



**TESIS DE GRADO**

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE LOS GENERADORES  
DE VAPOR CON ADITIVOS**

**PRESENTADO POR:**

**SARA VERÓNICA DIAZ SANCHEZ  
SULLY GABRIELA DIAZ SANTAMARIA**

**EN CUMPLIMIENTO PARCIAL DE  
LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL  
TITULO DE:**

**INGENIERO QUIMICO**

**2012**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis es un esfuerzo, en el cual directa o indirectamente, participaron varias personas, leyendo, opinando, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañándome en los momentos de crisis y de felicidad, es por eso que quiero empezar agradeciendo a Dios que me dio: a mi madre Rita Santamaría que es mi maestra de la vida y del amor, a mi padre Laurence Santamaría que a pesar de la distancia siempre estuvo atento a mi trayectoria estudiantil, a mis hermanos Maoli y Xavier, a mi familia Olga, Margarita, Xavier, Astrid, Giselle, Aarón y Valentina que han sido siempre mi apoyo y ejemplo vivo de superación, a mi compañera Landy que ha sido mi apoyo incondicional.

Gracias a todos ellos que me enseñaron el valor del esfuerzo, que me brindaron su apoyo, paciencia y amor incondicional, gracias a ustedes me ha sido posible culminar esta hermosa etapa de mi vida, por estas razones y con todo mi amor esta dedicatoria va dirigida a ustedes.

**SULLY GABRIELA DÍAZ SANTAMARÍA**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la fuerza que me brindó en los momentos más difíciles. A mis padres y a toda mi familia que siempre me brindó su apoyo. A mi querida Facultad de Ingeniería Química, y a todos sus catedráticos que han proporcionado las herramientas necesarias para nuestra educación. A mi querida amiga Landy que estuvo siempre apoyándome. A todos ellos gracias por su apoyo incondicional.

**SULLY GABRIELA DÍAZ SANTAMARÌA**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a quienes me apoyaron y me enseñaron a luchar hasta el final por lo que uno quiere, y que en la vida todo se puede.

Por esas razones esta dedicatoria va dirigida a personas fundamentales que forman parte de mi vida, Manuel Sanchez, a mis padres: Angela Sanchez, Hugo Diaz, tia Filomena Sanchez y a mi Familia.

A mis queridos hijos: Jostin, Meredith y Karina. Que es por ellos que sigo adelante y lucho cada día por ellos que son la razón de mí vivir.

Son ellos los que me han dirigido a lograr lo que e querido “Llegar a ser una excelente Ingeniera”. Gracias a ellos, a su apoyo, paciencia y amor incondicional me ha sido posible culminar esta hermosa etapa de la vida.

**SARA VERONICA DIAZ SANCHEZ**

## **AGRADECIMIENTO**

Es un gran honor agradecer a un ser especial, al dueño de nuestras vidas que sin su ayuda no hubiera logrado lo que me he propuesto, “JESUCRISTO”; al Ing. José Rodríguez por su eficaz asesoramiento en nuestro trabajo de investigación; a la empresa donde pude realizar mi trabajo al Ing. Miguel López e. Ing. Camilo Molina

Pero sobre todo al Ing. Fernando Mojarrango que con el pudimos realizar esta investigación, a la Universidad de Guayaquil; que nos han permitido culminar con éxito nuestros estudios.

SARA VERONICA DIAZ SANCHEZ

## INDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	<b>VII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>VIII</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>IX</b>

### CAPITULO 1

<b>1. Generalidades -----</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Potencia-----</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Presión de trabajo-----</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Calderos -----</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Clasificación de calderos -----</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Partes de una caldera -----</b>	<b>3</b>
<b>1.5.1 Ventiladores -----</b>	<b>3</b>
<b>1.5.2 Quemadores -----</b>	<b>4</b>
<b>1.5.3 Pre calentadores de aire -----</b>	<b>4</b>
<b>1.5.4 Ductos -----</b>	<b>4</b>
<b>1.5.5 Indicadores de nivel -----</b>	<b>4</b>
<b>1.5.6 Válvulas de seguridad -----</b>	<b>5</b>
<b>1.5.7 Chimenea -----</b>	<b>5</b>
<b>1.5.8 Sistema de control -----</b>	<b>5</b>
<b>1.6 Combustión en sistemas de generadores -----</b>	<b>6</b>
<b>1.7 Tipos de combustibles -----</b>	<b>7</b>

1.8 Combustibles liquido .....	8
1.8.1 Contaminantes .....	8
1.9 Pre combustión .....	9
1.9.1 Elementos de pre combustión .....	10
1.9.2 Problemas en la pre combustión .....	11
1.9.3 Soluciones química en la pre combustión .....	11
1.9.4 Parámetros mecánicos .....	13
1.9.5 Programa químico .....	13
1.10 Combustión .....	15
1.10.1 Tipo de combustión .....	15
1.10.2 Ecuaciones de combustión .....	16
1.10.3 Control de combustión .....	16
1.10.4 Programa químico .....	17
1.11 Post combustión.....	18
1.11.1 Partes de la post combustión .....	18
<b>CAPITULO 2</b>	
2. Combustible bunker no 6 .....	21
2.1 Descripción .....	21
2.2 Características del bunker .....	21
2.2.1 Agua y sedimento .....	22
2.2.2 Viscosidad .....	22
2.2.3 Gravedad A.P.I .....	23
2.2.4 Punto de fluidesz .....	23

<b>2.2.5 Azufre</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.6 Cenizas</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.7 Punto de inflamación</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2.8 Carbón residual</b> .....	<b>24</b>

### **CAPITULO 3**

<b>3. Aditivo anticontaminante fot Premium</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1 Descripción</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2 Variables a observarse</b> .....	<b>27</b>
<b>3.3 Tanque de almacenamiento de combustible</b> .....	<b>29</b>
<b>3.4 Limpieza en filtros</b> .....	<b>30</b>
<b>3.5 Limpieza en quemadores</b> .....	<b>30</b>
<b>3.6 Limpieza de flama</b> .....	<b>31</b>

### **CAPITULO 4**

<b>4. Definición de parámetros</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1 Preparación de la prueba</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2 Requerimiento del aditivo en la caldera</b> .....	<b>34</b>
<b>4.3 Beneficios obtenidos</b> .....	<b>34</b>
<b>4.4 Control ambiental</b> .....	<b>36</b>

### **CAPITULO 5**

<b>5. Análisis comparativo</b> .....	<b>38</b>
<b>5.1 Análisis de los gases</b> .....	<b>39</b>
<b>5.2 Eficiencia de la caldera sin aditivo</b> .....	<b>40</b>
<b>5.3 Eficiencia de la caldera con aditivo</b> .....	<b>41</b>



<b>5.4 Diagrama de proceso</b>	<b>42</b>
<b>5.5 Conclusiones</b>	<b>48</b>
<b>5.6 Recomendaciones</b>	<b>49</b>
<b>5.7 Bibliografía</b>	<b>50</b>
<b>5.8 Anexo</b>	<b>51- 64</b>

## **RESUMEN**

El siguiente trabajo de investigación trata sobre el estudio para el mejoramiento de la eficiencia de la caldera.

La primera parte del mismo son generalidades acerca de la caldera de vapor, conceptos básicos utilizados en la producción del vapor y conceptos acerca de todos los equipos que afectan la eficiencia de operación de una caldera. Más adelante se encuentran las propuestas que se presentan para mejoramiento de la eficiencia de operación de la caldera, abarcando equipos.

La parte final del trabajo trata sobre el funcionamiento del aditivo propuesto para la caldera.

**OBJETIVO:**

- Crear un documento de fácil comprensión que proporcione información de los equipos involucrados en la generación de vapor y elaborar una propuesta para el uso de un aditivo para mejorar la eficiencia de combustión y de operación de la caldera.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Establecer la forma en que se puede mejorar la eficiencia de operación de la caldera y así poder determinar los recursos.
- Proporcionar información sobre los medios de recuperación de calor, en una caldera, para mejorar la eficiencia.
- Identificar el procedimiento que se debe seguir para la implementación del aditivo y mejorar la eficiencia en la caldera.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad en nuestro país, son varias las industrias que se encuentran funcionando, las cuales, se están dedicando a la generación de energía eléctrica, algunas utilizan como combustible el bagazo de la caña, otras diesel y bunker. Por esto es importante conocer el funcionamiento de una caldera, la cual genera el vapor necesario para hacer funcionar los turbogeneradores y demás equipos.

Es de hacer notar, que en nuestra caldera se utiliza el **BUNKER** como combustible, la producción de vapor no se mantiene constante. Por esta razón, se citará una generalización de lo que son calderas.

Se mencionan también los medios y operaciones que determinan la eficiencia de una caldera, si éstas trabajan eficientemente, se obtendrá una buena producción de vapor y un consumo normal del combustible.

La alternativa aquí propuesta está dirigida a la caldera, la misma consiste en la implementación de un aditivo. Este ayudara a disminuir el consumo de combustible y generando con ello beneficios económicos como energéticos en la plant

# CAPITULO 1

## MARCO TEORICO

### 1. GENERALIDADES DE LAS CALDERAS INSTALADAS

Donde se va hacer el diagnóstico es una empresa destilería de alcohol donde tienen dos calderas.

El tipo de caldera que utilizan son pirotubulares de tres pasos en la cual como combustible utilizan **Bunker No. 6** agregándole un aditivo que es el **Fot. Premium** para tener una mejor eficiencia y no producir corrosión en la cámara de combustión de la caldera.

Cada seis meses se hace limpieza a las calderas por motivo de para de la producción, las cuales demora una semana.

### 1.1POTENCIA

Las calderas son catalogadas en base a la cantidad de vapor que ellas pueden producir en un cierto período de tiempo a una cierta temperatura.

La caldera más grande produce 22.540 de libras por hora y la pequeña produce 12.880 de libras por hora.

$$\text{Caldera 1} = 400 \text{ BHP} * 32.2\text{Lb/ vapor* BHP} = 12880 \text{ Lb/hora}$$

$$\text{Caldera 2} = 700 \text{ BHP} * 32.2\text{Lb/ vapor* BHP} = 22540 \text{ Lb/hora}$$

## 1.2. PRESIÓN DE TRABAJO

Fuerza ejercida en un área determinada. Si la presión atmosférica es mayor que la absoluta, hay vacío.

$$P_w \text{ Ó } P_t = P \text{ vapor producción} = 120 \text{ PSI}$$

## 1.3. CALDEROS

Un caldero se define como un recipiente a presión, cerrado que transforma agua líquida en vapor por la aplicación de calor. Los envases abiertos y bajo la presión atmosférica que generan vapor, no son considerados como una caldera.

En el horno (hogar de la caldera), la energía química del combustible se convierte en calor, siendo este el principio de funcionamiento de las calderas para transferir calor hacia el agua de una manera más eficiente.

Así, la función primaria de una caldera es la producción de vapor mediante la absorción de calor provocada por una combustión eficiente. (VER ANEXO: FIG. 1-2)

### PLACA “CALDERA DISTRAL COLOMBIA”

DISTRAL SERIAL	A - 2759
MODEL	D 38- 700 - 150
POWER	700 BHP
HEATING SURFACE	3555 Sq Ft
MAX. ALLOW. WORKING PRESS	150 PSI
YEAR BUILT	1993

## **1.4 CLASIFICACIÓN DE CALDEROS:**

Existen varias formas de clasificación de calderas, entre las más importantes:

### **a) La circulación del agua y de los gases en la zonas de los tubos:**

Pirotubulares o de tubos de fuego (El fuego va por intermedio de los tubos).

Acuatubulares o de tubos de agua (El agua va por intermedio de los tubos).

### **b) La disposición de los tubos:**

Horizontales (Generalmente son pirotubulares).

Verticales (acuatubulares y pirotubulares).

Inclinados

## **1.5 PARTES DE UNA CALDERA**

La caldera de este estudio está compuesta por varios equipos que, además del diseño apropiado de cada componente, debe existir coordinación entre ellos para obtener una caldera segura, confiable y económica (ésta incluye en si una buena eficiencia y disponibilidad). Las de mayor importancia de una caldera son:

### **1.5.1 VENTILADORES**

Los ventiladores en las calderas, según su diseño, se emplean para suministrar aire para la combustión.

En donde se realiza nuestro estudio tiene ventiladores:

- Radiales o centrífugos.

## **1.5.2 QUEMADORES**

Los quemadores son elementos del hogar para la combustión, se alimentan con combustible y aire en condiciones estables y crean las condiciones aerodinámicas necesarias para producir flama con características adecuadas cumpliendo con las siguientes características.

- Preparar el combustible para la mezcla con el aire.
- Dirigir y dar velocidad necesaria al combustible y al aire para su mezcla.
- Crear las condiciones de estabilidad y de forma. (VER ANEXO: FIG. 3)

## **1.5.3 PRE CALENTADORES DE AIRE**

Los pre-calentadores de aire recuperan el calor de los gases de combustión, las altas eficiencias de la calderas. (88% a 90%), se alcanza únicamente manteniendo los gases de escape debajo de 150 °C. (VER ANEXO: FIG. 4)

## **1.5.4 DUCTOS**

Los ductos de aire y gases representan el 2% y el 4% del costo total de la caldera, las pérdidas de fricción que se originan influye directamente en la potencia necesaria de los ventiladores y en el consumo de energía durante toda la vida útil.

## **1.5.5 INDICADORES DE NIVEL**

Las calderas deben estar provistas, como mínimo, de dos equipos que permitan conocer la altura del nivel de agua. (VER ANEXO: FIG. 5)



## **1.5.6 VALVULAS DE SEGURIDAD**

La misión de las válvulas de seguridad es evitar que la presión de la caldera sobrepase el vapor norma de trabajo, es decir, proteja la cartera de presiones excesivas.

En nuestra caldera las válvulas están seteadas a 145 PSI, 150 PSI y 155 PSI.

(VER ANEXO: FIG. 6)

## **1.5.7 CHIMENEA**

La chimenea es un conducto cerrado que se utiliza para los siguientes propósitos:

Evacuar los gases de combustión de la caldera, después de haber cedido la mayor parte de calor posible.

Producir un tiro o presión estática para ayudar a la evacuación de los gases de combustión.

El criterio de dimensionamiento de la chimenea está definido por la capacidad de la caldera.

## **1.5.8 SISTEMA DE CONTROL**

El control está relacionado con los instrumentos y las operaciones automáticas, en general se emplea en los procesos que no requieren el juicio de un operador o que este no pueda realizar. Para la regulación y el buen funcionamiento de una caldera es necesario conocer todos los factores que determinan su estabilidad como son la medición de flujos, presiones, temperaturas y niveles.

## **1.6 COMBUSTIÓN EN SISTEMAS GENERADORES DE VAPOR.**

La combustión, considera básicamente, es una reacción química en donde el carbono del combustible reacciona con el oxígeno del aire liberando calor y luminosidad.

En el caso de calderas, hornos y motores, todo combustible debe ser pulverizado, atomizado antes de que pueda ser sometido al proceso de combustión. De forma como se desarrolle esta operación dependerá el eficiente o ineficiente quemado del combustible seleccionado.

T. Combustible = 90 C

P. Atomización = 12 PSI

En el caso de la combustión de combustibles líquidos residuales, se liberan además otros productos tales como óxidos, cenizas, escorias, humos, etc., que son considerados como productos secundarios e inevitables. Estos productos deben ser considerados como parte importante dentro del proceso a causa de los problemas que, en ciertos casos, originan. El procedimiento más adecuado para eliminar estos problemas es evitarlos o minimizarlos antes de que se presenten. Para que lo anterior se cumpla, debe desarrollarse un programa químico preventivo, que estará diseñado a la problemática de cada caso particular y, en muchos casos, involucra más de un producto. Es importante tener en cuenta que el tratamiento químico de ninguna manera es un sustituto para una buena operación mecánica y un buen mantenimiento de los equipos de combustión.

La agresividad de los combustibles es originada por los elevados contenidos de sedimentos básicos (como agua, azufre, vanadio y sodio principalmente), que son los causantes de la formación de sub-productos que originan la destrucción de las aleaciones más empleadas en la fabricación de calderas y hornos.

La problemática de la combustión puede tener su origen durante la etapa de la pre-combustión, a causa de un deficiente manejo de las partes y equipos que intervienen en el transporte del combustible y de los quemadores. Así mismo, puede ser causada por fallas en las temperaturas, presiones y demás parámetros mecánicos que deben observarse cuidadosamente durante el quemado del combustible.

Los aditivos químicos ayudan a mejorar la eficiencia de combustión cuando se tiene un sistema muy bien diseñado, operado y mantenido. Insistimos nuevamente en anotar que se ninguna forma pueden ser considerados como sustitutos de estos.

## **1.7 TIPOS DE COMBUSTIBLES DE USO INDUSTRIAL.**

Existen varios tipos de combustibles utilizados industrialmente para el proceso de combustión.

Su elección depende de múltiples factores como son su costo, su disponibilidad en el mercado su transporte, etc. Los combustibles pueden ser clasificados de acuerdo a su estado original en:

### **❖ Combustibles Gaseosos**

- Gas Natural
- Gas Propano
- Gas Butano

### **❖ Combustibles Sólidos**

- Madera
- Carbón
- Bagazo

❖ **Combustibles Líquidos**

- Destilados (Kerosene, Diesel)
- Fuel Oil
- Bunker Oil
- Crudo

❖ **Sub-Productos de la respectiva Industria**

## **1.8 COMBUSTIBLES LÍQUIDOS RESIDUALES.**

La situación energética actual en el mundo y el desarrollo tecnológico de los últimos tiempos han incidido directamente en el desarrollo y mejoramiento de los procesos para el tratamiento del petróleo, aumentando el rendimiento de los productos denominados valiosos o refinados.

De igual manera, ha disminuido la calidad de combustibles residuales industriales, lo que permite que una gran parte de los materiales que causan la formación de cenizas y de óxidos corrosivos e incrustantes se presenten en ellos y sean la causa de que exista, como consecuencia, una menor productividad y más problemas para el consumidor.

El aumento de cenizas y depósitos en el humo de las calderas trae como consecuencia una reducción de absorción de calor en las áreas de paso de los gases, una reducción en el tiro y en general una reducción en el rendimiento general de la caldera.

### **1.8.1 CONTAMINANTES**

La lista que presentamos a continuación contiene un resumen de la forma en que se presentan los elementos más comunes encontrados en el crudo. La concentración de impurezas viene dada en partes por millón (ppm) del óxido del elemento presente.

Contaminantes	Rango			
Na <sub>2</sub> O	2	-	320	ppm
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2	-	550	ppm
MgO	0	-	50	ppm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2	-	550	ppm
SiO <sub>2</sub>	2	-	275	ppm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	-	50	ppm
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	-	15	ppm
Sulfatos como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0	-	450	ppm
Azufre	0.5	-	3%	%
Ca	0	-	250	ppm
N <sub>2</sub> O	0	-	300	ppm

## 1.9 PRE-COMBUSTIÓN.

1. Tenemos el tanque de almacenamiento principal del **BUNKER** con el aditivo.
2. Luego or vasos comunicantes pasa al tanque diario donde se lo calienta con el pre calentador a vapor a 60 C.
3. Pasa por filtros para poder ser bombeado a la caldera.
4. Antes de ser bombeado pasa por un pre calentador eléctrico de 15 KW el cual es utilizado para los arranques.

5. De ahí va por un precalentador de vapor que es el que se encarga de mantener la temperatura para el ingreso a la caldera.
6. Pasa por un sistema de inyección de bunker a donde es atomizado con vapor pasando por un cañón que lleva hasta la boquilla en donde se atomiza el BUNKER permitiendo que la llama de ignición inflame las partículas de este.
7. Con la cual se forma la llama en el hogar. En combinación con este hay un dámper que permite el paso del aire generado por un ventilador de tiro inducido en forma regulada.
8. Permitiendo la combinación de aire y llama produciendo una combustión más eficiente.
9. Pasando ese fuego por el interior de los tubos el cual va calentando el agua hasta salir por la chimenea en forma de gases los mismos que son medidos para calcular la eficiencia de las calderas.

### **1.9.1 ELEMENTOS QUE INVOLUCRAN LA ETAPA DE PRE COMBUSTIÓN.**

El sistema de pre – combustión contiene, por lo general, los siguientes elementos.

(VER ANEXO)

- Tanques de almacenamiento (FIG. 7)
- Bombas de trasiego (FIG. 8)
- Tanque diario (FIG. 7)
- Filtro 1 (FIG. 8)
- Bombas o quemadores
- Pre calentador eléctrico (FIG. 9)

- Filtro 2
- Quemadores

### **1.9.2 PROBLEMAS EN LA PRE – COMBUSTIÓN.**

Dado que los combustibles líquidos residuales son mezclas de diferentes tipos de crudos, generalmente se presentan problemas de estratificación y formación de goma. Estos fenómenos se incrementan con el tiempo de almacenamiento y con los cambios de temperatura.

Los sedimentos que traen el combustible y el sludge formado en el tanque de almacenamiento pueden ser transportados a través de las líneas de conducción, bombas, filtros, pre – calentadores y quemadores, ocasionando un incremento en la presión y disminuyendo la rata de flujo, lo cual sería la causa de una mala combustión.

El agua que generalmente contiene el combustible posee concentraciones altas de cloruro, lo que origina un medio altamente corrosivo que ataca y acaba con las partes metálicas del sistema y aumenta las impurezas del combustible a quemar.

### **1.9.3 SOLUCIONES QUÍMICAS A PROBLEMAS EN LA PRE – COMBUSTIÓN.**

Los problemas de pre – combustión pueden ser solucionados total o parcialmente por medio del uso de productos químicos.

➤ **SOLVENTES**

Solubilizan las partículas del sludge (gomas) que se hayan formado durante el transporte del combustible.

➤ **DISPERSANTES**

Químicamente acondicionan las partículas pesadas del combustible para poder obtener una corriente más homogénea.

➤ **ANTIOXIDANTES**

Minimizan la tendencia de los hidrocarburos olefínicos a oxidarse durante su almacenamiento.

➤ **EMULSIONANTES**

Si la cantidad de agua presente en el combustible no es grande, es conveniente emulsionarlo. Si existe agua libre por encima del 2% debe ser eliminada a través de los sistemas de purga de los tanques de almacenamiento.

➤ **INHIBIDORES DE CORROSIÓN**

Son inhibidores fílmicos y/o neutralizantes que protegen las partes metálicas del sistema contra la corrosión.

➤ **MICROBICIDAS**

La corrosividad y la proliferación microbiológica del agua que se presenta en el fondo de los tanques se pueden controlar con productos químicos cuaternarios.



## ➤ **LIMPIADORES INDUSTRIALES SOLUBLES EN HIDROCARBUROS.**

Este tipo de productos ayudan a mantener todas las partes del sistema de pre – combustión limpias, lo cual redundará en una mejor eficiencia del combustible en el proceso de combustión.

### **1.9.4 PARÁMETROS MECÁNICOS DE FUNCIONAMIENTO.**

El tanque de almacenamiento de combustible residual debe permanecer en lo posible en condiciones ambientales normales, es decir, sin elementos de calentamiento que puedan acelerar el fenómeno de la estratificación. La presencia de un elemento calentador puede ocasionar fraccionamiento in situ que cambia las propiedades del combustible, lo cual no permite que se envíe a quemadores un combustible homogéneo.

Las líneas de conducción del tanque de almacenamiento deberán tener un diámetro mínimo de 3 a 4 pulgadas. El tanque diario debe tener una temperatura entre los 40 y 60 grados centígrados. La temperatura del combustible en la boquilla debe estar entre los 80 y 90 grados centígrados.

La presión del combustible, así como aquella de la atomización, varían de acuerdo con el tipo de caldera en la que se realice la combustión y con la presión de operación de la misma.

### **1.9.5 PROGRAMA QUÍMICO.**

Uno de los problemas más frecuentes que se presenta en los combustibles líquidos residual tipo bunker oil, es el de la estratificación. Este fenómeno consiste en la separación por capas a causa de la diferencia en los pesos moleculares de los elementos que constituyen el bunker. Lo anterior ocasiona que la carga que alimenta a los quemadores no sea uniforme, lo cual disminuye la eficiencia de los combustibles.

El producto que se utilice para controlar los problemas de estratificación que presentan los combustibles líquidos residual, debe estar formulado con componentes activos, mezcla de homogeneizadores con surfactantes anionicos no iónicos a base de hidrocarburos aromáticos y alifáticos, que permitan y garanticen una carga pareja al tren de quemadores. Esto traerá como resultado un aumento en la eficiencia de los quemadores y una reducción en el consumo de combustible.

La ventaja de utilizar un aditivo homogenizador en los combustibles líquidos residual son las siguientes:

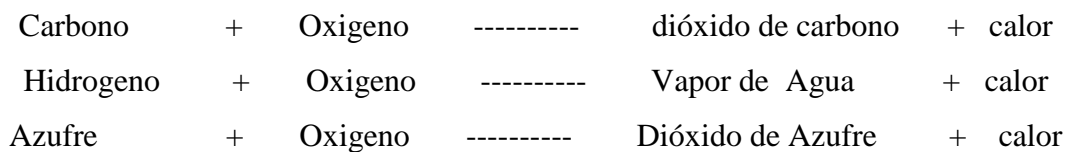
- Evitar la formación de “sludge” o gomas que restarían capacidad de almacenamiento a los tanques y taponamientos de filtros y boquillas.
- Evitar la estratificación del combustible. El bunker por ser un combustible residual posee diversos componentes que tienden a localizarse de acuerdo con sus pesos moleculares. Esto origina una estratificación que causa problemas de bombeo y quemado.
- Mantener limpio el sistema de pre – combustión (boquilla, filtros pre calentadores, ductos, etc.).
- Mantener estable la carga de combustión al quemador, evitando los fognazos y las intermitencias.
- Disminuir con el aditivo, con lo cual se aumenta su fluidez.

## 1.10 COMBUSTIÓN.

La combustión es el proceso de quemado del combustible. En términos químicos, se refiere a la rápida oxidación de una sustancia (combustible) acompañada por calor y generalmente luz.

En términos prácticos es la combinación rápida del oxígeno con un combustible obteniendo como resultado el desprendimiento de calor.

Los combustibles más comunes (aceite, gas, carbón) están compuestos por carbono e hidrogeno. En algunos combustibles existen pequeñas cantidades de azufre y trazas de otros elementos. En la practica la oxidación de tres elementos, carbono, hidrogeno y azufre, debe ser tomada en cuenta en la combustión. Tres reacciones químicas se suceden:



### 1.10.1 TIPOS DE COMBUSTIÓN.

#### COMBUSTIÓN COMPLETA O ESTEQUIOMÉTRICA.

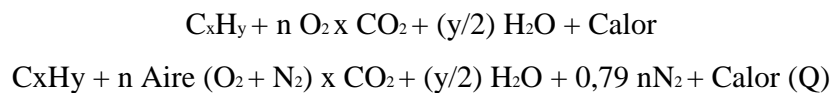
Es aquella obtenida por reacción de proporciones exactas de combustible y oxígeno. En esta reacción se obtiene la conversión completa a dióxido de carbono, vapor de agua y dióxido de azufre (si hay presencia de azufre).

## **COMBUSTIÓN INCOMPLETA O SUBESTEQUIOMÉTRICA.**

Sucede cuando hay menor cantidad de oxígeno del necesario para la reacción completa. Durante la combustión subestequiométrica, se pueden formar otros productos juntos con el dióxido de carbono, agua y dióxido de azufre. Entre estos productos juntos se incluye el monóxido de carbono, hidrógeno, hidrocarburos, ácido sulfhídrico, carbono y cenizas. Estos compuestos son contaminantes comunes y escapan a la atmósfera con los gases en el proceso de la combustión.

### **1.10.2 ECUACIONES DE COMBUSTIÓN.**

Las principales reacciones que se suceden en un proceso de combustión son las siguientes:



### **1.10.3 CONTROL DE LA COMBUSTION**

Para realizar un control efectivo en las unidades de combustión, de acuerdo con los intervalos de funcionamiento de las mismas, se han desarrollado varias técnicas, las cuales enumeramos a continuación:

- Medida directa de la relación aire – combustible.
- Medida de la concentración del dióxido de carbono.
- Evaluación de la concentración de oxígeno en gases de chimenea.

- Eficiencia de combustión.
- Análisis del gas de combustión.
- Medida de la temperatura de chimenea.
- Medición de humo.
- Medición del tiro.

(VER ANEXO: FIG 10)

#### **1.10.4 PROGRAMA QUÍMICO.**

Los combustibles líquidos residuales industriales presentan problemas en su combustibilidad debido a la poca presencia de livianos y medianos en ellos, es indispensable la utilización de un aditivo formulado específicamente como catalizador de combustión, con base en compuestos órgano – metálico y sales de magnesio, cobre, que además contengan dispersantes y tenso – aditivos, que aumentaran la velocidad y el calor del proceso mismo, lo que disminuye notoriamente los residuos presentes en el hogar de la caldera debido a combustiones incompletas.

Este problema es realmente critico en sistemas que utilizan combustibles pesados, por esta razón se considera necesario utilizar aditivo catalizador de combustión.

- Al aumentar las temperaturas instantáneas del quemado, con los óxidos órgano metálico, se logra que incluso las partículas más pesadas del combustible se quemen. Mejora la combustión y se disminuye el monóxido de carbono causado por la combustiones incompletas (disminuye el hollín).
- Se reduce los requerimientos de oxígeno en la combustión. Disminuye las pérdidas de calor en los gases de chimenea y la temperatura de los mismos.
- Aumenta la eficiencia de combustión, reduciendo los consumos de combustibles.

- Mantiene limpias las boquillas por más tiempo y disminuye la frecuencia de las deshojinadas.
- Las anteriores ventajas se pueden comprobar utilizando analizadores de gases de combustión y por inspecciones visuales.

## **1.11 POST – COMBUSTIÓN**

Todos los problemas que se originan después de ser quemado el combustible dependen principalmente del tipo de combustible que se queme, de la calidad del mismo, de lo complicado que sea el sistema, y del recorrido de los humos hasta que salen por la chimenea.

En las calderas acuatubulares, que tienen dos zonas de temperatura muy bien definidas, se tienen problemas de depósitos, corrosión y un ensuciamiento general, tanto en la zona de alta temperatura que encierra la zona de radiación y convención, como en la zona de baja temperatura que va desde el final de la zona de convención hasta la salida de los humos por las chimenea.

Existen dos tipos específicos de calderas: las acuatubulares y las pirotubulares. En las acuatubulares, el gas caliente circula por fuera de tubos llenos de agua y, en las pirotubulares los gases calientes circulan a través de los tubos sumergidos en agua y vapor.

### **1.11.1 PARTES QUE INVOLUCRA LA POST – COMBUSTIÓN.**

- Quemador
- Cámara de combustión o caja de fuego – radiación

- Sección de convención
- Chimenea
- Equipos para manejo de aire
- Instrumentos
- Zonas que intervienen en la post – combustión.

Acción catalizadora del óxido férrico ( $\text{FeO}_3$ ), que hace reaccionar al  $\text{SO}_2$  con el oxígeno molecular ( $\text{O}_2$ ), para formar el  $\text{SO}_3$ .

El magnesio cuando es dosificado antes de efectuarse la combustión ayuda a controlar la corrosión en la zona de baja temperatura, pues reacciona con el  $\text{SO}_3$  formado en la zona de radiación, originando el Sulfato de Magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ). Además, cuando el ácido sulfúrico está presente en las superficies metálicas, también reacciona formando el  $\text{MgSO}_4$  por efecto de neutralización.

Para controlar la producción del  $\text{SO}_3$  se debe adicionar el Magnesio que se constituye en envenenador de la acción catalítica del Pentóxido de Vanadio ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) y del óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); además actual de la misma forma que el Magnesio pero forma Sulfato de Magnesio. Sin embargo su principal acción es el envenenamiento de la acción catalizadora del Pentóxido de Vanadio.

Al controlar la acción del  $\text{SO}_3$  y por ende la del ácido sulfúrico, también se controla la lluvia ácida que no es otra cosa que las cenizas y demás partículas sólidas presentes en el ciclo de combustión, las cuales al entrar en contacto con el ácido sulfúrico, producen lo que se conoce como el “SmutAcid” o lluvia ácida. Este fenómeno es conocido como problemas de Emisión en el ciclo de combustión.

El aditivo que puede controlar los problemas relacionados a la post – combustión debe ser formulado en base a sales orgánicas de Magnesio y Manganeseo, con dispersantes y tenso- activos, con solventes alifáticos y aromáticos como vehículo.

Como se puede observar las Sales orgánicas de Magnesio y Manganeso hacen la función de catalizador de combustión e inhibidor de corrosión, siempre y cuando se lo formule con suficiente concentración.

Es conveniente que todos los aditivos sean dosificados en la zona de mayor turbulencia para garantizar una mezcla homogénea y permitir que el aditivo actúe eficientemente.



## CAPITULO 2

### 2. COMBUSTIBLE BUNKER No 6.

#### 2.1 DESCRIPCION.

Es un combustible residual de la destilación y craqueo del petróleo, un producto viscoso y con cierto grado de impureza, cuyas características generales exigen métodos especiales para su empleo.

Densidad	Min 0.92k/l
Gravedad específica	0.9616
Gravedad API	15.7
Punto de Inflamación	95 C
Viscosidad Redwood	37.8 C 4400seg
Viscosidad Cinemática	50 C 510cst
Viscosidad Saybolt	50 C 216 seg
Agua y Sedimento por Destilación	0.1% V
Azufre	1.5% P

#### 2.2 CARACTERISTICAS DEL BUNKER

El bunker C también llamado fuel oil No. 6 es altamente viscoso comparados con otros derivados del petróleo.

Técnicamente recibe este nombre ya que se utiliza con mayor frecuencia en los buques, debido a sus propiedades, requiere calentamiento, por lo general se necesita una recirculación de baja presión de vapor del sistema en que se use, este combustible además tiene un precio bajo si se habla de grandes cantidades y es de consumo básicamente marítimo e industrial.

La propiedad técnica más relevante en la combustión del bunker es la viscosidad, esta característica varía de acuerdo a la temperatura a la que se encuentra el combustible, por lo que el calentamiento se lo realiza en tres etapas:

Etapa 1. Recirculación de vapor a baja presión en tanques de recepción.

Etapa 2. Recirculación de vapor a baja presión en tanques diario.

Etapa 3. Recalentamiento con resistencias eléctricas instaladas en la tubería.

**(VER ANEXO: FIG. 11)**

### **2.2.1 AGUA Y SEDIMENTO:**

Depósitos en tanques y obstrucción de filtros, así como desgastes de boquillas.

Agua en exceso de 0.1% en volumen contribuye a disminuir el poder calórico.

### **2.2.2 VISCOSIDAD:**

Tenemos:

Viscosidad de redwood de: 37.8 C 4400seg.

Viscosidad cinemática de: 50 C 510 cst.

Viscosidad Saybolt de: 50 C 216 seg.

Facilidad de bombeo a través de las tuberías. Mayor o menor facilidad con que el combustible es atomizado por los quemadores.

### **2.2.3 GRAVEDAD A.P.I:**

No influye por sí misma en la calidad o en el rendimiento del combustible.

Utilizando curvas adecuadas sirve para estimar el poder calórico. Es de 15.7

### **2.2.4 PUNTO DE FLUIDEZ:**

Indicador de posibilidad de problemas de solidificación en zonas de baja temperaturas.

### **2.2.5 AZUFRE:**

Restricciones por leyes sobre contaminaciones del 1.5%P, problemas de corrosión por formación de compuestos sulfurados y gases de combustión bajo punto de rocío.

### **2.2.6 CENIZAS:**

Contienen los metales vanadio y níquel que contribuyen a acelerar el proceso de oxidación en tuberías del hogar. El sodio actúa desfavorablemente sobre el refractario de horno. Además, la deposición en las paredes constituye un medio aislante que disminuye la eficiencia de las zonas de intercambio calórico.

### **2.2.7 PUNTO DE INFLAMACIÓN:**

Calentamiento requerido por el producto y por efectos de seguridad en el almacenamiento es de 95 C.

### **2.2.8 CARBÓN RESIDUAL:**

Indicador de la cantidad de humo negro (hollín) que se forma en las chimeneas de hornos y calderas, así como el taponeo de quemadores.

## CAPITULO 3

### 3. EL ADITIVO ANTICONTAMINANTE ECONOMIZADOR FOT PREMIUM EN CALDERAS

#### 3.1 DESCRIPCIÓN

Es un aditivo catalizador líquido, 100% miscible (Soluble) en el combustible hidrocarbúrico, ej.:Bunker, Aceites, Gasóleos, Combustóleo, etc. se aplica en calderas industriales y en hornos. (VER ANEXO: FIG. 12)

El ANTICONTAMINANTE ECONOMIZADOR **FOT PREMIUM** EN CALDERAS por su altísimo poder desincrustante que tiene lo hace un excelente limpiador del equipo, desde el tanque de almacenamiento del combustible, hasta el escape o chimenea de gases de combustión, disolverá los polímeros acondicionará a los asfáltenos pesados y los incorporará al combustible, aprovechándolos en su combustión, encapsulará el agua de disolución, recomendándose cuando sea posible previamente eliminar el agua de precipitación ya sea por medio de una centrífuga y/o por la purga ubicada en la parte inferior del tanque de combustible y la restante la eliminará del tanque gracias a la incorporación de ella mediante el aditivo al combustible y sale rumbo a la caldera con este, obteniéndose 3 beneficios:

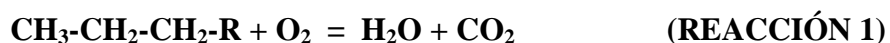
1. Evitar su corrosivo efecto sobre los metales.
2. Ya no facilitará la formación de lodos con los polímeros.
3. Se protegerán los metales con el anticorrosivo contenido en el fot premium.

El “**Fot Premiun**” no son ácidos ni alcalinos, no tienen efecto alguno contra los metales, son estables, no se descomponen con el tiempo, ni con luz, no se evaporan con facilidad, al dejar caer dentro del líquido un cerillo se apagará, lo cual comprueba que son combustibles pero no flamables, todas sus propiedades físico-químicas son en general muy parecidas al diesel, gasóleo y combustóleo, en el cual se va a mezclar rápidamente y quedará disuelto completamente.

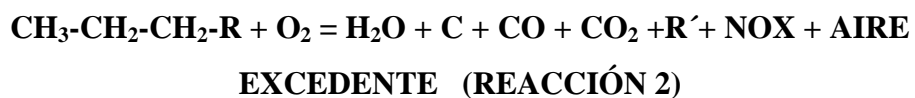
Al ser agregado al tanque de combustibles empieza con una acción microbiana y de disolución de lacas, polímeros, barnices, gomas y agua en pequeñas cantidades. También a lo largo del recorrido del combustible va a ir limpiando la tubería y sus accesorios pero sin perjuicio de materiales constructivos de las piezas originales de la caldera u horno, con relación al contenido de agua en el combustible, se debe evitar la aditación del “**fotpremiun**”.

El aditivo ayuda a mantener limpio el tanque de almacenamiento del combustible y demás conductos y accesorios por donde el combustible adiado pasa.

Si la combustión de la mezcla combustible-aire se realiza conforme a la reacción de combustión teórica con puro oxígeno, sería la siguiente:



Pero ya con el aire en lugar de oxígeno la realidad práctica, es que es una reacción incompleta que genera carbón, monóxido de carbono, combustible semiquemado o crudo, óxidos de nitrógeno y aire excedente:



Muchos de los carbonos de los hidrocarburos solos quedan libres sin reaccionar con el oxígeno, generando hollín, que no produce calor (energía) y otra parte de los carbonos solo reaccionaron con un solo oxígeno en lugar de dos, originando el monóxido de carbono que genera únicamente 26,240 calorías por gramo mol contra 94,050 calorías por gramo mol en total que genera CO<sub>2</sub> dióxido de carbono, que esa si es una combustión completa.

La cantidad de vapor generada en el caso de una caldera o del producto final deseado en un horno, depende directamente de la cantidad de calorías obtenidas de la mejor combustión del hidrocarburo, así que, al utilizar nuestro anticontaminante economizador Fot Premiun se obtendrá un incremento, debido al mejor aprovechamiento del carbono, siendo proporcionalmente mayor que sin aditivo la cantidad de carbono convertido en CO<sub>2</sub>.

Además, si se reduce la formación de los carbonos libres “C” las chimeneas y el ambiente se ensuciaran menos y habrá una corrección de moléculas de monóxido de carbono en tres veces más rápido hasta convertirlo en CO<sub>2</sub> ayudando a evitar así un promedio del 50% la formación de humo, carbón y monóxido de carbono con los respectivos beneficios funcionales económicos y ecológicos antes mencionados.

### **3.2 VARIABLES A OBSERVARSE, SISTEMATIZARSE Y EVALUARSE**

Primeramente se podrá observar, en el caso que se añada directamente al tanque del combustible, la limpieza de éste, desde las paredes hasta el fondo, donde notará que eliminó rápidamente los polímeros, lodos y el agua contenida en pequeñas cantidades. Disminuirá prácticamente el mantenimiento de limpieza de los quemadores y se prolongará su vida útil.

Después de 2, máximo 5 días se comprobará que la flama es más clara, brillante y energética, pudiéndose recarburarse, después de 5 a 10 días más reduciendo el aire excedente hasta el punto que la flama no pierda dicha brillantez.

Se observará una disminución gradual de los gases contaminantes emitidos, ellos son:

- **CO, monóxido de carbono**, el cual es combustión incompleta que sólo proporciona el 28% de la energía que hubiera emitido si se hubiese quemado hasta CO<sub>2</sub>, además, cómo continuamente inutiliza la hemoglobina.
- **NO<sub>x</sub>, monóxido de nitrógeno**, con los que se pierde energía en la combustión al formarse y participan en la formación de ozono en el ambiente.
- **HC, hidrocarburo o combustible crudo o semiquemado**, que es energía desaprovechada y también origina ozono en el ambiente.
- **O<sub>2</sub>, oxígeno excedente y aire excedente**, significa por un lado el calor sensible que se despidiría al calentarse desde la temperatura ambiente, hasta la temperatura de salida de los gases de combustión que sería un promedio de 200°C o más lo que se le calienta inútilmente, por otro lado, al disminuir el oxígeno o aire excedente, ayudará a impedir la formación de los NO<sub>x</sub> y del SO<sub>3</sub>; todo esto es posible debido a la facilidad de realizarse una mejor combustión aún a una bajísima proporción de oxígeno excedente, gracias al fot premium..
- **SO<sub>3</sub>, trióxido de azufre**, disminuye normalmente, su formación desde un 50% hasta en un 92% con lo que prolonga la vida útil del pre calentador al cual le permite trabajar a un punto de rocío mucho más alto, elevando su eficiencia; fot premium protege también, tanto internamente la caldera, de la niebla del ácido sulfúrico y su agresión al sistema de expulsión de los gases de combustión, así como, externamente, mediante la lluvia ácida que destruye el equipo periférico y medio ambiente.
- **C, carbono no quemado u hollín**; disminuyendo también su opacidad del humo que ya no cae dentro de la gama visible y mejora ante el transeúnte y ecología su aspecto del equipo en operaciones, además del ahorro de personal de limpieza y mayor salud en el sistema respiratorio.



Se incrementará el CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono, que es el símbolo de combustión completa, en un 20% en promedio, manifestándose este como:

- 1) un incremento en la producción de vapor, ó
- 2) ahorro de combustible, si se mantiene la misma cantidad de vapor producida.

### **3.3 EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE SE LIMPIA PERFECTAMENTE**

Pudiéndose observar desde las paredes hasta el fondo, en el cual se forman los llamados “lodos” que están constituidos por:

- a.- **AGUA**, la cual es atrapada por el aditivo y llevada al exterior, junto con el combustible.
- b.- **POLIMEROS**, son disueltos e incorporados al resto del combustible, aprovechándose su alto poder calorífico en la combustión.
- c.- **SALES MINERALES**, ya limpias, se precipitan pesadamente al fondo del tanque y entran en un proceso de disolución lento a mediano plazo que el aditivo va realizando en cuestión de meses, pero mientras y debido a su alta densidad ya no pueden provocar taponamientos.

Es muy importante descartar la gran cantidad de litros de “combustible muerto” que hay en los tanques de almacenamiento de las industrias, que aunque están en los inventarios, jamás logran disponer de ellos, sino más bien representa una amenaza, porque al bajar el nivel a donde ya se asoma la punta de los lodos, ya no conviene seguir extrayendo combustible porque se inician, uno tras otro, los taponamientos y si se insiste puede provocarse fácilmente un tremendo paro, así que se tiene que surtir combustóleo nuevo y dejar perdido el “amenazante y lodoso combustible muerto”.

### **3.4 LIMPIEZA EN FILTROS, TUBERÍAS Y SUS ACCESORIOS:**

- a.- Calcúlese el ahorro del 100% en mano de obra de limpieza de filtros.
- b.- Debiéndose evaluar un ahorro de electricidad excedente de bombeo, que antes si se gastaba para vencer la resistencia en filtros.
- c.- estímesese el costo por evitar que por unos taponamientos, se vaya a tener un paro de producción.
- d.- Así como se observaran de limpias las paredes del tanque de almacenamiento, así de limpios los filtros, tuberías y accesorios por dentro.

### **3.5 LIMPIEZA EN QUEMADORES**

Los quemadores prolongan su tiempo de funcionamiento, entre limpieza, en tres veces y media, además, el tiempo de limpieza en quitar las costras se disminuye en una quinta parte, considerar también que las ganancias y ahorros a evaluar vienen de un mejor y más prolongado patrón de esperado ahorro de mano de obra y combustible mejor quemado.

### **3.6 LIMPIEZA DE FLAMA**

Es muy notorio el cambio tanto de longitud de flama, que se vuelve más corta, pero más brillante, redonda, intensa y limpia. Se recomienda que después de 15 días de iniciada la adicción del aditivo, se haga una primera evaluación del siguiente ahorro:

Mediante una re carburación o re-caracterización, en la que se podrá disminuir el aire y oxígeno excedente hasta el punto en que no se disminuya dicha brillantez de la llama ahora lograda, midiendo mediante el análisis de gases de combustión el incremento de CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono, símbolo de una combustión más completa y la disminución de hollín, monóxido de carbono y aire u oxígeno excedente y se podrá calcular el ahorro de la pérdida de calorías que se llevaba por la chimenea, este aire excedente, ahora disminuido o ahorrado en esta primera re carburación, como se podrá ver y comprobar, es una de las características sobresalientes del aditivo que aun a muy bajo porcentaje de oxígeno excedente, realiza una combustión más completa y mejor, que antes de su adición.

Así a los otros 15 días más, o todavía, si es posible, mejor, a los 30 días después de la primera re carburación, total 45 días de iniciada la adición tomando en cuenta que ya disminuimos de manera importantes las incrustaciones en la fluxería, se podrá realizar la segunda re carburación o disminución del aire excedente y del incremento de dióxido de carbono y sus equivalentes en litros de combustible economizado.

El monóxido de carbono CO, es un contaminante venenoso para la sangre y también es el resultado de una combustión incompleta.

El fot premiun provoca una reacción de combustión tres veces más rápida, ayudando a que se obtenga mayor porcentaje en los gases de combustión de CO<sub>2</sub> y una disminución del 70% o mayor del CO y del "C" u hollín, los cuales al quemarlos hasta CO<sub>2</sub> generan más calorías con la misma cantidad de combustible, pudiéndose calcular el ahorro de combustible.

Los incrustantes, entre mayor sea la temperatura a la que trabaje la caldera, serán más corrosivos contra el metal de flux, reduciendo su vida por disminución de espesor, al grado que cuanto más se adelgace la pared, más fácilmente se van presentando los paras para cambiar los tramos ya que presentan fugas de vapor, tomando en cuenta que con el uso de fot Premium, se va a incrementar en 5 veces la vida útil del flux, hacer una evaluación del ahorro:

Se va a ir incrementando la eficiencia de la caldera, costando cada vez menos litros de combustibles por tonelada de vapor generado.

El ahorro que significa que se eviten problemas de rupturas, deslizamientos y corrimiento de grupos de flexes, caída del refractario, por efecto de la gran expansión a esa temperaturas y sus grades contracciones al enfriarse, debido al coeficiente de dilatación térmica de los metales.

Ayuda a evitar que se forme ese NO (óxido nitroso), haciendo día a día bajar la temperatura de flama.

Como ya se mencionó la “limpieza de flama”, a ayudar a bajar el oxígeno excedente, ayuda eso a bajar la posibilidad de que el nitrógeno reaccione con el cada vez más escaso oxígeno excedente.

La disminución de la concentración del oxígeno excedente por lo ya mencionado en la sección de limpieza de flama y que estadísticamente el SO<sub>2</sub> tiene mayor dificultad de encontrar el oxígeno para reaccionar y formar SO<sub>3</sub>.

## **CAPITULO 4**

### **4. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS A COMPROBAR**

Existen varios parámetros de comparación de resultados entre cuando el combustible no tenía el fot premiun y cuando ya se habitó, que se pueden elegir entre los múltiples beneficios que se tienen empleando dichos aditivo.

Las variables más comúnmente empleadas para la prueba verificadora son aquellas que rinden un beneficio palpable a corto plazo y tengan la mayor importancia.

#### **4.1. PREPARACIÓN DE LA PRUEBA**

Una vez discutido y aprobado el número de parámetros necesarios, económicos y convenientes, se procederá a analizar los datos excedentes, concluyéndose sobre su confiabilidad, representatividad y si su número, cantidad y calidad los hacen útiles, no siendo necesario tomar mayor información sin fot premiun o solo alguna complementación o actualización.

Una vez concluida y disponiendo de la información sin aditivo se agregara el líquido economizador anticontaminante Fot Premiun existiendo varias posibilidades de hacerlo:

- En el tanque de almacenamiento general
- En el tanque de día es recomendable que la aditacion se realice cuando el tanque está próximo a terminarse y se tendrá que rellenar con el combustible proveniente del tanque general, esto con la finalidad de que el aditivo se mezcle perfectamente

con el combustible, mediante el aprovechamiento del movimiento que se genere en la operación.

- Dosificador colocado en la línea que une a la salida de los tanques de día y que sea lo más lejano posible de la caldera para que tenga oportunidad de mezclarse el aditivo con el combustible y ver que esta adición sea antes de la bomba, del filtro y precalentador para que el paso por estos de mayor oportunidad de una buena mezcla.
- Dosificador a la salida del tanque general, solo la porción de lo que sale de él, ya sea la prueba por unas horas o por días o mayor tiempo.
- Lo mismo que el anterior pero de la salida del tanque de día.

## **4.2 REQUERIMIENTO DEL ADITIVO EN LA CALDERA**

Se procederá a ser agregado el Fot Premiun al combustible, según la porción de 5 litro a 30.000 galones, de aquel con el objeto de acelerar los resultados, y así limpiar y acondicionar más rápidamente el equipo y disminuir el periodo de pruebas de las mejoras que se obtendrían en un mes, lograrlo en 15 días.

El cálculo comparativo de las variables medidas, se hará conjuntamente, y se elaboraran los reportes correspondientes de los resultados obtenidos, los mismos que podrán ser utilizados, por ambas partes de acuerdo a su criterio.

Con el fin de lograr un mejor cociente, mejor beneficio-costo.

## **4.3. BENEFICIOS OBTENIDOS**

### **PREFLAMA:**

Se lograran todos los cambios que enseguida se indican, a partir del primero al tercer día, o sea:

- a. Eliminación del agua incorporándola al combustible, y saliendo esta con él.
- b. Disolución de los polímeros y su aprovechamiento integral en la combustión
- c. Desincorporación, disolución y aprovechamiento de los lodos contenidos en el tanque de almacenamiento
- d. Preparación previa del combustible para su óptima combustión
- e. Limpieza de válvulas, codos y demás accesorios de tubería
- f. Impartición de protección anticorrosiva, desde el tanque de almacenamiento hasta los quemadores
- g. Eliminación de un promedio de un 80% del mantenimiento de descoquización, de los quemadores.
- h. Limpieza de filtros, eliminación del 100% de su mantenimiento.

### **EN FLAMA:**

Desde el primer día se inician cambios en la coloración y forma de la flama pero serán un poco turbios y cambiantes.

De un tercer a quinto día en adelante se tendrá ya brillante, una coloración más clara e intensa, limpia exenta de colores oscuros tal como el rojo carmesí y negro para quemar solo con un intenso blanco- amarillento al centro y un amarillo naranja brillante por la coloración del sodio en la periferia

La longitud de la flama será mucho más corta debido a una combustión más rápida y pudiéndose completar esta de la primera mitad de la cámara de combustión, quedando el restante para una afinación y eliminación de los contaminantes, así como un incremento de formación del dióxido de carbono, necesitándose para esta excelente combustión solo un mínimo de oxígeno excedente.

En esta etapa y debido a la acción del catalizador de la tercera generación del anti contaminante economizador se realizarán sorprendentes cambios y optimización de la combustión mediante la dirección, manejo, programación, selectividad de los productos finales deseables.

Podrá comprobarse como el azufre quedará completamente quemado, eliminándose la posibilidad de emitir azufre molecular o en estado de mercaptanos, saliendo en su prácticamente totalidad como dióxido de azufre y solo una mínima parte como trióxido, un 80 o 90% menos que antes, cambiándose el índice de acidez de los gases de combustión de un pH de 3.5 a 6.9 prácticamente neutro o 7.

## **POSFLAMA:**

La acción del Fot Premiun sobre la incrustación del vanadato de sodio en la tubería hará sus efectos beneficios a partir del primer día de prueba, en forma pero constante continuará eliminándolo, de tal modo que a los 7 días se habrá eliminado una tercera parte, a los 15 días dos terceras y el último tercio se llevarán a las dos semanas; al ir eliminando el vanadato la eficiencia térmica se va incrementando así que en la lectura, a los 15 días de la prueba, ya tendrá una mucho mejor eficiencia no obstante todavía no de la óptima, la limpieza de la incrustación en la chimenea era más intensa hasta el tercer día, pudiéndose prolongar quizás hasta un cuarto o quinto, y ya después se dejara ver la pluma de hollín por este origen.

## **4.4 CONTROL AMBIENTAL**

- Disminución de emisiones contaminantes del orden de 75% en promedio.



- Al impartir el Fot Premiun una gran afinidad al hidrocarburo por el oxígeno va a tener una mejor combustión, permitiéndonos reducir la cantidad de aire y oxígeno en exceso, el cual es el causante de las elevadas formaciones de óxidos nitrosos (NOx), el que, ayudado con acción de la luz solar y los hidrocarburos forman que ozono, productor de problemas inflamatorios en el aparato respiratorio y ojos.
- Reduce la emisión de “CO” también llamado “gas de la muerte” que inutiliza la hemoglobina.
- Reduce la emisión de hidrocarburos. Provenientes del combustible crudo o semiquemado.
- Reduce la emisión de partículas sólidas, hollín que produce cáncer, se puede comprobar por la disminución de la opacidad, la cual quedara muy por debajo de lo oficial establecido o autorizado.
- Reduce hasta en un 72% la formación del trióxido de azufre, precursor de la “lluvia ácida”.

## CAPITULO 5

### 5. ANÁLISIS COMPARATIVO

El análisis comparativo de gases deberá demostrar una disminución de los contaminantes; monóxido de carbono, hollín e hidrocarburos crudos que serán símbolos de combustión más completa, la disminución de óxidos de nitrógeno excedentes que ayudara a tener una economía de combustible por no tener que calentar aire no necesario, la disminución del trióxido de azufre, ya mencionado ante y lo importante, el incremento del dióxido de carbono que será este, proporcional al incremento de la producción sea de vapor o producto terminado y también proporcional a la economía del combustible.

También se obtendrá un incremento en la eficiencia técnica de la caldera.

Todos los beneficios podrán ser observados como la limpieza en tanques, ductos, filtros, quemadores, vanadatos, chimeneas, además del aumento de producción, disminución de emisiones, etc.

También la mejora en color, calidad y estabilidad de flama y facilidad en la carburación.

		<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>
<b>O2</b>	<b>%</b>	9	5 - 7
<b>CO</b>	<b>ppm</b>	20	3 - 5
<b>Eff</b>	<b>%</b>	82	84 - 86
<b>CO2</b>	<b>%</b>	9	10 - 12
<b>T-Stk</b>	<b>C</b>	230	210
<b>EA</b>	<b>%</b>	60	40 - 50

## 5. 1 ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

Para determinar la cantidad o concentración de ellos, obtenidos con y sin economizador, midiéndose:

- El dióxido de carbono, es el símbolo de la energía real producida y que siempre hay que buscar un máximo.
- El monóxido de carbono símbolo de combustión incompleta.
- El hollín, combustión incompleta y opacidad de la pluma.
- óxidos de nitrógeno, generador de ozono y pérdida de energía.
- Hidrocarburos crudos y semiquemados, generadores de ozono y pérdidas de energía.
- Eficiencia térmica de la caldera, ver por maximizar.
- Temperatura de salida de gases de combustión.
- Limpieza en tanques de almacenamiento de agua, polímeros y lodos contenidos en el combustible.
- Limpieza en las líneas de combustibles, válvulas y filtros de los que se elimina completamente el mantenimiento.
- Mantenimiento de limpieza en los quemadores.
- Posibles mejoras de diseño, operatividad o facilidades que redunden en una mayor producción, productividad y economía.
- Rendimiento del combustible en toneladas producidas de vapor o cantidad de producto terminado o procesado por litro de combustóleo quemado.
- Cualquier otro dato sugerido por los técnicos y especialista de la empresa.
- Existencia de incrustación de vanadato de sodio.

## 5. 2 EFICIENCIA DE LA CALDERA SIN ADITIVO

Combustible ACEITE # 6		
O2	7,4	%
CO	2	ppm
Eff	85	%
CO2	10,4	%
T-Stk	209	°C
T-Air	27,3	°C
EA	51,4	%
CO(0)	4	ppm
NO	180	ppm
NO2	***	ppm
Nox	***	ppm
SO2	451	ppm
NO(0)	279	ppm
NO2(0)	***	ppm
NOx(0)	***	ppm
SO2(0)	700	ppm

hora:10:43

Combustible ACEITE # 6		
O2	7,6	%
CO	3	ppm
Eff	85,1	%
CO2	10,5	%
T-Stk	216	°C
T-Air	30,3	°C
EA	53,2	%
CO(0)	5	ppm
NO	170	ppm
NO2	***	ppm
Nox	***	ppm
SO2	478	ppm
NO(0)	267	ppm
NO2(0)	***	ppm
NOx(0)	***	ppm
SO2(0)	750	ppm

hora:10:51

### 5.3 EFICIENCIA DE LA CALDERA CON ADITIVO

Combustible ACEITE # 6		
O2	7,2	%
CO	2	ppm
Eff	85,5	%
CO2	10,8	%
T-Stk	211	°C
T-Air	28,8	°C
EA	48,8	%
CO(0)	2	ppm
NO	178	ppm
NO2	***	ppm
Nox	***	ppm
SO2	490	ppm
NO(0)	271	ppm
NO2(0)	***	ppm
NOx(0)	***	ppm
SO2(0)	745	ppm

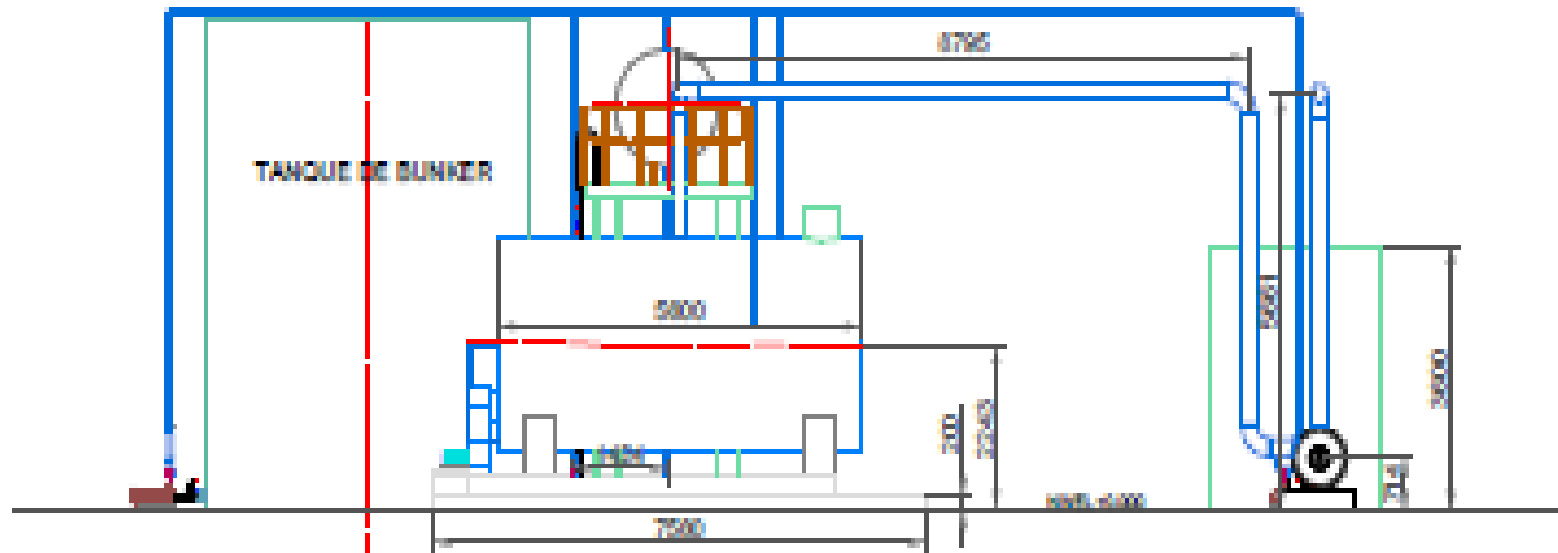
hora:10:46

Combustible ACEITE # 6		
O2	7,6	%
CO	3	ppm
Eff	85,3	%
CO2	10,5	%
T-Stk	213	°C
T-Air	31,2	°C
EA	53,3	%
CO(0)	4	ppm
NO	170	ppm
NO2	***	ppm
Nox	***	ppm
SO2	465	ppm
NO(0)	267	ppm
NO2(0)	***	ppm
NOx(0)	***	ppm
SO2(0)	730	ppm

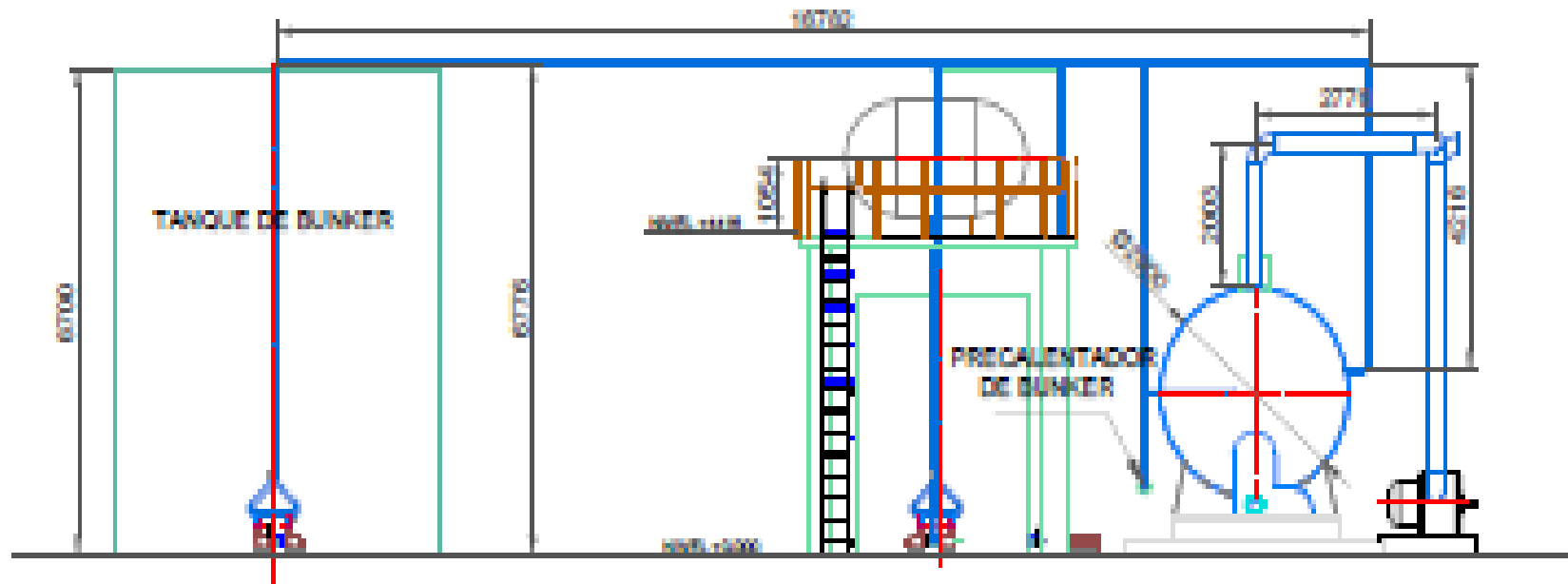
hora:10:53

## **5.4 DIAGRAMA DE PROCESO**

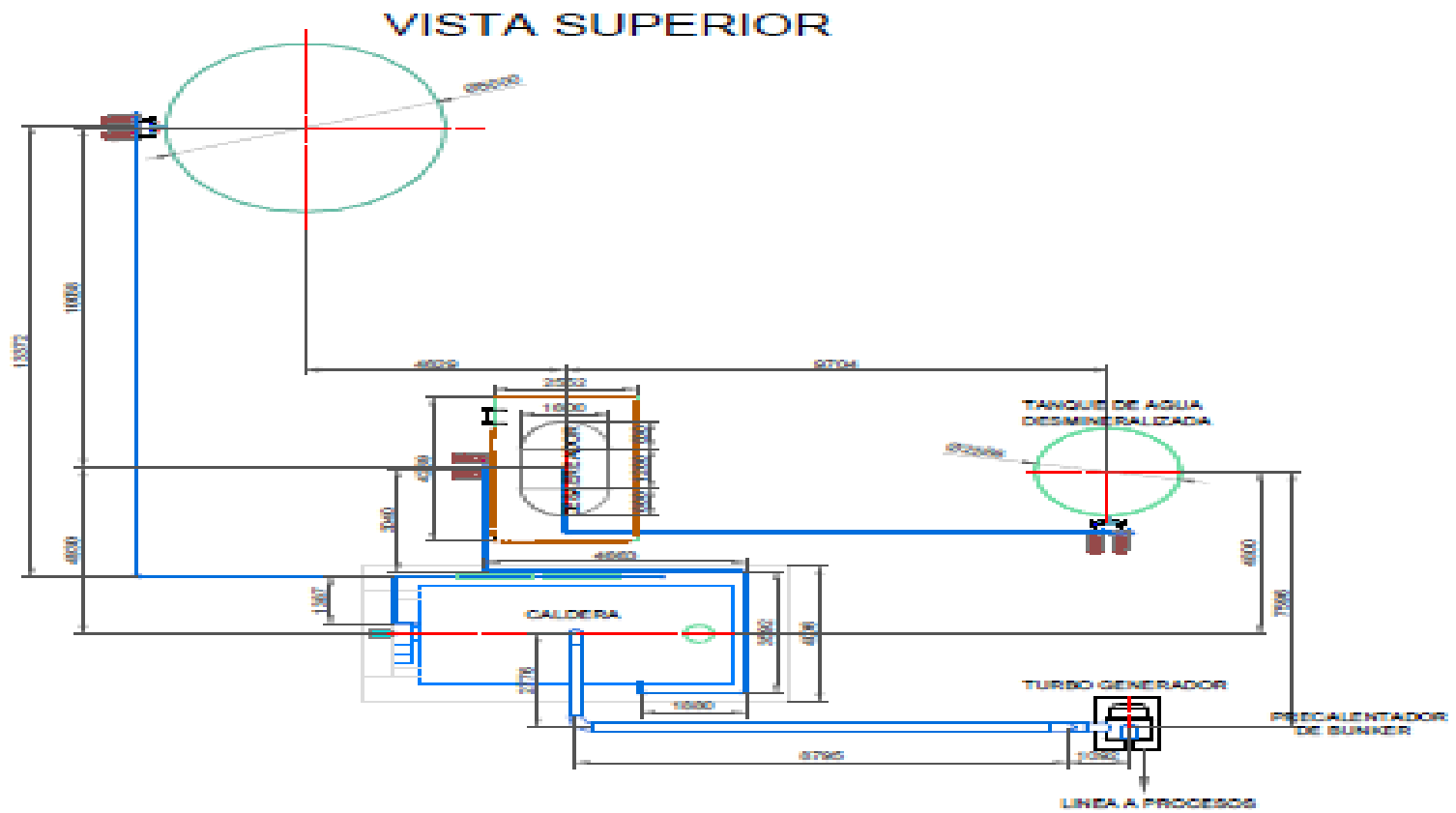
# VISTA FRONTAL



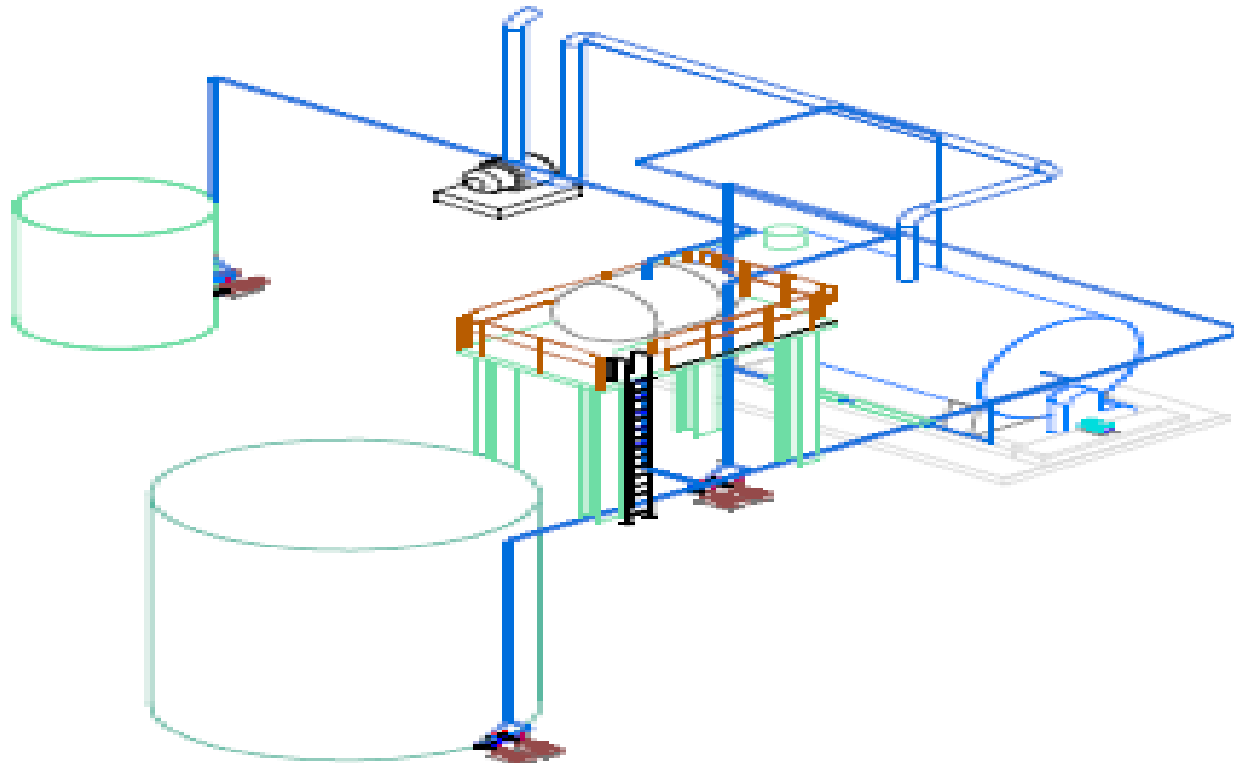
# VISTA LATERAL







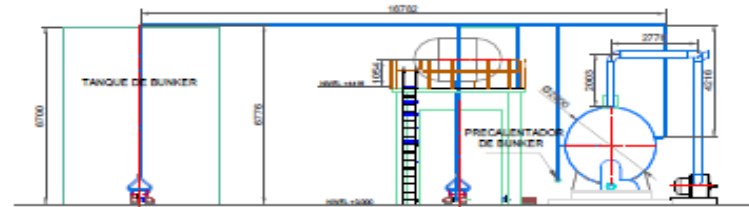
## VISTA ISOMETRICA



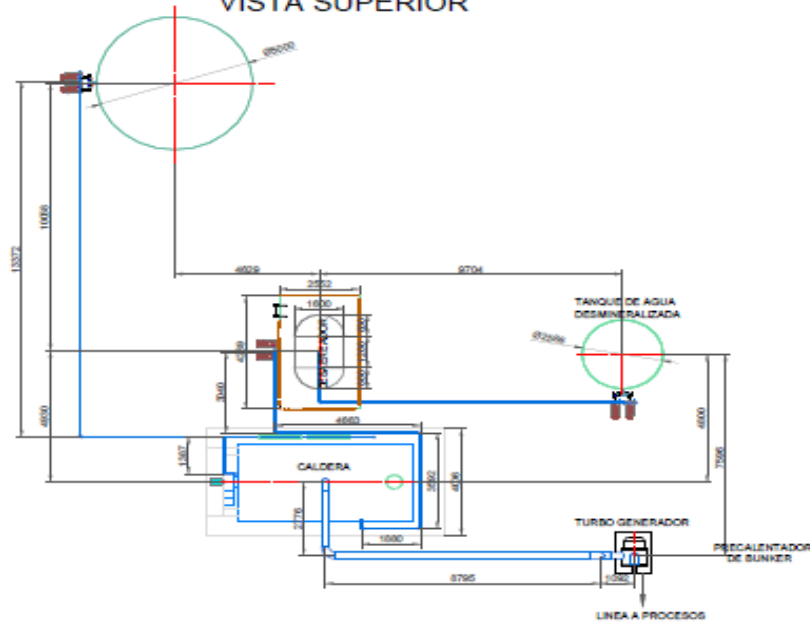
VISTA FRONTAL



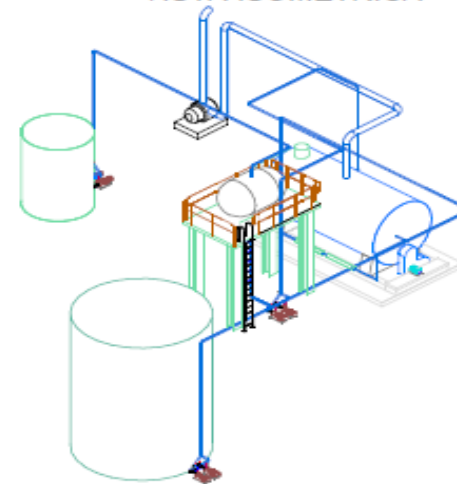
VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMETRICA



UNIVERSIDAD DE MILAGRO

## CONCLUSIONES

- Las pérdidas de eficiencia en la caldera son originadas por el calor arrastrado en la chimenea, por el vapor del agua presente en los gases de combustión, combustible no quemado, el calor perdido a través del aislamiento, incrustación en los tubos de la caldera y el calor que transporta la purga.
- La implementación de equipos que recuperen el calor de los gases de la chimenea, ayuda a mejorar la eficiencia de la caldera en un 5%, disminuyendo por ende los costos de operación.
- Después de los respectivos cálculos, se concluye que la caldera es más eficiente, al instalar un economizador de combustible, que sin economizador.

## **RECOMENDACIONES**

- Dar a conocer a los operadores y jefes de turno, recomendaciones para la operación adecuada de los equipos involucrados en la generación de vapor.
- Crear guías o rutinas de inspección de los equipos, maquinarias y sistemas de seguridad, para monitorear el funcionamiento de la caldera, a fin de reducir paradas innecesarias.
- Instalar un economizador de combustible en la caldera que desecha grandes cantidades de calor en los gases de combustión. Con la finalidad de mejorar la eficiencia de la caldera, tomando en cuenta el tipo de caldera.
- Tomar en cuenta las condiciones de la caldera para hacerle mantenimiento o limpieza con agua a alta presión a los tubos, verificando el grado de incrustación y corrosión, con el fin de evaluar los resultados del tratamiento químico que se le está dando al agua de alimentación.

## BIBLIOGRAFIA

- ❖ **Material biografico de un aditivo para combustible.**
  
- ❖ **Seminario de manejo combustible liquido residual (Bunker) dictado por el Ing. Mojarrango.**
  
- ❖ **Revista Ingenieria Quimica Año 5to N.- 10 septiembre 1990 por el Ing. Mojarrango.**
  
- ❖ **Material bibliográfico del combustible utilizado en la caldera de la Empresa Destilera de Alcohol.**

## ANEXO

### Calderos



FIG. 1



FIG. 2

Placa

### QUEMADOR



FIG. 3

### PRE CALENTADORES DE AIRE



FIG. 4

**INDICADORES DE NIVEL**



FIG. 5

**VALVULAS DE SEGURIDAD**



FIG. 6

**Tanques de almacenamiento**

**Tanque diario**



FIG. 7



**Bombas de trasiego**

**Filtro 1**



FIG. 8

**Pre calentador eléctrico**



FIG. 9 Control de la combustión

<b>Combustible ACEITE # 6</b>		
O2	7,4	%
CO	2	ppm
Eff	85	%
CO2	10,4	%
T-Stk	209	°C
T-Air	27,3	°C
EA	51,4	%
CO(0)	4	ppm
NO	180	ppm
NO2	***	ppm
Nox	***	ppm
SO2	451	ppm
NO(0)	279	ppm
NO2(0)	***	ppm
NOx(0)	***	ppm
SO2(0)	700	ppm

hora:10:43