



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica



“EVALUACION DE LA COMBUSTION EN LOS
GENERADORES DE VAPOR DE LAS INDUSTRIAS
LOCALIZADAS EN GUAYAQUIL”

INFORME TECNICO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

José Eduardo Leal Chantong

Guayaquil - Ecuador

1989

DECLARACION EXPRESA
DEDICATORIA

MEMORIO

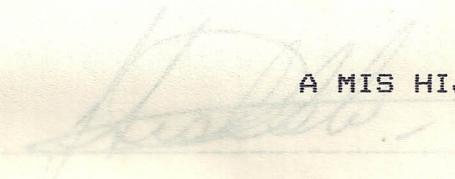
Este informe tiene por objeto la evaluación de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de un ingeniero en mecánica.

El presente informe se elabora mediante la colaboración de:
A MIS PADRES

A MIS HERMANDOS

A MI ESPOSA

A MIS HIJAS

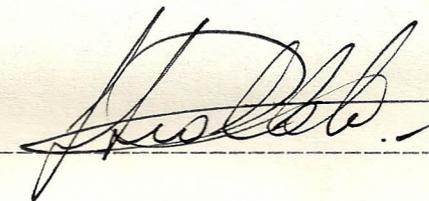

José Eduardo Leal Chantón

DECLARACION EXPRESA

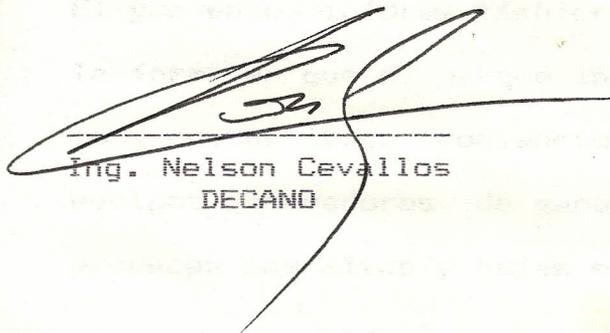
DECLARO QUE:

" Este Informe Técnico corresponde a la resolución de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la Ingeniería Mecánica".

(Reglamento de Graduación mediante la elaboración de Informes Técnicos).



José Eduardo Leal Chantong



Ing. Nelson Cevallos
DECANO



Ing. Ernesto Martinez L.
DIRECTOR INFORME



Dr. Alfredo Barriga
MIEMBRO TRIBUNAL

INDICE GENERAL

RESUMEN

El presente informe técnico tiene como objetivo analizar la forma en que el parque industrial de Guayaquil utiliza los combustibles convencionales Diesel y Bunker en los equipos generadores de vapor, y analiza las causas que producen las altas y bajas eficiencias de combustión.

La investigación ha sido desarrollada a partir de varias evaluaciones realizadas con equipo analizador de gases de combustión en las industrias representativas del sector, las cuales tienen capacidades instaladas que van desde 100 BHP hasta más de 3000 BHP.

El trabajo concluye dando recomendaciones prácticas con las cuales se puede obtener óptimas condiciones de la combustión, con lo que se contribuye a disminuir las pérdidas de energía.

INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

ANTECEDENTES

1.- PRINCIPIOS DE COMBUSTION

1.1. Parámetros a determinar en la combustión de los generadores de vapor.

1.2. Factores que intervienen en la pre-combustión.

1.3. Factores que intervienen en la combustión.

1.4. Factores que intervienen en la post-combustión.

2.- EQUIPO UTILIZADO EN EL ANALISIS DE COMBUSTION

2.1.- Principio de operación y mediciones.

2.2.- Medición de O₂.

2.3.- Medición del CO.

2.4.- Medición de la temperatura de gases.

3.- EVALUACION INDUSTRIAL

3.1.- Industrias seleccionadas para la evaluación.

3.2.- Cantidad y tipo de combustible empleados.

3.3.- Resultados de pruebas realizadas.

4.- ANALISIS DE RESULTADOS

4.1.- Análisis de las pruebas realizadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

APENDICES

NOMENCLATURA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANTECEDENTES

El desarrollo industrial que tiene en la actualidad nuestro país hace que los consumos de combustible aumenten en forma considerable. La energía requerida para efectuar los diversos procesos es obtenida en un mayor porcentaje de los combustibles líquidos Diesel y Bunker, provenientes de las reservas hidrocarburíferas de nuestro suelo.

Es por todos conocido que nuestras reservas de petróleo, que son recurso natural no renovable, tienen un corto tiempo de vida, nuestra producción hidrocarburífera aún es suficiente para suplir la demanda, el precio actual de los combustibles líquidos es considerado aún barato, sumado a esto la facilidad de obtención, manejo y almacenamiento, hace que las industrias lo prefieran como fuente de energía.

NO Preocupados por este creciente aumento, nuestra Compañía Q-VAR Ecuatoriana S.A., decidió efectuar evaluaciones de la combustión en el primer trimestre del año 1988, dichas evaluaciones fueron realizadas en industrias representativas ubicadas en Guayaquil, que tienen calderos pirotubulares en las cuales se utilizan el diesel y/o bunker como combustibles.

Para efectuar la investigación se usó un equipo analizador de gases de combustión portátil, desarrollado por la Neotronics Energy Conservation Division denominado PCO modelo 961, del cual se obtienen los datos necesarios

para la evaluación.

Con los resultados de esta investigación se pudo averiguar si se dá o no el uso racional al combustible, las causas y problemas que se tienen en el sector consumidor, y si ha existido la conciencia de lo que significa ahorro energético, que se necesita en estos momentos poner en práctica.

La capacidad de los motores evaluados va desde los 100 HP hasta los 500 HP. Las marcas que se han evaluado son: General Motors, Ford, Chrysler, y otras.

Para poder controlar la operación de las instalaciones generadoras de vapor se necesitan controlar los siguientes parámetros principales:

- Flujo de combustible
- Temperatura del combustible
- Presión del aire o vapor para atomización
- Flujo de aire secundario

La presión de vapor juega un papel importante en la combustión. Los quemadores de vapor vienen diseñados para operar en un rango de presión con los cuales se puede lograr óptimo

064

CAPITULO I

PRINCIPIOS DE COMBUSTION

1.1. PARAMETROS A DETERMINAR EN LA COMBUSTION DE LOS GENERADORES DE VAPOR.

Los equipos generadores de vapor, en los cuales hemos efectuado nuestra investigación, son del tipo pirotubular, la mayoría de ellos tienen reguladores automáticos, en los cuales la producción de vapor es variable, dependiendo esto de la demanda que se tenga, por lo tanto los consumos de combustible son también variables.

La capacidad de los calderos evaluados va desde los 100 BHP hasta los 800 BHP. Las marcas que se han encontrado instalados son CLEAVER BROOKS, YORK SHIPLEY, KEWANEE, DISTRAL y otros.

Para poder controlar la operación en las instalaciones generadoras de vapor es necesario considerar los siguientes parámetros principales:

- La presión del combustible
- Flujo de combustible
- Temperatura del combustible
- Presión del aire o vapor para atomización
- Flujo de aire secundario

La presión de combustible juega un papel importante en el proceso de la combustión, los quemadores de los equipos vienen diseñados para operar en un rango de presión con los cuales se puede lograr óptimas

combustiones.

Normalmente se usan bombas de piñones, para alcanzar las presiones requeridas, a las cuales debe llegar el combustible precalentado y filtrado; incorporado a la línea de combustible se tienen reguladores de presión, con los que se puede fijar la presión de operación.

El flujo de combustible.- Está controlado por reguladores, los cuales permiten el paso de la cantidad precisa de combustible que se requiere cuando el caldero efectúa la modulación.

La temperatura del combustible.- Es necesaria para obtener buena atomización. Se usan intercambiadores con resistencias eléctricas y con inyección de vapor; normalmente el diesel no se lo calienta, se lo inyecta a temperatura ambiente. Las instalaciones que usan el bunker lo calientan a temperaturas superiores a 100°C antes de ingresar a la cámara de combustión.

Presión de aire o presión de vapor para atomización.- La presión de aire, también llamado aire primario de combustión es la que se necesita para el proceso de atomización del combustible.

En las calderas vienen incorporados compresores con reguladores de presión, en las cuales se presuriza el aire del ambiente hasta alcanzar la presión requerida.

En otras instalaciones se emplea directamente el aire de los compresores de planta, el cual pasa a través de reguladores y filtros antes de ingresar a la cámara de combustión.

Presión de vapor para atomización.- Existen instalaciones en las que se utiliza el vapor para la atomización del combustible; pero es necesario el uso de un regulador de presión para fijar la presión que se requiere. Tiene su desventaja, ya que inyecta agua al proceso de combustión.

Flujo de aire secundario.- Es la cantidad de aire requerida para realizar la combustión. Los quemadores de los calderos traen incorporados los sopladores, los cuales introducen grandes volúmenes de aire, que son controlados por medio de compuertas, que se regulan por medio de mecanismos acoplados al modulador del quemador.

Los sopladores son ventiladores centrífugos movidos por motores de velocidad no variable.

Existen equipos que precalientan el aire antes de ingresar a la cámara de combustión usando para ello un intercambiador de calor, por cuyo interior pasa vapor de agua.

1.2. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PRE-COMBUSTION

Los factores que intervienen en la pre-combustión de los combustibles Diesel y Bunker son los siguientes:

- Almacenamiento del combustible
- Precalentamiento del combustible
- Filtración de impurezas

1.2.1. ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

De los dos combustibles líquidos el que presenta más dificultades es el bunker. El diesel por ser un combustible de poca viscosidad a temperatura ambiente es más fácil almacenarlo.

Almacenamiento del diesel Normalmente este combustible no trae grandes impurezas, se lo almacena en tanques con capacidad suficiente para abastecer a la planta durante varias semanas de producción, en ellos se debe instalar líneas de purga para eliminar el agua y pequeñas impurezas que se depositan en el fondo. De esta manera se puede enviar un combustible más puro al quemador.

Almacenamiento de Bunker Por ser un residuo de la destilación del petróleo y presentar viscosidades a altas temperaturas ambiente, en el almacenamiento se debe considerar los siguientes aspectos: (Ver figura #1)

- a. Tanques de almacenamiento para tiempo prolongado.

Cuando se almacena este combustible por

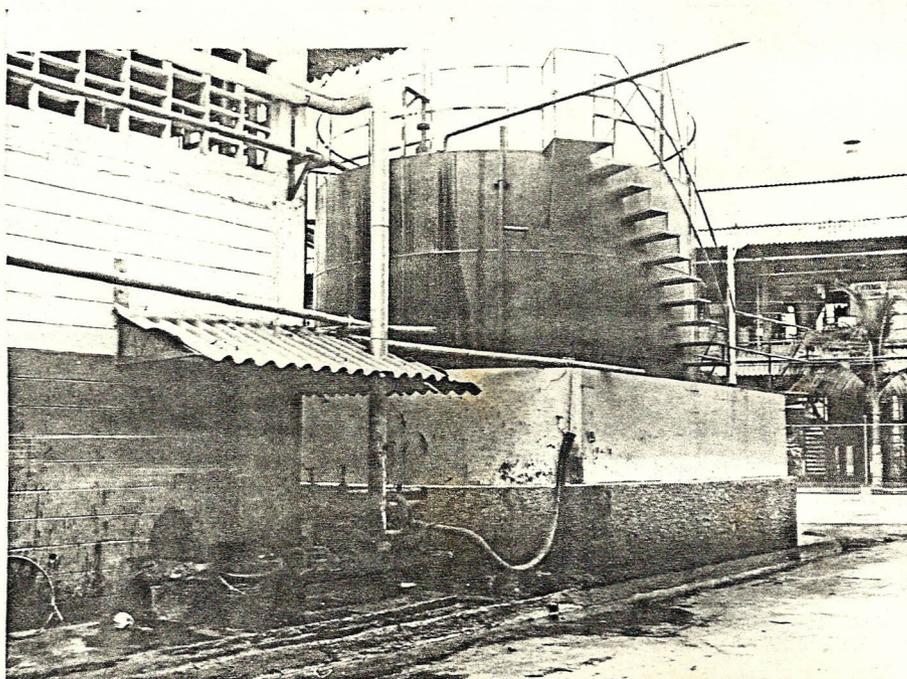


Figura #1.- Almacenamiento de Bunker

tiempo prolongado se presentan los problemas de estratificación y formación de gomas, la gran cantidad de impurezas que trae van sedimentándose en el fondo, las gomas se adhieren en las paredes y fondo del tanque, lo cual va reduciendo la capacidad del mismo, y causa problemas en el bombeo. También se debe considerar el problema de corrosión producido por las sales corrosivas disueltas en el agua especialmente el cloruro de sodio que viene mezclado con el combustible.

Para eliminar estos problemas, es necesario diseñar los tanques con un buen sistema de purgas, con precalentadores que mantengan temperaturas superiores a los 40°C, tratar de recircular el combustible y hacerlo rotar continuamente. Además deben programarse limpiezas periódicas del interior del mismo.

b. Tanques para uso diario.

Se lo utiliza para almacenar cantidades pequeñas de combustible, con el objeto de calentarlo a una mayor temperatura, aquí se lo homogeniza con recirculación constante. El volumen de estos tanques debe ser suficiente para abastecer el consumo durante 24 horas de operación de los equipos.

Para el calentamiento se utiliza serpentines

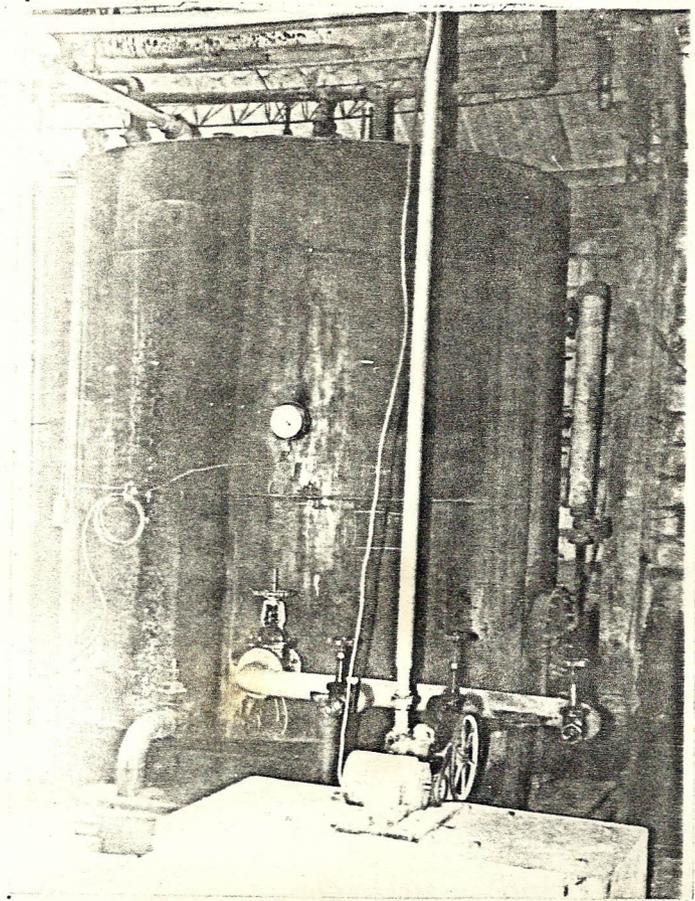


Figura #2.- Tanques para uso diario

o tanques encamisados, por cuyo interior circula vapor. En estos recipientes también se tiene problemas de corrosión debido a las sales corrosivas que trae el combustible disueltas en el agua.

1.2.2. PRECALENTAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

Las altas viscosidades que presenta el bunker a temperatura ambiente hace imprescindible el calentamiento previo a su llegada al quemador. Para poder bombear este fluido desde el tanque de almacenamiento al tanque de uso diario, es necesario calentarlo sobre los 40°C de lo contrario se tiene problema en los equipos de bombeo.

En el tanque diario el combustible alcanza mayor temperatura, por ser de poco volumen el precalentamiento puede llegar a los 70°C en corto tiempo. Es necesario tener recirculación en el bunker para facilitar su calentamiento, para esto se aprovecha el retorno del exceso del combustible enviado al quemador.

El último equipo de calentamiento por el cual debe pasar el bunker para alcanzar la temperatura correcta es el intercambiador de calor. Se usan resistencias eléctricas y/o vapor para suministrar el calor que se

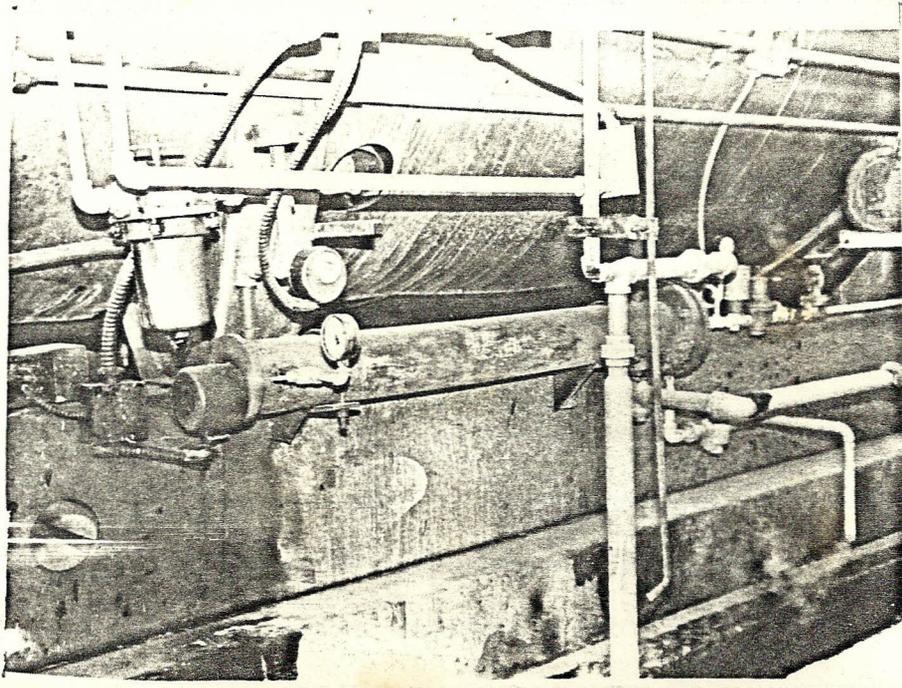


Figura #3.- Precalentamiento del Bunker

transfiere al combustible. El control de la temperatura se la efectúa por medio de termostátos acoplados al equipo. (Fig. #3).

El calentamiento del bunker no debe ser excesivo, porque presenta problemas de craqueo o coquización en el equipo de precalentamiento, además causa taponamiento al quemador. También hay que considerar la pérdida de calor y de los componentes volátiles que se evaporan.

El subcalentamiento produce fallas en la pulverización, causa la combustión incompleta, se forma hollín con lo cual se incrementa el consumo de combustible. El rango recomendable para combustionar el bunker es de 90°C a 120°C.

Los calderos que operan con diesel no necesitan tener sistemas de precalentamiento sofisticado. Se obtiene buena atomización a temperatura ambiente por la baja viscosidad del combustible.

En la programación del mantenimiento

1.2.3. FILTRACION DE IMPUREZAS EN EL COMBUSTIBLE

En la pre-combustión debemos considerar la eliminación de impurezas que deben ser retenidas antes de llegar el combustible al quemador.

El bunker por ser un residuo de la destilación del petróleo se presenta con gran cantidad de materias extrañas, los que al llegar al quemador ocasionan problemas en la combustión.

Una parte de estas impurezas son eliminadas en las purgas de los tanque de almacenamiento, allí se eliminan lodos, piedras, aguas y demás elementos que sedimentan en el fondo del depósito.

En las líneas de transportación del combustible se instalan filtros de mallas metálicas de diversos tamaños, para detener impurezas pequeñas que puedan obstruir las boquillas del atomizador. Ver fig. #4.

Normalmente se instalan filtros en la succión de las bombas de combustible, teniendo uno de reserva, también se tienen filtros justo antes de entrar al quemador, los cuales detienen las impurezas más pequeñas, que dejan pasar los filtros anteriores.

En la programación del mantenimiento preventivo debe incluirse limpiezas periódicas de los filtros, las instalaciones que operan en forma continua, deben tener en cada etapa un filtro de reserva, para operarlos alternativamente.

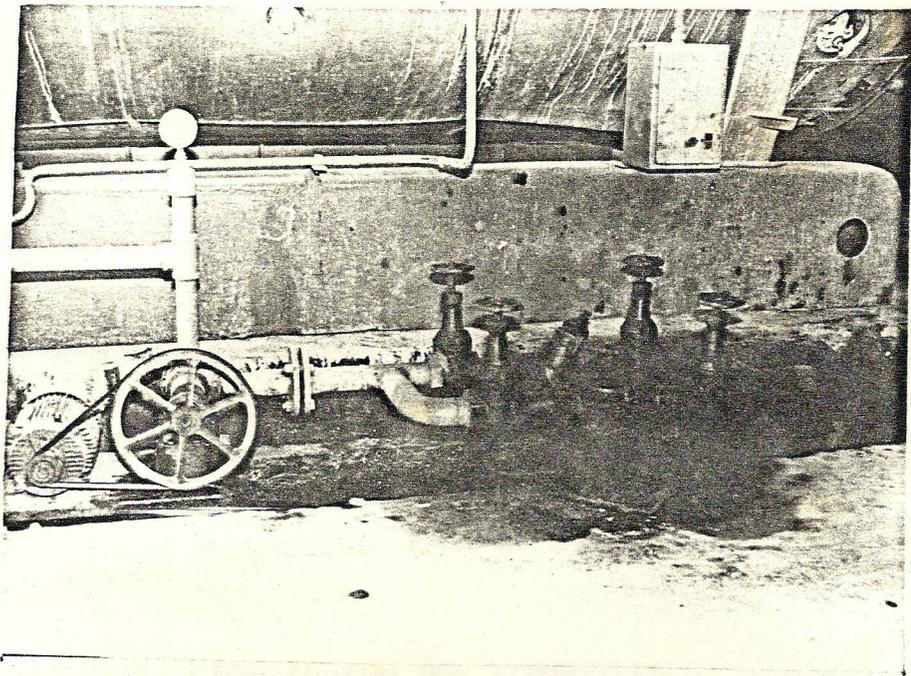


Figura #4.- Filtros de combustible

Los problemas que se presentan cuando los filtros se obstruyen son los siguientes:

- Pérdida de llama, ocasiona parada de la producción de vapor,
- Intermittencia de llama, produce pulsaciones de combustión y ocasiona daños al caldero.

1.3. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA COMBUSTION

Los calderos en los que hemos realizado las evaluaciones vienen con quemadores de regulación automática. Los factores que intervienen en el proceso de combustión para este tipo de quemadores son las siguientes:

- Atomización del combustible
- Aire secundario

1.3.1. ATOMIZACION DEL COMBUSTIBLE

La medida característica de la atomización, que define la calidad de la misma, es la "Superficie específica", se la define como la suma de superficie de todas las gotitas contenidas en un centímetro cúbico de combustible emulsionado en aire. Una regulación correcta del atomizador se logra cuando se obtiene la distribución uniforme de las partículas a la salida del mismo. Una distribución desigual da lugar a

zonas de la llama con exceso de combustible y otras con exceso de aire.

Para combustibles líquidos las variables a considerar en la atomización son:

- El caudal y presión de aire o vapor
- Flujo y presión del combustible
- Viscosidad del combustible

El caudal y presión de aire o vapor.- La cantidad de presión de aire llamado aire primario, es obtenido de los compresores, en los cuales se puede regular el flujo y presión necesario para atomizar el combustible que llega al quemador.

Cuando se utiliza vapor para atomización se debe regular el caudal y presión de operación, tratando de inyectar en lo posible vapor seco. Ver fig. #5.

En la práctica la presión y caudal es regulado observando la forma de la llama obtenida al arrancar el quemador.

Flujo y presión de combustible.- Al igual que el aire primario, la cantidad y presión del combustible, deben ser bien regulados para obtener atomización correcta.

Los manuales del fabricante recomiendan rangos de operación que dependeran del tipo y tamaño de la boquilla de atomización, pero ya

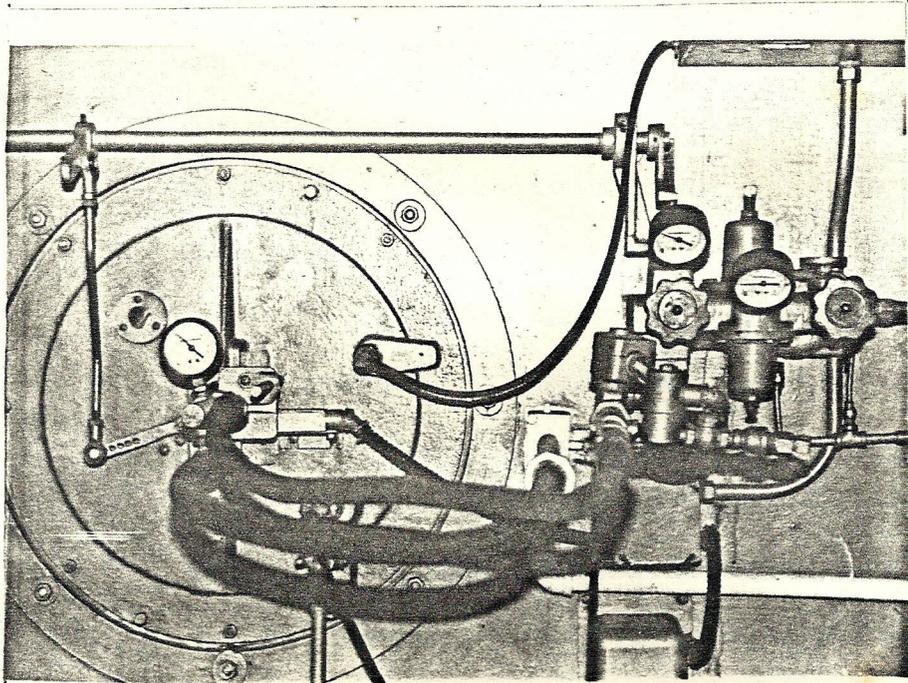


Figura #5.- Equipo de atomización

en funcionamiento, deben ser calibrados dependiendo de la calidad del combustible utilizado.

La observación de la llama ayuda a definir si se inyecta el flujo correcto de combustible, cuando se tiene llamas largas, implica un exceso de flujo, llamas cortas implica poco flujo, cuando se inyecta el combustible a presiones excesivas se obtiene una atomización incorrecta, las partículas de combustible que resultan del atomizado son muy grandes, causando problemas para combustionarse. Con presiones bajas no se logra introducir suficiente cantidad de combustible, las partículas atomizadas, salen de diferentes tamaños, produciendo llamas cortas.

Viscosidad del combustible.- La viscosidad es una propiedad de los fluidos que mide la resistencia al flujo, o es un valor de la fricción interna entre capas adyacentes de un mismo fluido. La viscosidad depende de la temperatura, a mayor temperatura menor viscosidad en el fluido.

El diesel por ser un combustible líquido de baja viscosidad no presenta problemas en el proceso de atomización, se lo inyecta al

quemador con la temperatura que tiene en los tanques de almacenamiento.

El bunker que es un fluido de viscosidad alta a temperatura ambiente requiere de calentamiento para hacerlo más fluido y facilitar su movimiento.

En el proceso de atomización es necesario darle al combustible la mayor fluidez posible, con el objeto de poder romper la resistencia de las capas y lograr su división en partículas lo más pequeñas posible.

Cuando se inyecta el bunker a temperaturas bajas, se obtiene en la atomización gotitas de diámetros grandes, produciendo combustión defectuosa, no se logran quemar completamente

en la cámara de combustión y quedan como combustible inquemado. La temperatura mínima recomendada es 90°C.

Temperaturas superiores a los 120°C, en la atomización producen la coquetización del bunker, lo cual causa el taponamiento de las boquillas y no permiten el ingreso suficiente de combustible.

1.3.2. AIRE SECUNDARIO LIN Y DEPOSITOS

La mayoría de los generadores de vapor analizados, emplean ventiladores centrífugos

para introducir en la cámara el aire de combustión y producir el tiro forzado del equipo. En algunos equipos el flujo de aire presurizado es calentado antes de su ingreso al hogar, usando para ello un intercambiador de calor.

La regulación del flujo de aire se lo hace de forma automática, a través de compuertas acopladas al sistema de modulación. Fig. #6.

Para cada modulación del quemador se debe regular la cantidad de aire requerida, tratando en lo posible eliminar los excesos o insuficiencias que producen malas combustiones.

1.4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA POST-COMBUSTION

Los factores a considerar en la post-combustión para los generadores de vapor analizados son los siguientes:

- Formación de hollín y depósitos
- Corrosión en las zonas de altas y bajas temperaturas
- Contaminación atmosférica

1.4.1. FORMACION DE HOLLIN Y DEPOSITOS

La formación de hollín y depósitos se obtienen en la zona de post-combustión como

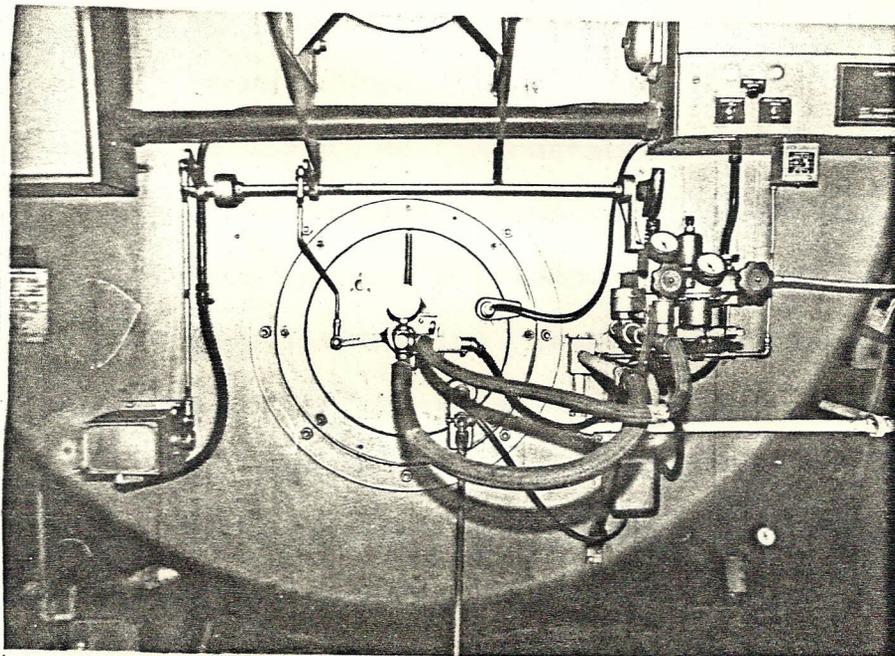


Figura #6.- Compuertas acopladas al sistema de modulación

resultado de combustiones incompletas, que son producto de malas atomizaciones y falta de aire de combustión. También son causas la calidad de combustible, que trae concentraciones altas de vanadio e impurezas, a la cual se asocia la formación de sustancias semilíquidas pegajosas incrustantes.

La capa de incrustación y hollín que se presenta en el lado del fuego del caldero hace perder eficiencia térmica al generador, la salida de los gases de combustión es a mayor temperatura, por lo que se incrementa el consumo de combustible.

En ocasiones se presenta el problema de incrustaciones con mayor magnitud que la formación de hollín, debido a que se utiliza un combustible no homogenizado o se ha combustionado residuos precipitados en el fondo del tanque de almacenamiento.

1.4.2. CORROSION EN ZONAS DE ALTA Y BAJA TEMPERATURA

La corrosión es una reacción electroquímica, que es muy rápida cuando el agente corrosivo es líquido, y es menos problemático cuando el agente corrosivo se presenta en fase sólida.

En las zonas de alta temperatura, los

depósitos que se forman inmediatamente después de realizarse la combustión, debido a los contaminantes que están en el combustible, presentan problemas de corrosión (zona radiación, supercalentadores, convección). Los depósitos son formados como consecuencia de los bajos puntos de fusión de los óxidos y complejos originados en el momento de la combustión por el vanadio, azufre, sodio, oxígeno y las cenizas, estos compuestos llegan a la superficie de los tubos en forma semi-líquida pegajosa y son difíciles de remover.

En las zonas de baja temperatura la corrosión se presenta por la presencia del trióxido de azufre (SO_3), el cual reacciona con el vapor de agua para formar el ácido sulfúrico H_2SO_4 , este ácido se puede condensar sobre las superficies metálicas que tengan temperaturas por debajo del "Dew-point" (punto de rocío).

El ácido por encontrarse en un ambiente favorable para su reacción es muy activo, además es pegajoso.

El trióxido de azufre SO_3 se forma en el momento de la combustión al pasar el SO_2 por acción del oxígeno atómico altamente activo presente allí, esto se presenta en la zona de

alta temperatura. Otra parte del SO_3 se forma en las superficies metálicas debido a la acción catalizadora del V_2O_5 (Pentóxido de Vanadio) y del trióxido de hierro (Fe_2O_3) que hacen reaccionar el SO_2 con el oxígeno molecular (O_2), para formar el SO_3 .

1.4.3. CONTAMINACION ATMOSFERICA

Los principales contaminantes del aire que se emiten a través de las chimeneas como resultado del proceso de combustión son los residuos de combustible no quemado, en los cuales se incluye Oxido de azufre (SO_2 y SO_3), Monóxido de carbono (CO), Oxidos de nitrógeno (NO y NO_2) y restos de combustible. Los óxidos de azufre son contaminantes que afectan la salud humana, una vez emitidos a la atmósfera tienen una vida promedio de aproximadamente 4 días. Bajo la acción de los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos puede convertirse en ácido sulfúrico (SO_4H_2) formando una niebla ácida.

La emisión de SO_2 depende del contenido de azufre en el combustible, en nuestro medio el bunker contiene aproximadamente 2.7%.

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, tiene menos peso que el aire pero

sin sabor. Es considerado como un gas muy peligroso, debido a que se combina fácilmente con la hemoglobina de la sangre, reduciendo la oxigenación de los tejidos.

La emisión de monóxido de carbono (CO) aumenta cuando la combustión se realiza con deficiencias de aire y con temperaturas elevadas.

La contaminación de los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), que son formados durante la combustión, produciendo el SMOK, también son oxidantes fotoquímicos, los cuales afectan negativamente la salud humana.

Se forma por disociación a altas temperaturas del N₂ del aire de combustión y la oxidación de los compuestos nitrogenados del combustible. Es decir la concentración de NO en los gases de combustión aumenta con la temperatura y con la presencia de más oxígeno.

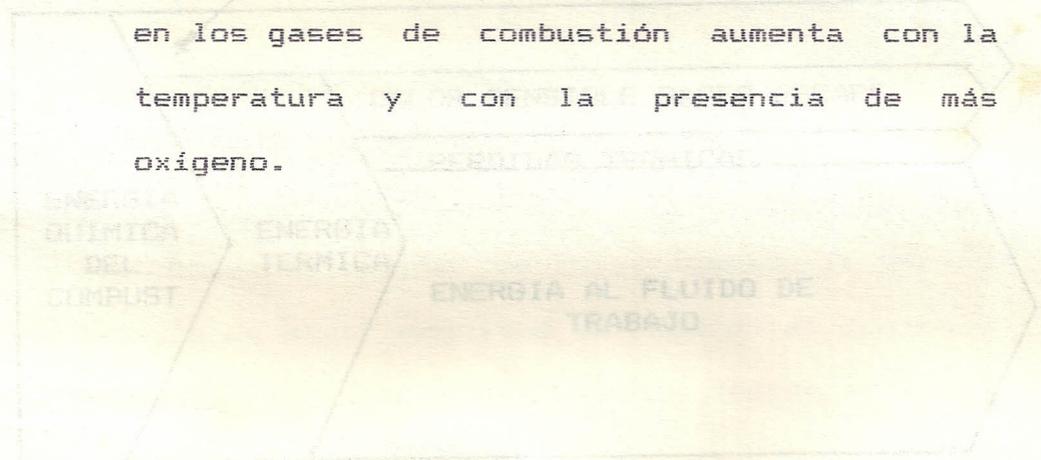


FIGURA #7.- DIAGRAMA DE SANKEY

CAPITULO II

EQUIPO UTILIZADO EN EL ANALISIS DE LA COMBUSTION

2.1. PRINCIPIOS DE OPERACION Y MEDICIONES

Las industrias seleccionadas para la evaluación de la combustión, tienen unidades de generación de vapor del tipo pirotubular, con quemadores de modulación automática, que controlan el paso de combustible y aire de acuerdo a la demanda de vapor. Un análisis global desde el punto de vista energético para el proceso de combustión en este tipo de calderos se muestra en el siguiente diagrama de SANKEY. (Figura #7).

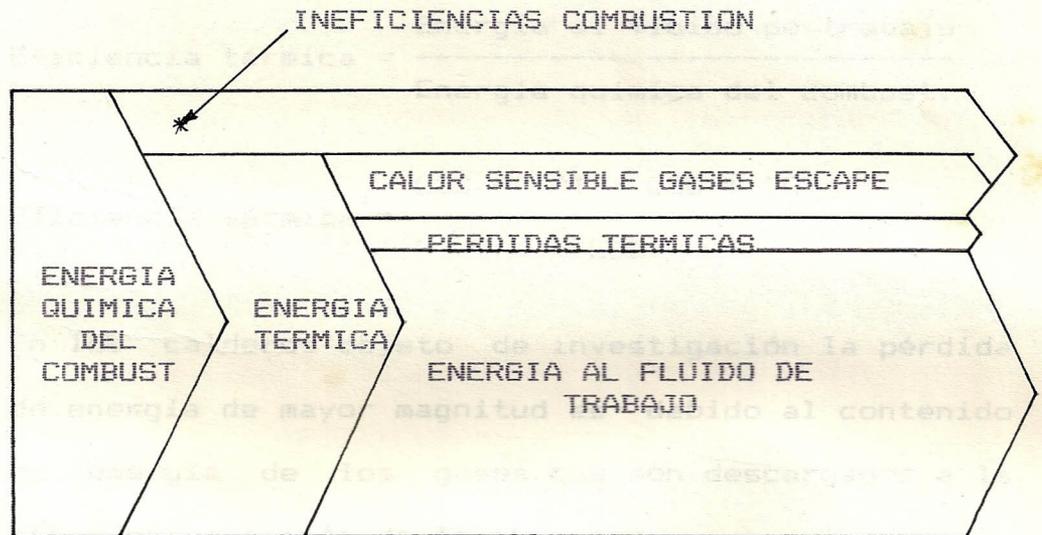


FIGURA #7.- DIAGRAMA DE SANKEY.

El diagrama muestra los porcentajes de energía inicial del proceso, el porcentaje de energía final obtenida en el proceso y el porcentaje de pérdidas. En este tipo de diagrama solo la ordenada representa la magnitud (energía).

El balance energético para el generador de vapor es el siguiente:

$$EQC = EFT + PT + CSG + IC$$

EQC = Energía química del combustible

EFT = Energía fluido de trabajo

PT = Pérdidas térmicas

CSG = Calor sensible de los gases

IC = Ineficiencia combustión

La eficiencia térmica de la instalación se la calcula de acuerdo a la siguiente relación:

$$\text{Eficiencia térmica} = \frac{\text{Energía al fluido de trabajo}}{\text{Energía química del combust.}}$$

$$\text{Eficiencia térmica} = \frac{EQC - (PT + CSG + IC)}{EQC}$$

En los calderos objeto de investigación la pérdida de energía de mayor magnitud es debido al contenido de energía de los gases que son descargados a la atmósfera a través de la chimenea.

Las pérdidas a considerar en los gases de combustión son las siguientes:

a. Pérdidas debido al contenido de calor de los

gases secos de oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno, óxidos de azufre, etc.

- b. Pérdidas de calor para evaporar la humedad y el hidrógeno que contiene el combustible (calor latente).
- c. Pérdidas por combustible no quemado, producción de monóxido de carbono.

- a. Las pérdidas debido al contenido de calor de los gases de oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno, óxidos de azufre, influyen la cantidad de exceso de aire y la temperatura de los gases a la salida. Estas pérdidas pueden ser evaluadas con la siguiente fórmula, considerando el poder calorífico superior (PCS) del combustible.

$$\% \text{ pérdida de calor} = \frac{K_1 (\Delta T \text{ } ^\circ\text{C})}{21 - \% \text{ O}_2}$$

Donde ΔT es la diferencia de temperatura entre aire de entrada y salida de gases.

$\% \text{ O}_2$ = Porcentaje de oxígeno en los gases de combustión.

$$K_1 = 0.759 \frac{\text{PCI (CV)}}{\text{PCS (CV)}} = 0.712$$

- b. Estas pérdidas son dependientes de la cantidad de agua presente en el combustible, del contenido de hidrógeno y de la temperatura de los gases a la

salida. La siguiente fórmula nos permite evaluar estas pérdidas.

$$\% \text{ pérdidas calor} = \frac{A+B(2460 - 4.2T_{\text{aire}} + 2.1T_{\text{gases}})}{\text{PCS KJ/Kg}}$$

Donde:

A = % peso agua en combustible

B = % peso hidrógeno en combustible

T_{aire} = temperatura de entrada del aire °C

T_{gases} = temperatura de salida de los gases °C

PCS = poder calorífico superior combustible

Para combustibles líquidos de petróleo (Diesel y Bunker) se puede usar la siguiente aproximación.

$$\% \text{ pérdidas de calor} = K_2 (1121.4 + AT \text{ °C})$$

Donde:

$$K_2 = \frac{2.1 (A+B)}{\text{PCS (CV)}} = 0.00512$$

Basado en el PCS = 44181 KJ/Kg

c. La cantidad de energía que se pierde cuando quedan residuos de combustible sin quemar es insignificante, comparado con las pérdidas que producen los excesos de aire. Representan un máximo de 0.05% como pérdidas. Se las debe considerar por los problemas de contaminación que presentan y el efecto aislante que tienen cuando se depositan y sobre las superficies de intercambio.

El equipo utilizado en el análisis de los gases de combustión es un analizador portátil automático, desarrollado por la Neotronics Energy Conservation Division, denominado PCO (Portable Combustion Optimizer) modelo 961. Figura # 8.

Las muestras de gases son tomadas en forma continua, justo a la salida del caldero, determina el porcentaje de oxígeno, la temperatura en grados centígrados, y el contenido de monóxido de carbono en partes por millón (ppm).

La muestra a ser analizada es absorbida del flujo de gases por medio de una bomba de vacío incorporada al equipo, es conducida a través de una manguera flexible, acoplado van los cables de la termocupla. Antes de ingresar los gases al equipo pasan por un filtro separador de humedad. La figura #10 nos muestra el equipo y su forma de tomar la muestra.

El porcentaje de oxígeno y el diferencial de temperatura determinado en la muestra, sirven para calcular la eficiencia de combustión en el caldero.

Los dos valores detectados ($\%O_2$ y ΔT) son relacionados en el programa incorporado al analizador, el cual en forma automática da los resultados de la eficiencia de combustión, usando la siguiente fórmula, válida para los combustibles Diesel y Bunker y considerando su poder calorífico superior.

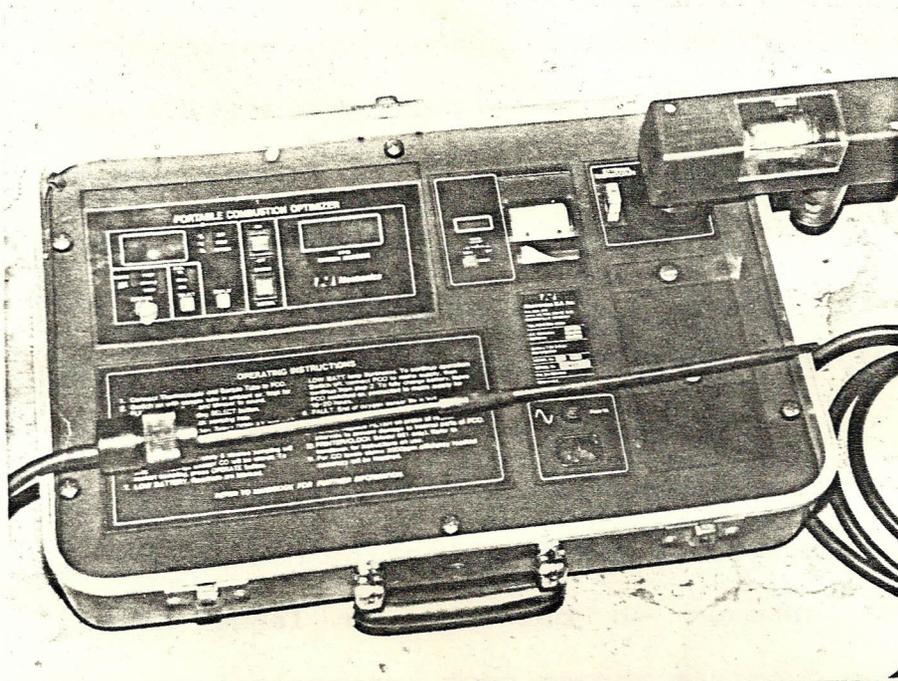


Figura #8.- Analizador portátil automático

% Eficiencia = 100 - (Pérdida de calor gases escape)

$$\% \text{ Eficiencia} = 100 - \frac{K_1 \Delta T}{21 - O_2} + K_2 (1121.4 + \Delta T)$$

Donde: $K_1 = 0.712$

$$K_2 = 0.00512$$

La evaluación de combustión en los calderos, deben ser realizados en condiciones estables de operación, para ello se debe considerar si se genera vapor en bajas, medias o en altas cargas, debido a que la repuesta de análisis del equipo es instantánea (30 segundos).

La calibración del equipo se lo efectua de la siguiente manera:

- a. La señal del sensor de oxígeno se auto calibra con el contenido de oxígeno del ambiente (20.9%).
- b. La señal de monóxido de carbono se calibra automáticamente, debe marcar máximo 5 ppm.

2.2. MEDICION DE OXIGENO (O_2)

Existen dos razones importantes para la determinación del contenido de oxígeno en el flujo de gases de combustión que salen por la chimenea.

- a. Ajuste de la relación aire/combustible
- b. Calcular la cantidad de calor perdido a la atmósfera.

La cantidad de oxígeno contenido en el flujo de gases de combustión se lo puede relacionar

directamente con el exceso de aire de combustión, como se muestra en la figura #9.

Para que el combustible se oxide completamente es necesario que todo el carbono presente en el combustible se combine con el oxígeno para dar dióxido de carbono, todo el hidrógeno se combine con el oxígeno para dar agua y todo el azufre se combine con el oxígeno para dar dióxido de azufre, si esto ocurre la combustión se denomina completa (C.C.).

En la práctica no es posible lograrlo, del proceso de combustión resultan muchos productos intermedios como el monóxido de carbono (CO), hidrógeno que aparece en forma libre o como parte de hidrocarburos sin quemar y otros.

Para el proceso de combustión se utiliza el aire atmosférico el cual contiene 20.9% de oxígeno, 78.03% de nitrógeno y el resto son argón, anhídrido carbónico, hidrógeno, etc. En la combustión solo el oxígeno tiene valor, siendo el nitrógeno un diluyente y carga térmica que se pierde en la atmósfera.

Un proceso de combustión que se realice con exceso de aire produce los siguientes efectos:

- a. Disminuye la temperatura de llama, lo cual causa bajas transferencias de calor.
- b. Se introduce cargas térmicas que producen pérdidas de calor.

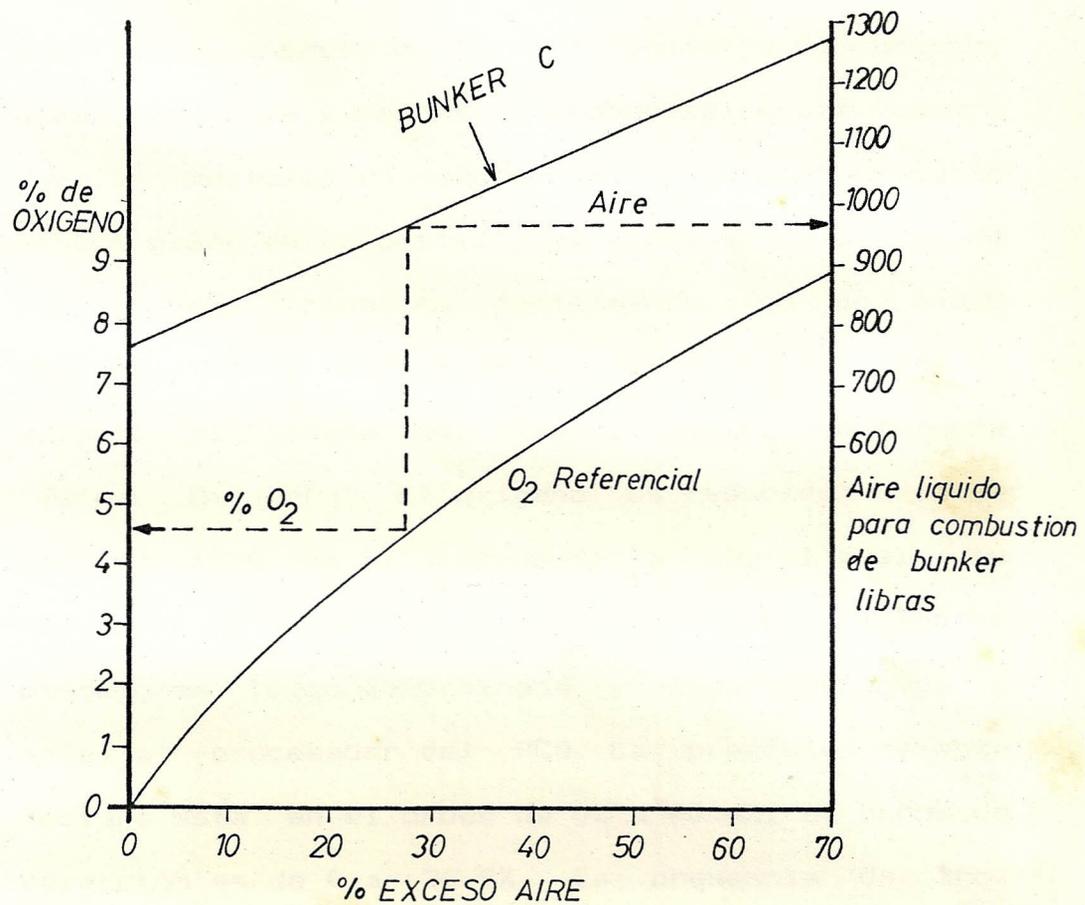


Fig. #9.- Gráfico del exceso de aire Vs. contenido de oxígeno.

Se producen estas pérdidas debido a que el aire entra a la cámara de combustión a temperatura ambiente, y sale del caldero a altas temperaturas. Combustiones con deficiencias de aire produce pérdidas de energía en forma de monóxido de carbono, hidrógeno libre y restos de combustibles sin quemar. Para la medición del porcentaje de oxígeno presente en los gases de combustión, el PCO usa un sensor de oxígeno que consiste básicamente de un ánodo electrolítico y un cátodo de aire. La difusión de oxígeno al cátodo de aire es controlado por una "Barrera Difusora". El oxígeno es reducido a iones de hidróxilos en el cátodo de aire, el cual a su vez óxida el ánodo de metal. La concentración de oxígeno es luego determinada y el sensor envía la señal al procesador del PCO. La precisión de esta lectura está en el orden de 0% a +0.4%, el rango de detección es de 0 a 20.9%. La presencia de otros gases como dióxido de carbono en concentraciones mayores a 20% no afectan la medición.

que tienen en la cámara de combustión y no alcanzan

2.3. MEDICION DEL MONOXIDO DE CARBONO (CO) los cuales al

La determinación de los niveles de monóxido de carbono (CO) en el flujo de los gases de combustión nos ayuda a optimizar el proceso de combustión de los generadores de vapor. Es posible operar instalaciones con cero emisión de

monóxido de carbono, pero hacer esto significa quemar el combustible con grandes excesos de aire y tener el equipo de atomización ideal.

Altos niveles de monóxido de carbono en los gases de combustión indican que el ingreso de aire es insuficiente para lograr quemar el combustible inyectado a la cámara de combustión, a la salida de los gases en la chimenea se observa humos negros.

El proceso de combustión con exceso de aire deficiente, además de producir emisiones altas de monóxido de carbono, produce también residuos de combustible sin quemar, los cuales se depositan en forma de hollín en las superficies de transferencia de calor, convirtiéndose en aislantes térmicos.

Los gases de combustión contienen en algunas ocasiones altos porcentajes de monóxido de carbono con altos porcentajes de oxígeno, esto es debido a la mala atomización del combustible, de las boquillas salen partículas con diámetros grandes que no logran quemarse en el corto tiempo de permanencia que tienen en la cámara de combustión y no alcanzan a reaccionar con el oxígeno presente, los cuales al ser medidos en el flujo de gases a la salida de la chimenea dan valores altos.

Indicativos de combustión correcta en los calderos evaluados en lo que respecta a la emisión de monóxido de carbono es el de efectuar la combustión

con emisiones que contengan el mínimo porcentaje de oxígeno con una mínima emisión de monóxido de carbono.

Las pérdidas de la eficiencia causada por la presencia de combustible no quemado pueden ser calculados con la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de pérdidas} = (K)(\%CO)/(\%CO_2) + (\%CO)$$

Donde: K = 49 basado en el poder calorífico neto del combustible de petróleo.

El analizador de gases determina las partes por millón de monóxido de carbono usando para ello una celda electroquímica que consiste básicamente de un ánodo electrolítico y un cátodo de aire.

La difusión del monóxido de carbono al cátodo de aire es controlado por una barrera de difusión. El monóxido de carbono se oxida por el proceso electroquímico en el cátodo de aire, de lo cual resulta la señal que el sensor emite de acuerdo a los niveles de monóxido de carbono que contiene la muestra analizada.

El rango de lectura del sensor es de 0 a 3999 ppm, la presión de lectura es en el orden de $\pm 2.5\%$.

2.4. MEDICION DE LA TEMPERATURA DE GASES

Para la determinación de la eficiencia de combustión es necesario medir la temperatura de los gases justo a la salida de la chimenea, en el punto inmediato

después que todo el intercambio de calor se ha realizado, en el cual se tenga la máxima temperatura.

En la figura #10 se observa el sitio recomendado para insertar la termocupla, a la cual va acoplada una manguera flexible por cuyo interior viaja la muestra de gases a ser analizada por los sensores del PCO.

El PCO mide automáticamente la diferencia de temperatura entre los gases que salen por la chimenea y la temperatura ambiente, a la cual ingresa el aire de combustión.

Se utiliza una termocupla del tipo K (cromel-alumel) que detecta la temperatura de los gases, el diferencial lo realiza con respecto a la temperatura ambiente del cuarto de calderas en el rango de 0 a 50°C, el cual es controlado por el microprocesador del PCO.

La presión de medición está en el orden de $\pm 4^\circ\text{C}$

El rango del diferencial es de 25 a 999 °C.

Figura #10.- Forma de tomar muestra a ser analizada

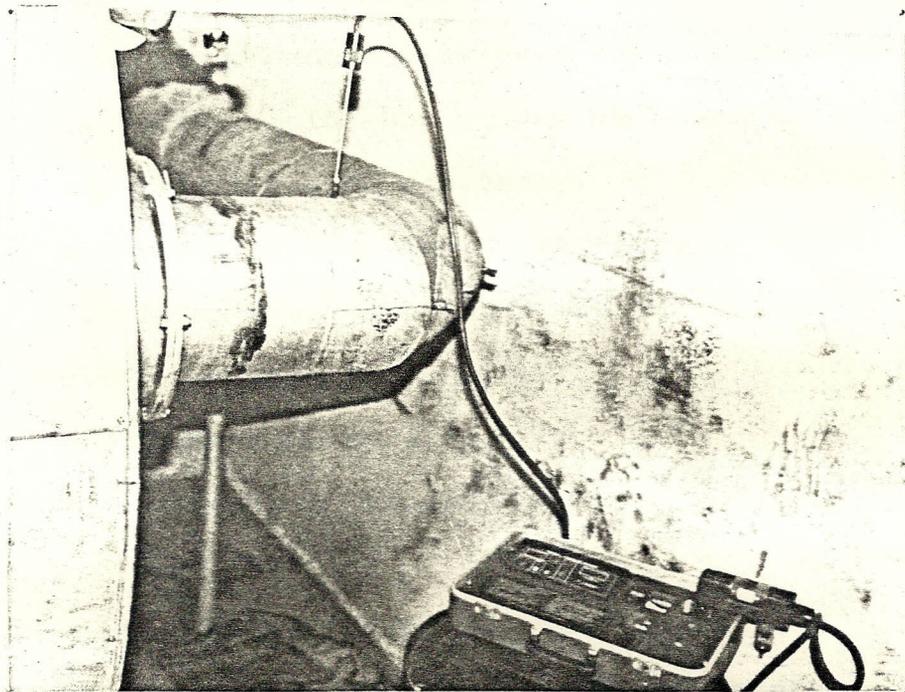


Figura #10.- Forma de tomar muestra a ser analizada

CAPITULO III

EVALUACION INDUSTRIAL

3.1. INDUSTRIAS SELECCIONADAS PARA LA EVALUACION

Las industrias seleccionadas para la evaluación industrial, las clasificamos de acuerdo a las actividades que efectúan, en las cuales se usa el vapor para desarrollar diversos procesos.

La clasificación por grupos es la siguiente:

- a.- Industrias de aceite
- b.- Industrias de harina de pescado
- c.- Industrias de bebidas
- d.- Industrias de textiles
- e.- Industrias de alimentos
- f.- Industrias varias

a. INDUSTRIAS DE ACEITE

Las Industrias que producen aceite comestible instaladas en Guayaquil son:

La Favorita

Tiene capacidad instalada de 1600 BHP distribuidos en dos calderos de 400 BHP y uno de 800 BHP, todos pirotubulares, operan las 24 horas del día, generando con dos calderos un promedio de 15000 KgV/hr de vapor saturado, usando el Bunker C como combustible.

Oleica S.A.

Tiene capacidad instalada de 2000 BHP,

distribuidos en tres calderos pirotubulares, dos son de 600 BHP y uno de 800 BHP, operan las 24 horas del día, generan con tres calderos un promedio de 20000 KgV/hr de vapor saturado, usan Bunker C como combustible.

Olytrasa

Capacidad instalada 200 BHP, distribuidos en dos calderos pirotubulares de 100 BHP cada uno, operan 12 horas día, generan con los dos calderos un promedio de 2350 KgV/hr de vapor saturado, usan Bunker C como combustible.

Compañía de Cervezas Nacionales S.A. Planta

b. INDUSTRIAS DE HARINA DE PESCADO

Las industrias que seleccionamos dentro de este grupo son:

Negocios Industriales Real S.A.

Esta planta se encuentra instalada en Posorja, tiene capacidad instalada de 2400 BHP distribuidos en tres calderos de 800 BHP cada uno, generan con dos calderos 20000 KgV/hr durante 16 horas al día, combustible utilizado Bunker C.

La Portuquesa

La planta se encuentra ubicada en Chanduy, capacidad instalada 2650 BHP distribuidos en 5 calderos, 2 de 800 BHP y 3 de 350 BHP. Generan un promedio de 25000 KgV/hr durante 16 horas diaria,

usan combustible Bunker C, todos los calderos son pirotubulares.

Balanceados Vigor

La planta se encuentra ubicada en Guayaquil, tiene un caldero de 100 BHP, generan un promedio de 1250 KgV/hr durante las 24 horas del día usan como combustible diesel.

c. INDUSTRIAS DE BEBIDAS

Las industrias de bebidas seleccionadas para la evaluación son las siguientes:

Compañía de Cervezas Nacionales S.A. Planta Pascuales (CCN)

La planta se encuentra ubicada en Guayaquil, tiene capacidad instalada de 3100 BHP, con 3 calderos, de los cuales 2 son de 1600 BHP, pirotubulares y uno de 1500 BHP acuotubular, nuestro análisis se realizó en los dos calderos pirotubulares, que generan aproximadamente 20000 KgV/hr, el combustible utilizado es bunker C, operan las 24 horas del día.

Embotelladora de bebidas cítricas

Se encuentra ubicada en Guayaquil, tiene capacidad instalada de 280 BHP, con 2 calderos de 100 BHP cada uno y uno de 80 BHP. Generan aproximadamente 2500 KgV/hr, operan las 24 horas del día, el combustible usado es el Diesel.

Industrias de Gaseosas S.A. (Coca Cola)

La planta se encuentra ubicada en Guayaquil, tiene capacidad instalada de 280 BHP distribuidos en tres calderos, 2 de 150 BHP y uno de 80 BHP, generan con dos calderos un promedio de 2550 KgV/hr, durante las 24 horas del día. Usan como combustible diesel, los calderos son pirotubulares.

Embotelladora Quin Cola

La planta se encuentra ubicada en Guayaquil, tiene un caldero de 100 BHP, generan un promedio de 1100 KgV/hr, operan 16 horas al día, usan combustible Diesel.

d. INDUSTRIAS DE TEXTILES

Seleccionamos para el estudio tres industrias, todas se encuentran ubicadas en Guayaquil.

Kuritex S.A.

Capacidad instalada de 300 BHP en dos calderos pirotubulares de 150 BHP cada uno, generan 1700 KgV/hr durante las 24 horas del día, un caldero es operado con diesel y el otro con Bunker, funcionan en forma alternativa.

Hilantex S.A.

Tienen un caldero con 400 BHP, pirotubular, generan un promedio de 4500 KgV/hr, durante las 24 horas del día, operan con Bunker.

Textiles San Antonio

Tienen un caldero de 150 BHP, pirotubular, generan un promedio de 1700 KgV/hr durante las 24 horas del día, utilizan Bunker como combustible.

e. INDUSTRIAS DE ALIMENTOS

Las industrias seleccionadas en este grupo comprenden las que producen productos en base a Cacao y Café y Lacteos. Todas se encuentran instaladas en Guayaquil, estas son:

La Universal S.A. (Planta Centro)

La instalación tiene un caldero de 600 BHP y otro de 200 BHP, generan con un caldero un promedio de 7200 Kg/hr durante las 24 horas del día, utilizan Bunker como combustible. Los calderos son pirotubulares.

Nestle del Ecuador

Tiene un caldero de 200 BHP, es pirotubular, generan un promedio de 2000 Kg/hr durante las 24 horas del día, utilizan el diesel como combustible.

Indecsa S.A.

Tiene un caldero de 100 BHP, pirotubular, generan durante las 24 horas del día un promedio de 1500 KgV/hr, utilizan Diesel como combustible.

Ecuajugos S.A.

Tiene un caldero de 200 BHP, pirotubular, generan

durante 16 horas al día un promedio de 2000 KgV/hr. Utilizan Diesel como combustible.

Toni S.A.

Tiene un caldero de 100 BHP, pirotubular, generan durante 16 horas en el día un promedio de 1500 KgV/hr, utilizan Diesel como combustible.

f. INDUSTRIAS VARIAS

En este grupo hemos seleccionado tres industrias, ubicadas en Guayaquil, producen productos distintos cada una de ellas, las características de sus instalaciones de vapor son:

Jaboneria Nacional (Planta Centro)

Tiene un caldero de 400 BHP, pirotubular, generan durante las 24 horas del día un promedio de 4700 KgV/hr, utilizan como combustible el Bunker.

Tabaco Rubio Ecuatoriano (El Progreso)

Tiene un caldero de 200 BHP, pirotubular, genera durante 10 horas al día un promedio de 2000 KgV/hr, utilizan como combustible el Bunker C.

Productos Rocafuerte

Tienen capacidad instalada de 300 BHP, distribuidos en 3 calderos de 100 BHP cada uno, generan con 2 calderos un promedio de 2000 KgV/hr, durante las 24 horas del día, utilizan Bunker C como combustible.

3.2. CANTIDAD Y TIPO DE COMBUSTIBLES EMPLEADOS

El combustible Diesel utilizado en nuestro medio tiene las siguientes especificaciones, según datos de CEPE.

Densidad relativa 60/60 °F	0.8265
Densidad API	39.7
Viscosidad a 100°F SSU	32.2
Flash Point °C	60.0
Carbon Conrodson, % peso	0.32
Cenizas % peso	0.21

BUNKER C. REFINERIA DE PENINSULA

DESTILACION

Punto inicial °C	171.5
10%, °C	196.5
50%, °C	225.0
90%, °C	316.0
Punto final, °C	196.5
Residuo, %	1.0
Indice de cetano	16.0
Vanadio	0.8
Azufre	0.5
Agua	Trazas

Las características varían de acuerdo a la calidad

Las características del Bunker C provenientes de las dos refineries que abastecen a las industrias son:

BUNKER C. REFINERIA DE ESMERALDAS

Gravedad específica 60/60 °F	0.9471
Gravedad API	17.9
Viscosidad a 100°F SSU	1900.0
Viscosidad a 200°F SSU	155.0
Flash Point °F	284.0
Pour Point °F	64.5
Azufre % peso	0.92
Carbon Conrodson, % peso	8.3
Cenizas % peso	1.14

BUNKER C. REFINERIA DE PENINSULA

Gravedad específica 60/60 °F	0.9516
Gravedad API	17.2
Viscosidad a 100°F SSU	1530.0
Flash Point °F	138.0
Azufre % peso	1.6
Carbon Conrodson, % peso	10.44
Cenizas % peso	0.15
Vanadio, PPM	Trazas
Sodio, PPM	Trazas
Poder calorífico, BTU/gal	131348

Las características varían de acuerdo a la calidad de petróleo que se refina, depende del sitio que se lo extrae.

Los consumos de combustibles de las industrias seleccionadas los presentamos a continuación:

Nacional Bunker
 Tabaco Rubio
 EMPRESA COMBUST. PROD. DIARIA CONS. COMB.
 Productora KgV/hr x 10³ PROM. ANUAL
 Bureaverta Bunker Galones

Industrias de aceite

La Favorita	Bunker	360	1'872000 ②
Oleica	Bunker	480	2'073600 ①
Olytrasa	Bunker	28.2	150000

Industrias de harina de pescado

Negocios Ind.
 Real S.A. Bunker 320 1'575000
 La Portuguesa Bunker 400 1'600000
 Balanceados
 Vigor Diesel 30 117000

Industrias de bebidas

C.C.N.
 Planta Pasc. Bunker 480 1'500000 ③
 Embotelladora
 de Bebidas
 Cítricas Diesel 60 193536
 Industrias de
 Gaseosas S.A. Bunker 61 278200 ④
 Coca Cola Embotelladora
 Quin Cola Diesel 17 80000

Industrias de Textiles

PRT e Presion Diesel
 Kuritex S.A. Bunker 40.8 237600 ⑧
 Hilantex Bunker 108.0 368000 ⑤
 Textiles
 San Antonio Bunker 40.8 250000 ②

Industrias de Alimentos

La Universal	Bunker	172.8	520000 ⑦
Nestlé	Diesel	48.0	166000
Indecsa	Diesel	36.0	92000
Ecuajugos	Diesel	32.0	150000
Toni S.A.	Diesel	24.0	91000

Eficiencia de combustión

Evaluación a Dietrich B.A.

Industrias varias

Jaboneria Nacional	Bunker	112.8	622000
Tabaco Rubio Ecuatoriano	Bunker	20.0	40000
Productos Roca fuerte	Bunker	48.0	200000

3.3. RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS

Los resultados de los análisis de gases de combustión que se presentan, corresponden a cada uno de los calderos que se encuentran instalados en las Industrias seleccionadas, la mayoría de ellos son automáticos en la operación de control.

Para tener resultados representativos, decidimos efectuar las pruebas, en la posición más usual de operación del caldero, para esto es necesario llevar los controles de operación manual.

Las siguientes abreviaturas nos servirán para poder comprender la evaluación que se realizó:

PV = Presión de vapor

PC = Presión de combustible

PRT = Presión retorno de combustible

PATM = Presión de atomización

TC = Temperatura de combustible

ΔT = Diferencia de temperatura del aire a la entrada y salida de gases de combustión

O₂ = Oxígeno contenido gases de combustión

CO = Monóxido contenido gases de combustión

Efic = Eficiencia de combustión

Evaluación a La Favorita S.A.

Calderos #1 y #2 de 400 BHP de capacidad c/u y caldero #3 de 800 BHP. Combustible Bunker C.

	Caldero #1 400BHP	Caldero #2 400BHP	Caldero #3 800BHP
PV (Psig)	175	165	170
PC (Psig)	58	55	54
PRT(Psig)	45	52	50
PATM(Psig)	20	22	20
TC (°C)	85	103	100
ΔT (°C)	206	164	173
O ₂ (%)	6.3	6.6	5.9
CO (PPM)	900	216	320
Efic. (%)	82.5	84.7	85.6

Evaluación a Oleica S.A.

Calderos #1 y #2 de 600 BHP de capacidad c/u y caldero #3 de 800 BHP. Combustible Bunker.

	Caldero #1 600BHP	Caldero #2 600BHP	Caldero #3 800BHP
PV (Psig)	165	175	170
PC (Psig)	40	28	42
PRT(Psig)	30	20	35
PATM(Psig)	21	17	19
TC (°C)	112	98	99
ΔT (°C)	119	156	136
O ₂ (%)	6.0	3.7	6.1

CO (PPM)	305*	538*	248*
Efic. (%)	88.2*	86.8*	87.1*

* OBSERVACION: Usan aditivo catalizador para combustible.

Evaluación a Olytrasa S.A.

Calderos #1 y #2 de 100 BHP de capacidad c/u. Combustible Bunker.

	Caldero #1	Caldero #2
	100BHP	100BHP
PV (Psig)	150	145
PC (Psig)	55	50
PRT (Psig)	42	41
PATM (Psig)	20	19
TC (°C)	72	82
ΔT (°C)	156	144
O ₂ (%)	12.8	15.7
CO (PPM)	980	870
Efic. (%)	79.8	73.1

Evaluación a Negocios Industriales Real S.A.

Calderos #1, #2 y #3 de 800 BHP c/u. Combustible Bunker.

	Caldero #1	Caldero #2	Caldero #3
	800BHP	800BHP	800BHP
PV (Psig)	120	115	118
PC (Psig)	30	30	38

PRT(Psig)	24	23	30
PATM(Psig)	15	16	12
TC (°C)	97	101	95
ΔT (°C)	214	189	247
O ₂ (%)	4.2	4.0	5.6
CO (PPM)	720	659	520
Efic. (%)	83.7	85.2	81.5

Evaluación a La Portuguesa S.A.

Calderos #1 ,#2 y #3 de 350 BHP c/u de capacidad y calderos #4 y #5 de 800 BHP c/u. Combustible Bunker C.

	Cal.#1	Cal.#2	Cal.#3	Cal.#4	Cal.#5
	350BHP	350BHP	350BHP	800BHP	800BHP
PV (Psig)	98	105	105	120	100
PC (Psig)	32.5	41.5	58	72	58
PRT(Psig)	---	---	---	---	---
PATM(Psig)	18.3	21.5	16.5	16.8	12.5
TC (°C)	95	92	90	90	95
ΔT (°C)	164	173	173	128	148
O ₂ (%)	6.1	9.3	6.5	5.3	7.9
CO (PPM)	337	359	329	257	237
Efic. (%)	85.6	83.3	84.9	88.0	85.5

Evaluación a Balanceados Vigor

Caldero #1 de 100 BHP de capacidad. Combustible Diesel.

	Caldero #1	Caldero #2	Caldero #3
PV (Psig)	100	100	100
PC (Psig)	33	33	33
PRT (Psig)	--	100	100
PATM (Psig)	12	12	12
TC (°C)	--	38	38
ΔT (°C)	148	148	148
O ₂ (%)	11.2	25	15
CO (PPM)	620	--	--
Efic. (%)	82.5	15.7	35
O ₂ (ppm)	33.7	4.2	2.7

Evaluación a Compañía de Cervezas Nacionales

Calderos #1 y #2 de 800 BHP de capacidad c/u. Combustible Bunker C.

	Caldero #1	Caldero #2	Caldero #3
PV (Psig)	150	150	150
PC (Psig)	65	62	62
PRT (Psig)	50	57	50
PATM (Psig)	15	23	120
TC (°C)	100	97	25
ΔT (°C)	173	152	--
O ₂ (%)	2.0	7.2	1.5

CO (PPM)	800	580
Efic. (%)	86.4	85.7

Evaluación a Embotelladora de Bebidas Cítricas

Calderos #1 y #2 de 100 BHP c/u, caldero #3 de 800 BHP. Combustible Diesel.

	Caldero #1	Caldero #2	Caldero #3
	100BHP	100BHP	800BHP
PV (Psig)	120	120	100
PC (Psig)	36	34	33
PRT (Psig)	--	--	--
PATM (Psig)	13	25	15
TC (°C)	--	--	--
ΔT (°C)	148	156	156
O ₂ (%)	3.9	4.2	5.9
CO (PPM)	205	250	210
Efic. (%)	87.1	86.9	86.1

Evaluación a Industria de Gaseosas S.A.

Calderos #1 y #2 de 150 BHP c/u, caldero #3 de 80 BHP. Combustible Diesel.

	Caldero #1	Caldero #2	Caldero #3
	150BHP	150BHP	80BHP
PV (Psig)	120	115	120
PC (Psig)	28	30	29
PRT (Psig)	--	--	--
PATM (Psig)	8.8	9.2	11

TC (°C)	--	--	--
ΔT (°C)	181	218	187
O ₂ (%)	5.1	5.7	8.2
CO (PPM)	289	464	375
Efic. (%)	86.1	83.5	82.6

CO (PPM) Evaluación a Quin Cola

Caldero #1 de 100 BHP de capacidad. Combustible Diesel.

Caldero #1

Caldero #1 100BHP de capacidad. Combustible Diesel.

PV (Psig)	100
PC (Psig)	33
PRT (Psig)	--
PATM (Psig)	10
TC (°C)	--
ΔT (°C)	144
O ₂ (%)	8.3
CO (PPM)	354
Efic. (%)	85.4

CO (PPM) Evaluación a Kuritex S.A.

Caldero #1 de 150 BHP, opera con Diesel. Caldero #2 de 150 BHP opera con Bunker C.

Caldero #1 Caldero #2

	150BHP	150BHP
PV (Psig)	120	115

PC (Psig)	25	36
PRT (Psig)	--	32
PATM (Psig)	16	18
TC (°C)	--	92
ΔT (°C)	197	210
O ₂ (%)	7.4	8.9
CO (PPM)	527	560
Efic. (%)	82.9	80.8

Evaluación a Hilantex S.A.

Caldero #1 de 400 BHP de capacidad. Combustible Bunker.

CO (PPM) Caldero #1

Caldero #1 400BHP

PV (Psig) 130

PC (Psig) 40

PRT (Psig) de 350 BHP, Caldero #2 de 200 BHP operap

PATM (Psig) 18

TC (°C) 90 Caldero #2

ΔT (°C) 201 Caldero #1

O₂ (%) 1.2

CO (PPM) 707

Efic. (%) 85.9

PC (Psig) 12

PRT (Psig) 100

ΔT (°C) 181

O₂ (%) 3.1

Evaluación a Textiles San Antonio

Caldero #1 de 150 BHP de capacidad. Combustible Bunker.

Caldero #1

Caldero #1 150BHP

PV (Psig)	120
PC (Psig)	35
PRT (Psig)	27
PATM (Psig)	12.5
TC (°C)	70
ΔT (°C)	169
O ₂ (%)	12.8
CO (PPM)	958
Efic. (%)	78.7

Evaluación a La Universal S.A.

Caldero #1 de 600 BHP, Caldero #2 de 200 BHP operan con Bunker C.

Caldero #1 Caldero #2

Caldero #1 600BHP Caldero #2 200BHP

PV (Psig)	105	110
PC (Psig)	30	35
PRT (Psig)	24	28
PATM (Psig)	12	21
TC (°C)	105	98
ΔT (°C)	181	214
O ₂ (%)	5.1	5.8

CO (PPM)	550	788
Efic. (%)	84.8	83.2

CO (PPM) Evaluación a Nestlé del Ecuador

Caldero #1 de 200 BHP de capacidad. Combustible Diesel.

Caldero #1

Caldero #1 200BHP de capacidad. Combustible Diesel.

PV (Psig)	115
PC (Psig)	35
PRT(Psig)	--
PATM(Psig)	11.0
TC (°C)	--
ΔT (°C)	115
O ₂ (%)	4.9
CO (PPM)	227
Efic. (%)	88.1

O₂ (%) 6.2

CO (PPM) Evaluación a Indecsa S.A.

Caldero #1 de 100 BHP de capacidad. Combustible Diesel.

Caldero #1

Caldero #1 100BHP de capacidad. Combustible Diesel.

PV (Psig)	120
PC (Psig)	40
PRT(Psig)	100BHP
PATM(Psig)	13.0

TC (°C) --
ΔT (°C) 119
O₂ (%) 9.0
CO (PPM) 354
Efic. (%) 86.3

CO₂ (%) 11.3

CO (PPM) Evaluación a Ecuajugos S.A.

Caldero #1 de 200 BHP de capacidad. Combustible Diesel.

Caldero #1 Compañía Nacional S.A.

Caldero #1 200BHP de capacidad. Combustible Diesel.

PV (Psig) 110
PC (Psig) 28
PRT (Psig) --
PATM (Psig) 8.3
TC (°C) --
ΔT (°C) 224
O₂ (%) 6.2
CO (PPM) 792
Efic. (%) 82.4

CO₂ (%) 11.4

CO (PPM) Evaluación a Toni S.A.

Caldero #1 de 100 BHP de capacidad. Combustible Diesel.

Caldero #1

100BHP

PV (Psig) 100

PC (Psig) 30
 PRT (Psig) --
 PATM (Psig) 17.0
 TC (°C) --
 ΔT (°C) 156
 O₂ (%) 11.3
 CO (PPM) 386
 Efic. (%) 82.1

Evaluación a Jaboneria Nacional S.A.

Caldero #1 de 400 BHP de capacidad. Combustible
 Bunker.

Caldero #1

400BHP

PV (Psig) 145

PC (Psig) Evaluación a Productos Rocafuerte

PRT (Psig) 38 y 43 de 100 BHP c/u. Combustible

PATM (Psig) 15.5

TC (°C)	Caldero #1	Caldero #2	Caldero #3
---------	------------	------------	------------

ΔT (°C)	181	100	100
---------	-----	-----	-----

O ₂ (%)	11.4	11.0	11.5
--------------------	------	------	------

CO (PPM)	210	52	58
----------	-----	----	----

Efic. (%)	87.0	40	45
-----------	------	----	----

PATM (Psig)	12.0	13.0	18
-------------	------	------	----

TC (°C)	70	70	70
---------	----	----	----

ΔT (°C)	177	220	204
---------	-----	-----	-----

O ₂ (%)	10.6	10.8	11.3
--------------------	------	------	------

Evaluación a Tabaco Rubio Ecuatoriano (El Progreso)

Caldero #1 de 200 BHP de capacidad. Combustible Bunker.

	Caldero #1
	200BHP
PV (Psig)	120
PC (Psig)	50
PRT(Psig)	44
PATM(Psig)	17.0
TC (°C)	90
ΔT (°C)	148
O ₂ (%)	5.4
CO (PPM)	343
Efic. (%)	86.7

Evaluación a Productos Rocafuerte

Calderos #1, #2 y #3 de 100 BHP c/u. Combustible Bunker.

	Caldero #1	Caldero #2	Caldero #3
	100BHP	100BHP	100BHP
PV (Psig)	110	110	115
PC (Psig)	55	52	58
PRT(Psig)	40	40	45
PATM(Psig)	12.0	15.0	18
TC (°C)	70	70	70
ΔT (°C)	177	222	206
O ₂ (%)	10.6	5.8	6.3

CO (PPM)	900	1100
Efic. (%)	81.3	82.5

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que la calidad del combustible en el sector industrial de la zona de estudio es deficiente, lo que repercute directamente en la eficiencia de los procesos de combustión. Comparando los resultados obtenidos con los que provienen de las zonas urbanas existentes en el país, se observó lo siguiente:

El contenido de azufre en el combustible es un factor que influye directamente en la eficiencia del proceso de combustión. Este parámetro tiene un papel importante en el proceso de combustión, al considerarse que la presencia de los gases de los productos de vapor se ajusta dependiendo de la cantidad de combustible al ingresar a la cámara de combustión. Por lo tanto, este parámetro se tiene en cuenta en la llama, lo cual hace variar la eficiencia de combustión.

El contenido de azufre y vanadio en el combustible de la refinación, esto no afecta en ninguna medida a los calderos pirrotubulares en lo que se refiere a la eficiencia de combustión, pero causa daños serios que se ven reflejados en los costos.

El agua residual de combustión puede ser utilizada en las industrias que operan con calderos pirrotubulares, como en las que producen azúcar y harina de maíz, etc.

CAPITULO IV

ANALISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

Los resultados obtenidos merecen la siguiente discusión:

1.- La calidad del bunker que usa el sector industrial de Guayaquil varía considerablemente, dependiendo de la refinería que la envía.

Comparando las propiedades físicas del bunker que proviene de las dos refinerías existentes en el país, observamos lo siguiente:

a. El bunker de la refinería de Esmeraldas es más viscoso que el de la refinería de la Península.

Esta propiedad tiene un papel importante en el proceso de combustión; si consideramos que la calibración de los quemadores de los generadores de vapor se ajusta dependiendo de la fluidez que tiene el combustible al ingresar a la cámara, al cambiar constantemente este parámetro, se tiene variaciones en la llama, lo cual hace variar la eficiencia de combustión.

b. El contenido de azufre y vanadio es mayor en el bunker de la refinería, esto no afecta en magnitud a los calderos pirotubulares en lo que se refiere a la eficiencia de combustión, pero causa daños mecánicos a los mismos.

2.- El mayor consumo de combustible bunker en las industrias que operan con calderos pirotubulares, está en las que producen aceite y harina de pescado,

lo cual está en función de la capacidad instalada.

Las industrias con capacidad pequeña de producción de vapor son las que consumen mayor porcentaje de diesel. En nuestra evaluación encontramos calderos de hasta 200 BHP que operan con diesel.

Los resultados obtenidos en los análisis a los gases de combustión de los calderos evaluados los comentamos a continuación:

a. EVALUACION A LAS INDUSTRIAS DE ACEITE.

En este grupo se tienen las industrias de mayor capacidad instalada en calderos pirotubulares, los consumos de combustible son mayores porque operan en forma continua casi todos los días del año, las 24 horas del día.

Las eficiencias de combustión encontradas en este grupo van desde el 88.2% (OLEICA S.A. caldero #1) a combustiones deficientes 73.1% (OLYTRASA S.A.).

Las altas eficiencias encontradas en los calderos de OLEICA S.A. nos indican el buen control que se tiene sobre la combustión de los mismos, se tiene un buen precalentamiento del bunker antes de su ingreso a la cámara, la regulación de la entrada de aire es correcta, además se tiene las superficies de transferencia limpias de aislantes, con lo cual disminuye considerablemente el desperdicio de calor.

En este grupo se evaluó a la planta LA FAVORITA S.A., encontramos eficiencias en el orden de 82.5%, 84.7% y

85.6% en los calderos #1, #2 y #3 respectivamente, con excesos de oxígeno un poco elevados (6.3%, 6.6% y 5.9%), en el caldero #1 con menor eficiencia de combustión se detectó la temperatura de los gases elevada y excesiva emisión de CO (206°C y 900 ppm), debido a fallas de transferencia de calor y boquillas de atomización defectuosas.

Las combustiones más defectuosas se las encontró en los calderos de OLYTRASA S.A. (eficiencias de 79.8% y 73.1%), debido a una mala calibración, instalación mecánica no adecuada, precalentamiento del bunker deficiente y desgaste de equipo atomizador.

b. EVALUACION A LAS INDUSTRIAS DE HARINA DE PESCADO.

Este es otro grupo grande que tiene sus plantas instaladas a orillas del mar. Los requerimientos de vapor necesarios para el proceso son considerables, y generan en su mayoría con calderos pirotubulares.

En las tres plantas seleccionadas para la evaluación se encontró los calderos con eficiencias de combustión aceptables, notándose un mejor control en la planta La Portuguesa, en donde la instalación del sistema de combustión es adecuada, se tiene buen precalentamiento del bunker, la regulación de las presiones del combustible son correctas, y las superficies de transferencia limpias.

Los calderos instalados en NEGOCIOS INDUSTRIALES REAL, también presentan eficiencias aceptables, solo en el

caldero #3 se encontró mala combustión (atomizador defectuoso y superficies con bajas transferencias de calor).

En la evaluación efectuada al caldero de 100BHP de la planta de BALANCEADOS VIGOR, se encontró excesos de oxígeno de 11.2%, emisión de CO de 620 ppm, temperatura de 148°C y una eficiencia de 82.5%, pese a utilizar diesel como combustible, con el cual se obtienen mejores combustiones. Se puede aumentar la eficiencia de combustión si se disminuye el exceso de aire.

c. EVALUACION A LAS INDUSTRIAS DE BEBIDAS.

En este grupo se evaluarán las industrias más representativas que producen bebidas, encontramos los siguientes resultados:

En los calderos de la compañía de CERVEZAS NACIONALES (Planta Pascuales) se obtuvieron eficiencias de combustión de 86.4% y 85.7%, las cuales se consideran aceptables. El caldero #2 puede mejorar la eficiencia disminuyendo el exceso de aire secundario.

En la evaluación de los calderos de BEBIDAS CITRICAS, que operan con diesel, se encontró eficiencias de combustión de 87.1%, 86.9% y 86.1%, bajas emisiones de monóxido de carbono, temperaturas de los gases en el rango adecuado y buena calibración de la compuerta de aire secundario. Favorecen estos resultados el uso de un combustible como el diesel y el buen control que

tienen los equipos.

Los calderos de las plantas QUIN COLA e INDUSTRIAS DE GASEOSAS dieron resultados similares a los calderos de BEBIDAS CITRICAS.

d. EVALUACION A INDUSTRIAS DE TEXTILES

De este sector se analizaran las combustiones a tres industrias, los mejores resultados se obtuvieron en el caldero de HILANTEX, eficiencia de combustión de 85.9%, CO = 707, temperatura de 201°C y porcentaje de oxígeno de 1.2%. En este caso se observa una atomización excelente, por la baja emisión de CO y la combustión con bajo exceso de oxígeno.

Los resultados obtenidos en los calderos KURITEX, con eficiencias de 82.9% y 80.8%, temperaturas de 19.7°C y 210°C, excesos de aire de 7.4% y 8.9, nos indican un control deficiente de los quemadores, que pueden operar con mejor eficiencia si se regulan de forma correcta.

En Textiles SAN ANTONIO, se evaluó el caldero de 150 BHP que opera con bunker, se encontró la combustión con 78.7% de eficiencia, CO 958 ppm, exceso de oxígeno de 12.8% y temperatura de 169°C. Aquí observamos la falta del mantenimiento sobre los equipos, que hace que los consumos de combustible sean mayores.

e. EVALUACION A LAS INDUSTRIAS DE ALIMENTOS.

En este grupo se evaluaron a industrias con pequeña capacidad de generación de vapor, la mayoría de ellos

usan diesel como combustible, la similitud de los procesos entre ellos nos permiten indicar lo siguiente:

En lo referente a la instalación de los equipos, los encontramos en su mayor parte acorde a las recomendaciones del fabricante. Las eficiencias de combustión promedio oscilan en el 84%.

Los mejores resultados se encontraron en el caldero de NESTLE, con 88.1% de eficiencia, 4.9% de O_2 , 115 °C y emisión de CO en 227 ppm. Estos valores nos indican una correcta calibración del quemador y la superficie de transferencia limpias.

En los otros calderos, los resultados nos indican que la mayoría de ellos operan con altos excesos de aire, los cuales pese a utilizar diesel como combustible no obtienen más de 83% de eficiencia de combustión.

f. EVALUACION A LAS INDUSTRIAS VARIAS.

En este grupo seleccionamos 3 industrias en las cuales encontramos lo siguiente:

El caldero de JABONERIA NACIONAL (planta sur) opera con alta eficiencia de combustión 87%, aquí observamos que pese a tener 1.4% de exceso de oxígeno, la emisión de monóxido de carbono es de apenas 210 ppm, esto nos indica la correcta atomización del quemador, acompañado de una buena calibración de los reguladores.

De igual manera se encontró el caldero de 200 BHP,

instalado en la planta EL PROGRESO.

Los resultados de los análisis a los calderos instalados en la planta de productos ROCAFUERTE nos indican que cuando se opera con atomizadores defectuosos se disminuye la eficiencia de combustión considerablemente, las altas emisiones de CO, acompañado de elevado exceso de aire lo demuestran.

con mayor eficiencia.

Se califica a un segundo plant al estar involucrada en el registro de los combustibles, los cuales son los bajos precios, que lleva al combustible, cuyo gasto no es un rubro principal en los presupuestos del industrial, se suma a esto, la poca motivación y control que hacen los organismos oficiales, llamados a controlar este problema nacional.

3. En la mayoría de los quemadores se detectó que operan con altos excesos de aire, la calibración de los mismos se lo realiza sin la ayuda de instrumentos de precisión, recomendados para optimizar las combustiones.

En las pruebas de los quemadores evaluados, el total de consumo de combustible por año es de aproximadamente 11,000,000 galones, si a los quemadores se les ajustara para que operen con un exceso de aire de 12 más, se tendrían un ahorro anual de 467,000 galones de combustible, lo cual es un ahorro muy significativo y fácil de

CONCLUSIONES

La evaluación efectuada a los generadores de vapor en las industrias mencionadas en este trabajo, nos dan los parámetros indicativos con los que podemos generalizar las siguientes conclusiones:

- 1.- Consideramos que no hay el suficiente interés en la mayoría de las industrias para operar los calderos con mayor eficiencia.
- 2.- Se relega a un segundo plano el ahorro energético que requiere el país en estos instantes, los motivos son los bajos precios que tiene el combustible, cuyo gasto no es un rubro principal en los presupuestos del industrial, se suma a esto la poca motivación y controles que hacen los organismos estatales, llamados a controlar este problema nacional.
- 3.- En la mayoría de los quemadores se detectó que operan con altos excesos de aire, la calibración de los mismos se lo realiza sin la ayuda de instrumentos de medición, recomendados para optimizar las combustiones.
- 4.- En las industrias que hemos evaluado, el total de combustible que consumen por año es de aproximadamente 12'000.000 de galones, si a los generadores de vapor se los regulara para que operen con una eficiencia mayor, solo un 4% más, se tendría un ahorro anual de 487000 galones de combustible, lo cual es un ahorro muy significativo y fácil de

conseguir.

- 5.- Otro aspecto importante a considerar es la preparación del personal que opera las calderas, en la mayoría de las industrias ellos son los encargados de la regulación de los quemadores y del control de la combustión, creemos que debe prepararse de una mejor manera. Deben tener la preparación y asesoría del Ingeniero responsable con el fin de operar con mejores eficiencias, de esta manera se lograra disminuir el desperdicio de combustible.

RECOMENDACIONES

- 1.- Nuestro País necesita el concurso de todas las personas involucradas en el uso del combustible, con el objeto de poner en práctica ya, el Programa Nacional del Uso Eficiente y ahorro de Energía.
- 2.- En este trabajo encontramos que la causa más común por la cual no se es eficiente en la combustión es la mal calibración de los quemadores, debido a la falta de instrumentos de calibración. Es necesario efectuar la inversión adicional en cuanto se refiere a instrumentación, la cual es recuperable a corto tiempo.
- 3.- Los organismos estatales responsables del control de los combustibles, deben establecer cupos de consumo sobre las industrias, poniendo en práctica reglamentos que normen los consumos y se multen los desperdicios.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Jasiewicz Jan, Recuperación de Calor Pérdido en Plantas Termoeléctricas, INE Quito 1981.
- 2.- J. Duque, Evaluación del Uso de la Energía en la Industria, ESPOL.
- 3.- M. Patiño, Combustión y Contaminación Industrial, FIM ESPOL, 1988.
- 4.- F. Benito, Fuel Oil, Edit. Blume, Madrid, 1969.
- 5.- Exxon Company, Principios Fundamentales para la Eficiencia de Calderos, USA.
- 6.- Neotronics Energy Conservation Division, Fuel Saving Guide and Applications Manual, England, 1984.