.8541 litros/min

$$\text{consumo al dia} = (37.8541 \text{ lt/min})(30 \text{ min}) = 1135.623 \text{ litros}$$

$$\text{consumo mensual} = \left(1135.623 \frac{\text{lt}}{\text{dia}}\right) \left(5 \frac{\text{dias}}{\text{semana}}\right) (4 \text{ semana}) = 22\,712.46 \text{ litros}$$

$$\text{consumo anual} = \left(22\,712.46 \frac{\text{litros}}{\text{mes}}\right) (8 \text{ mes}) = 181\,699.68 \text{ litros}$$

El gasto aproximado anual es:

$$\text{consumo economico} = (181\,699.68 \text{ litros}) \left(\frac{\$10.27}{\text{litro}}\right) = 1\,866\,055.7136 \text{ pesos}$$

El gasto aproximado de 1.8 millones es suponiendo un uso constante de la caldera y a que el precio del diesel no tenga variaciones.

## Conclusiones.

Después de haber realizado el proyecto, tomando todos los aspectos planteados al inicio llegamos a resolver una gran parte de las dudas que como estudiantes nos llegan a surgir para el final de la carrera.

Es evidente que siendo el proyecto exclusivamente del área de análisis térmicos, estuvimos trabajando con fórmulas relacionadas con la transferencia de calor, sin embargo estas fórmulas nos llegan a ser insuficientes pues como en todo lo que ocurre en la naturaleza del entorno, nada es ideal y es necesario crear nuestros propios métodos de solución con los que podamos complementar el análisis.

Los cálculos arrojaron una eficiencia a su máxima capacidad de 70.88 % y para una caldera de esta capacidad la eficiencia recomendable es del 80 %. A pesar de que la eficiencia no fue tan baja como se esperaba, el problema es que cuando la caldera llega a una presión de  $4\text{Kg/cm}^2$  son apagadas y la eficiencia cae hasta un 65.73 % debido a que se realimenta con agua a temperatura ambiente llegando a una presión de  $3.5\text{Kg/cm}^2$ .

Durante este trabajo de tesis tuvimos la oportunidad de observar de cerca el trabajo ingenieril en materia de energías limpias. Pues como experimento la investigación sobre calentadores solares y su posible uso para apoyo en la FES de Aragón nos dio toda la información necesaria para empezar a entender el funcionamiento de los sistemas limpios y su impacto en la sociedad, ahorrando energía de combustibles fósiles y por lo mismo un ahorro económico que servirá para invertir en nuevas tecnologías tan solo dentro de estas instalaciones.

Dentro de la facultad tenemos una gran cantidad de área disponible para hacer uso del sol como fuente de energía. Los campos libres y sobre todo los techos de los edificios nos permitirían obtener energía solar fotovoltaica y térmica, por supuesto con la debida preparación ingenieril y arquitectónica es posible.

Además del ahorro energético y económico, la implementación de sistemas solares en la Facultad la pondría a la vanguardia con otras facultades permitiendo que los estudiantes tengan un contacto más próximo con estas tecnologías, generando así mayor interés en su estudio.

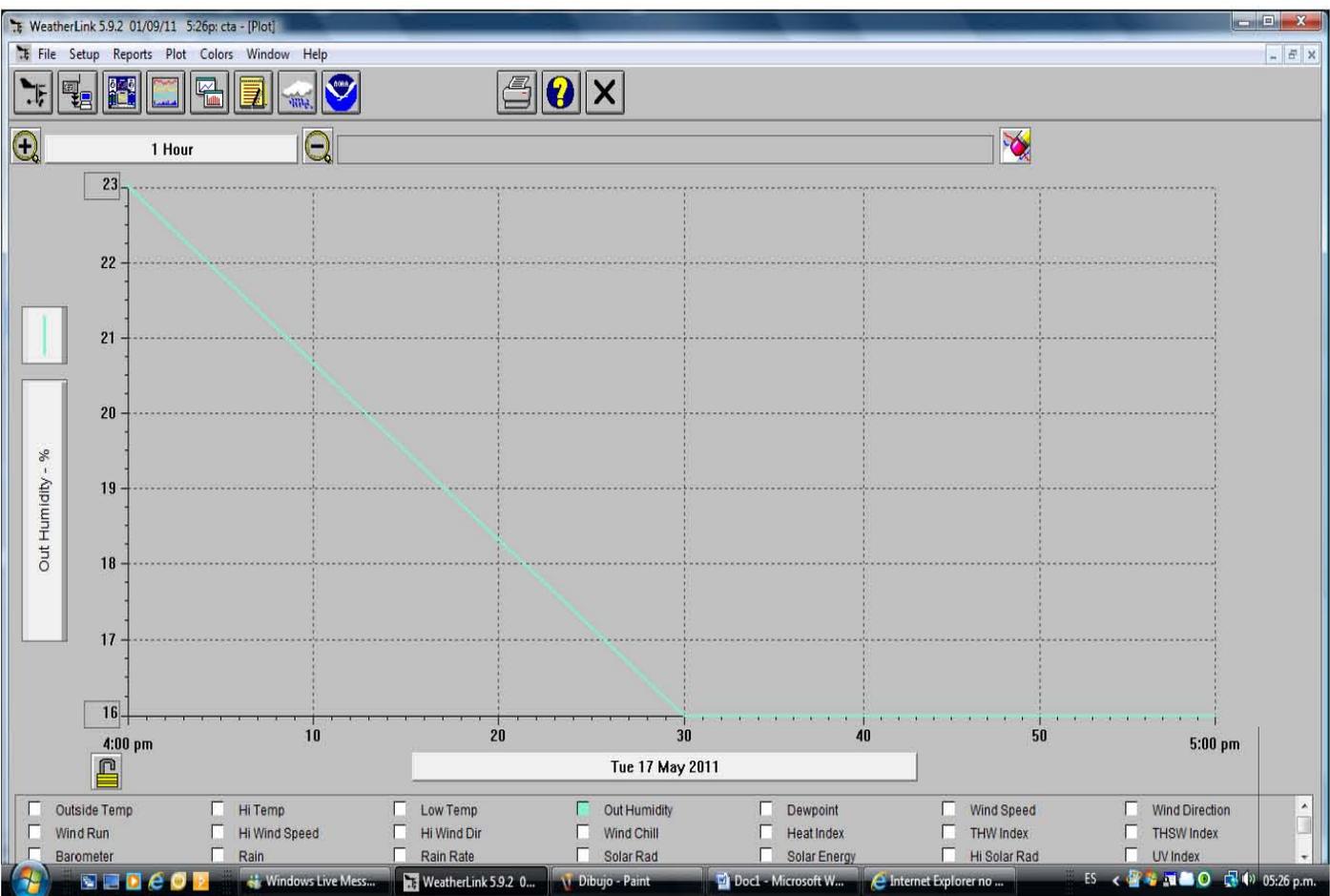
También se puede observar que las pérdidas mayores se dan en el calor perdido por los gases secos de la chimenea, esto representa un 27.93% de las perdidas totales. Una propuesta para mejorar el sistema de la caldera es en el sistema de control de agua de reposición, el usado es conocido como control de nivel on – off el cual interfiere con el equilibrio de la temperatura en el sistema suprimiendo la tasa de ebullición y se restablecerá hasta que alcance su temperatura de ebullición

adecuada. Estos efectos pueden ser reducidos con el precalentamiento del agua de alimentación, y para mejorar aun el sistema se necesitaría un suministro continuo del agua de alimentación de la caldera, conocido como control modulado con lo cual se tendrá un flujo de vapor constante y seguro, obteniendo una caldera lista y balanceada para responder a las demandas de consumo de energía para el intercambiador de calor.

La propuesta de sustitución total de las calderas por un sistema de calentamiento solar es viable debido a que el consumo de diesel es de 1.8 millones de pesos y el costo del equipo necesario sería de 315,000.00 pesos claro que no se toma en cuenta los costos de material necesario para la instalación de estos calentadores, pero aun así en menos de un año se cubriría el costo de este proyecto y los gastos de mantenimiento son prácticamente de limpieza y mínimos. Generando un gran ahorro económico y por supuesto contaminante.

## Apéndice A

Pantalla de la lectura de humedad en el ambiente el día y hora de la prueba de eficiencia proporcionada por el centro tecnológico FES Aragón.



Apéndice B

Carta psicrométrica VALCON

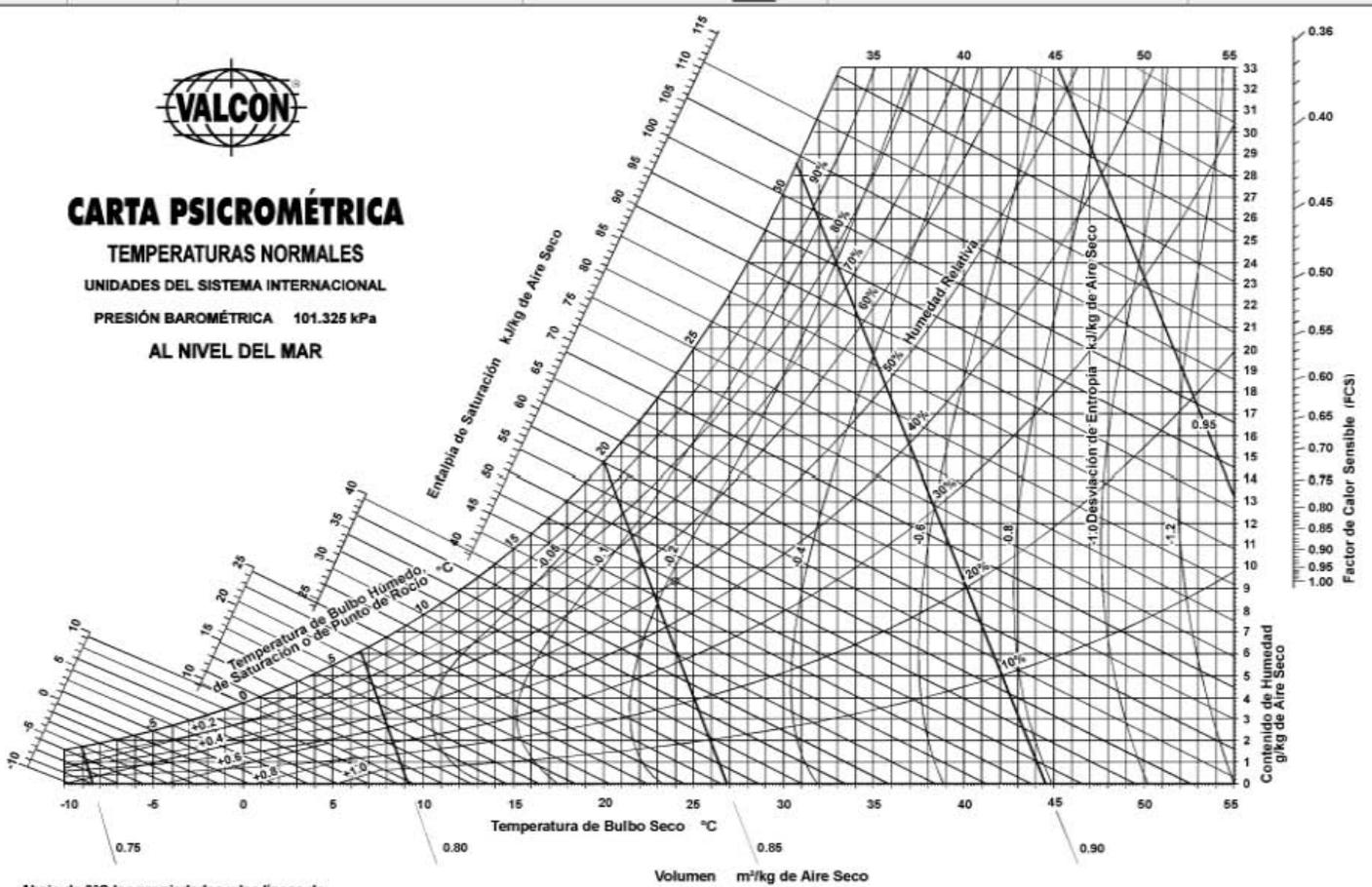


Figura 13.11 - Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101.325 kPa (al nivel del mar).

Apéndice C.

Perdidas por radiación como porcentaje del aporte bruto de calor (ABMA)

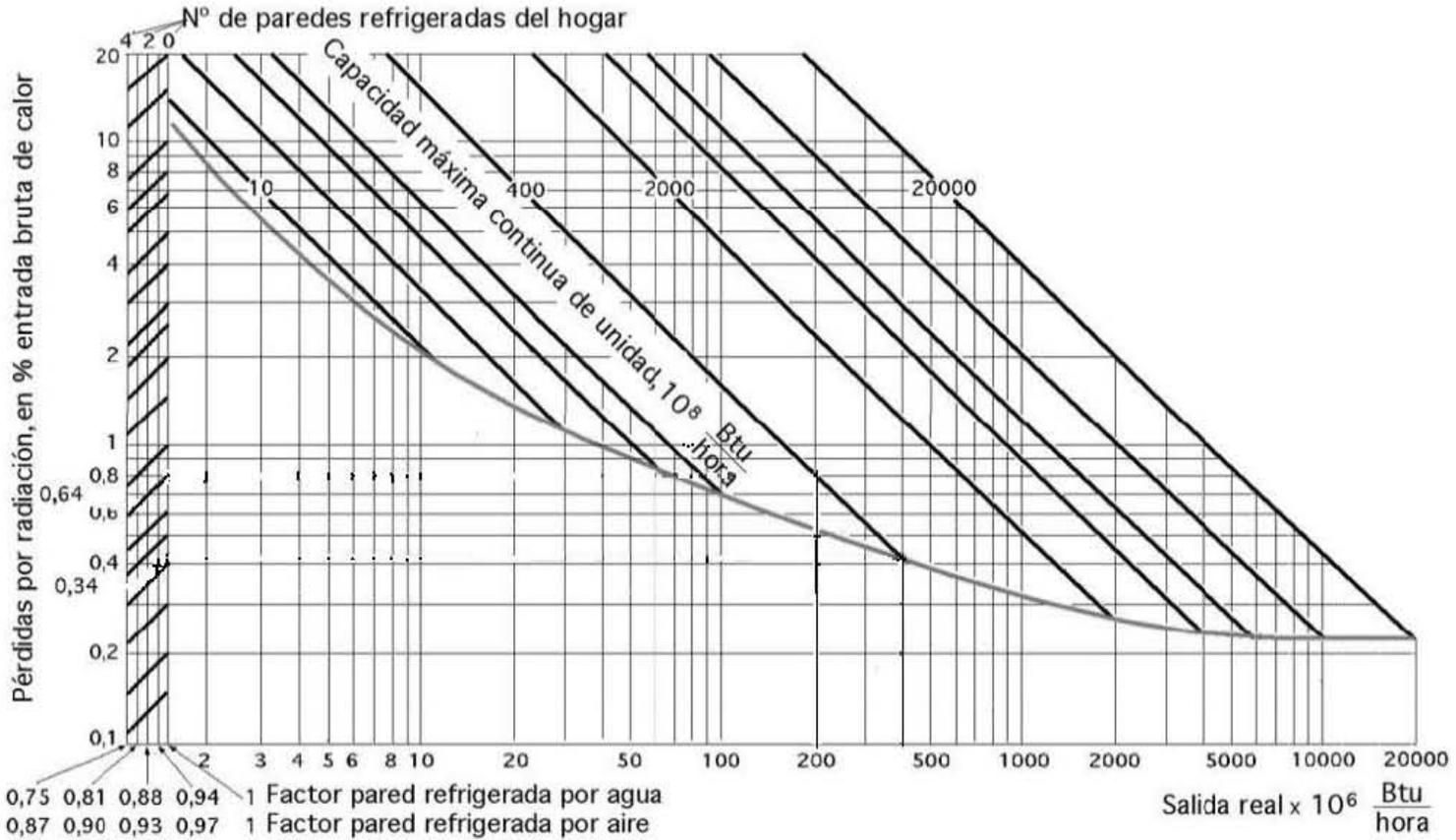


Fig XXII.11.- Pérdida por radiación como porcentaje del aporte bruto de calor (ABMA)

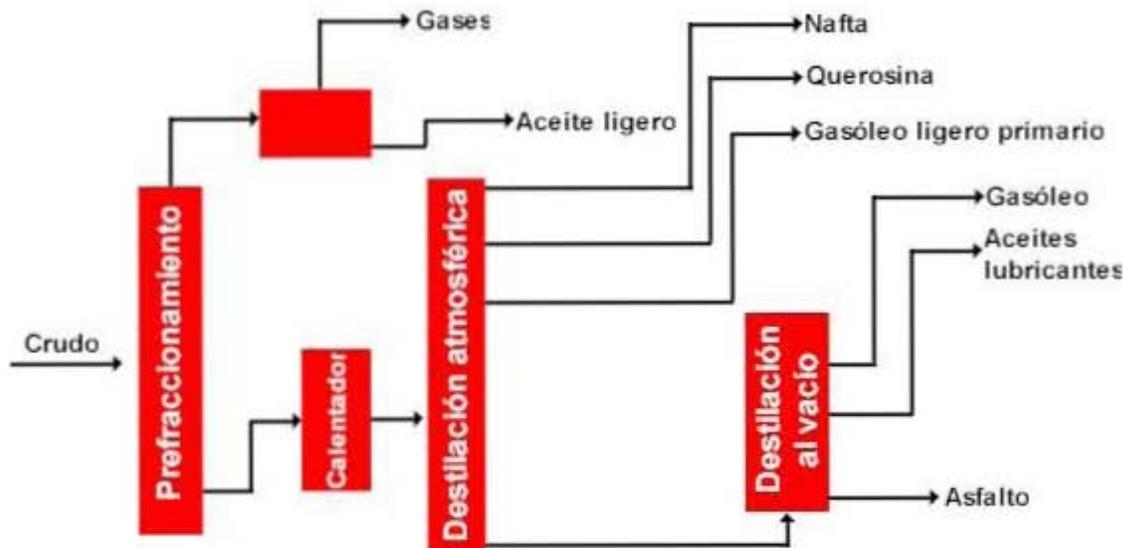
## Apéndice D

Poder calorífico de algunas fuentes de energía.

FUENTE ENERGETICA	DENSIDAD	PODER CALORIFICO INFERIOR		PODER CALORIFICO SUPERIOR	
	Kg/lit	kcal/lit	kcal/kg	kcal/lit	kcal/kg
Carbón Mineral (nacional) (*)	-	-	5.900	-	6.200
Carbón Mineral (importado)	-	-	7.200	-	7.500
Coque	-	-	6.800	-	7.500
Petróleo Crudo	0,885	8.850	10.000	9.293	10.500
Aeronaftas	0,709	7.374	10.400	8.012	11.300
Naftas	0,735	7.607	10.350	8.232	11.200
Kerosene y Comb. Jets	0,808	8.322	10.300	8.945	11.070
Gas Oil	0,845	8.619	10.200	9.211	10.900
Diesel Oil	0,880	8.800	10.000	9.416	10.700
Fuel Oil	0,945	9.261	9.800	9.923	10.500
Mezcla 70-30	0,910	8.995	9.885	9.638	10.591
Carbón Residual	1,000	-	7.600	-	7.900
Coque de Carbón Residual	-	-	7.200	-	7.800
Gas Residual de Petróleo	-	8.500/m3	-	9.000/m3	-
Gas Natural	-	8.300/m3	-	9.300/m3	-
Propano	0,508	5.588	11.000	6.102	12.013
Butano	0,567	6.180	10.900	6.735	11.878
Gas Licuado	0,537	-	10.950	6.418	11.951
Leña Blanda	-	-	1.840	-	2.940
Leña Dura	-	-	2.300	-	3.500
Carbón de Leña	-	-	6.500	-	7.500
Marlo de Maíz	-	-	2.300	-	3.000
Cáscara de Arroz	-	-	2.300	-	3.000
Bagazo	-	-	1.500	-	2.000
Aserrín	-	-	1.800	-	1.995
Otros Residuos Vegetales	-	-	1.760	-	2.310
Papeles	-	-	1.620	-	1.796
Alcohol de Quemar	0,789	6.080	-	6.400	-
Gas de Alto Horno de C. de Leña	-	950/m3	-	1.055/m3	-
Gas de Alto Horno de C. de Coque	-	800/m3	-	905/m3	-
Etano	1,270	14.413/m3	11.350	15.746	12.399
Metanol	0,800	3.818	4.773	4.345	5.431
Etanol	0,794	5.082	6.400	5.633	7.092
Electricidad	-	-	860 kcal/kWh	-	-

## Apéndice E

Gráfica del petróleo a sus derivados.



## Apéndice F

### Precios del Diesel

#### Precio al Público de Productos Petrolíferos<sup>a</sup> (pesos por litro)

	Gas Inciende <sup>b</sup>	Gasolinas automotrices				Tributo <sup>c</sup>	Pemex Diesel	Combustible <sup>d</sup>
		Frontera Norte		Resto del país				
		Pemex Magna	Pemex Premium	Pemex Magna	Pemex Premium			
2006	8.75	7.81	7.80	6.74	1.09	5.88	5.71	5.15
2007	9.43	7.81	8.35	7.83	1.13	8.76	5.93	5.35
2008	10.38	6.33	6.18	7.71	0.57	5.38	7.33	5.19
2009	8.38	7.81	8.18	7.77	0.57	7.88	8.14	8.84
Enero	9.24	7.84	8.18	7.74	0.57	6.94	7.84	8.81
Febrero	9.24	7.72	8.18	7.74	0.57	6.25	7.84	8.82
Marzo	9.74	7.77	8.18	7.77	0.57	6.77	7.84	8.17
Abril	9.74	7.77	8.18	7.77	0.57	6.77	7.71	8.45
Mayo	9.30	7.72	8.18	7.72	0.57	6.29	7.79	8.15
Junio	9.29	7.72	8.18	7.72	0.57	7.51	7.88	8.78
Julio	9.30	7.72	8.18	7.72	0.57	7.20	7.83	8.82
Agosto	9.30	7.72	8.18	7.72	0.57	7.63	7.99	8.25
Septiembre	9.30	7.72	8.18	7.72	0.57	7.27	7.98	8.57
Octubre	9.30	7.72	8.18	7.72	0.57	8.45	8.03	8.81
Noviembre	9.30	7.72	8.18	7.72	0.57	8.19	8.03	7.16
Diciembre	9.30	7.80	8.18	7.77	0.57	7.68	8.15	8.34
2010	10.03	8.75	8.74	8.75	1.10	9.82	8.72	7.82
Enero	9.44	7.88	8.27	7.88	0.66	7.03	8.24	7.22
Febrero	9.80	7.98	8.31	7.98	0.70	8.24	8.82	8.86
Marzo	9.80	8.04	8.36	8.04	0.74	8.28	8.40	8.78
Abril	9.67	8.17	8.38	8.17	0.78	8.45	8.43	8.77
Mayo	9.69	8.23	8.48	8.23	0.82	7.74	9.09	8.82
Junio	9.74	8.28	8.47	8.28	0.86	8.84	8.84	8.32
Julio	9.74	8.34	8.51	8.34	0.90	8.79	8.77	8.78
Agosto	9.81	8.44	8.58	8.44	0.94	8.77	8.81	8.75
Septiembre	9.88	8.52	8.59	8.52	0.98	8.27	8.88	8.80
Octubre	9.91	8.60	8.68	8.60	1.02	8.68	8.88	8.80
Noviembre	9.94	8.68	8.67	8.68	1.06	8.70	9.04	8.79
Diciembre	10.00	8.74	8.71	8.74	1.10	8.87	8.77	7.87
2011	10.62	9.64	10.15	9.64	10.84	13.20	10.00	10.48
Enero	10.07	8.84	9.70	8.84	10.14	10.00	9.21	1.29
Febrero	10.17	8.87	9.78	8.87	10.18	10.27	8.74	7.76
Marzo	10.13	8.83	9.80	8.83	10.22	11.71	8.35	8.26
Abril	10.22	8.84	9.81	8.84	10.26	11.51	8.48	8.89
Mayo	10.30	8.14	9.81	8.14	10.30	11.05	8.57	8.16
Junio	10.33	8.71	9.85	8.71	10.37	10.74	8.61	8.15
Julio	10.29	8.32	9.89	8.32	10.38	11.21	8.63	8.70
Agosto	10.44	8.42	10.38	8.42	10.42	11.54	8.78	8.89
Septiembre	10.50	8.51	10.31	8.51	10.46	11.85	8.81	8.98
Octubre	10.63	8.65	10.11	8.65	10.60	12.77	8.92	8.90
Noviembre	10.62	8.64	10.10	8.64	10.64	13.20	10.00	10.43

a. Precio al público, incluyendo IVA.  
b. Precio por litro, neto de los impuestos.  
c. Precio tipo México Pemex.  
d. Precio tipo Combustible México.  
e. IVA sobre diesel.

## **Bibliografía.**

Calderas de vapor descripción, teoría, manejo y mantenimiento. Marcelo Mesney. Ediciones Marymar 1977.

Fundamentos sobre ahorro de energía. I. Q. Juan José Soto Cruz. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. 1996.

Improving Boiler Efficiency. Samuel G. Dukelow. 2a edición edit. Instrument Society of America.

Fichas técnicas para procesos térmicos, generadores de calor. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.

Generadores de vapor capítulo I. Apuntes del diplomado en administración y ahorro de energía.

Fundamentos de la combustión capítulo II. Apuntes del diplomado en administración y ahorro de energía.

Norma Oficial Mexicana NOM-012-ENER-1996, Eficiencia térmica de calderas de baja capacidad (7,5 a 100 kW). Especificaciones y método de prueba. Secretaría de Energía.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ENER-1995, Eficiencia térmica de calderas paquete. Especificaciones y método de prueba. Secretaría de Energía

Energía solar térmica. Javier María Méndez Muñiz, Rafael Cuervo García. FC editorial.

## **Otras fuentes de consulta.**

[http://www.aop.es/pdf/faq\\_formacion\\_precios\\_nov\\_09.pdf](http://www.aop.es/pdf/faq_formacion_precios_nov_09.pdf)

<http://www.ref.pemex.com/octanaje/24DIESEL.htm>

[http://www.pemex.com/files/dcpe/petro/epublico\\_esp.pdf](http://www.pemex.com/files/dcpe/petro/epublico_esp.pdf)

<http://energia.mecon.gov.ar/Electricidad/boletines/quinquenales/1991-1995/TABLA%20DE%20CONVERSIONES%20ENERGETICAS.html>

[www.sistemascalefaccion.com/calderas/vapor.html](http://www.sistemascalefaccion.com/calderas/vapor.html)

[es.wikipedia.org/wiki/Caldera\\_\(máquina\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Caldera_(máquina))

<http://www.sabelotodo.org/termicos/calde...>

<http://es.scribd.com/doc/18360134/manual-calderas>

<http://www.tecnicsuport.com/index.php?pagina=http://www.tecnicsuport.com/calefacc/taulesconsulta/combustion/queson.html>

<http://www.convertworld.com/es/presion/>

<http://www.steamtablesonline.com/steam97web.aspx?lang=es#>