

# ANÁLISIS ENERGÉTICO DE CALDERAS CASO REAL

Por : Ing. Orlando A. Aguilar.

Profesor de la facultad de Ingeniería Mecánica.

[oaguilar@fim.utp.ac.pa](mailto:oaguilar@fim.utp.ac.pa)

## 1. INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Tecnológica de Panamá, como parte de sus labores de Extensión, realiza continuamente diversos Estudios y Consultorías de Ingeniería en la República de Panamá, utilizando para estas actividades, equipos de tecnología avanzada y los conocimientos y experiencias de su planta de profesores, recurso humano de amplia experiencia y capacitado nacional e internacionalmente. Entre las labores de consultoría cabe destacar, estudios de calidad de aire, estudios de niveles de ruido, estudios de vibraciones, estudios de dispersión de contaminantes en el aire, diseño de sistemas fotovoltaicos para suministro de energía eléctrica a edificaciones rurales, análisis energético de calderas y demás equipos de combustión industriales, estudios de emisiones de gases de combustión en calderas, turbinas de gas, hornos industriales y plantas de generación eléctrica, diseño de equipos e instalaciones mecánicas, entre otros.

En esta ocasión presentaremos los resultados de una de nuestras experiencias reales en cuanto a Análisis Energético de Plantas de Vapor, realizado en una institución hospitalaria de la localidad. La Dirección de Mantenimiento de dicha institución hospitalaria, solicitó la realización de un estudio energético, así como un estudio de las emisiones de combustión de sus calderas y el correspondiente estudio de dispersión de contaminantes en el aire.

Para la realización del estudio energético, es necesario medir la concentración de algunos gases de la chimenea, como el dióxido de carbono y el oxígeno, medir la temperatura de dichos gases, así como la temperatura del aire de admisión a la combustión, con lo cual, se obtiene la eficiencia de combustión de la caldera. En la actualidad, estas mediciones se hacen de forma electrónica, mediante un equipo electrónico analizador de gases de combustión, el cual además, puede medir la concentración en la chimenea de otros gases, tales como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre, para diversos combustibles de uso típico en nuestra región. Una vez realizado el monitoreo de gases en las chimeneas, es necesario conocer el consumo actual de combustible por unidad de tiempo de operación, el tipo de combustible utilizado, su poder calorífico y su concentración de azufre.

## 2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

### 2.1. EQUIPOS PROBADOS

Las pruebas fueron realizadas a dos calderas, cuyas especificaciones se muestran a continuación:

Caldera N° 1:

Marca Kewanee  
Capacidad 350 Hp

Tipo de Combustible Bunker C  
Contenido de azufre 2.41 %  
Uso Principal (6 meses/año)  
Consumo de combustible 500 gal/día

Caldera N° 2:

Marca Jonsthon  
Capacidad 350 Hp  
Tipo de Combustible Bunker C  
Contenido de azufre 2.41 %  
Uso Principal (6 meses/año)  
Consumo de combustible 500 gal/día

### 2.2. EQUIPOS DE MEDICIÓN

Analizador electrónico de gases de combustión

Marca/Modelo: Kane May / KM-9004

Medición: CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Temp. de gases de chimenea, Temp. del aire de entrada, Eficiencia bruta, Eficiencia neta.

## 3. METODOLOGÍA UTILIZADA

El trabajo se realizó en dos etapas; la primera, consistió en la obtención de los datos de campo, para lo cual, se hizo una visita a las instalaciones del hospital; la segunda etapa, consistió en el análisis de los datos obtenidos en campo y confección de informe técnico. En el análisis energético realizado, se tomaron en cuenta las experiencias del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), contenidas en el "Manual de Auditoría Energética"; en el mismo, mediante un análisis gráfico, se muestra el comportamiento esperado de la combustión en una caldera, para diferentes combustibles, con respecto a las concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono, temperatura de gases de escape y el porcentaje de exceso de aire utilizado en la combustión.

## 4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

TABLA N° 1

PARÁMETRO	CALDERA 1	CALDERA 2
O <sub>2</sub> (%)	9.3	8.3
CO (ppm)	431	418
CO <sub>2</sub> (%)	8.8	9.5
TEMP. GASES (°K)	483.15	448.15
TEMP. AMB. (°K)	303.15	303.15
EFF. COMB. (Bruta en %)	83.4	85.7

## 5. ANÁLISIS ENERGÉTICO

La eficiencia de combustión óptima para combustibles pesados, se da con un exceso de aire para la combustión de aproximadamente 15%, lo cual corresponde a concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de 3% y 13.5% respectivamente, en la salida de la chimenea. Un exceso de aire superior al indicado, trae como consecuencia mayor pérdida de energía en los gases de escape. La ecuación a utilizar para el cálculo del ahorro energético es:

$$A = C \times H \times (1 - (E_0 / E_m)) \times CE, \text{ donde:}$$

C = Consumo de combustible anual

H = Poder calorífico del combustible

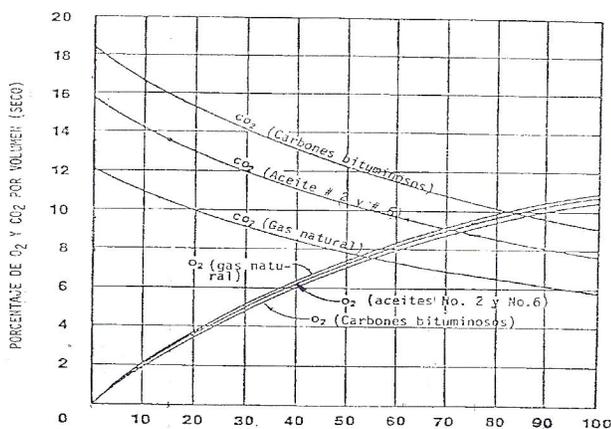
E<sub>0</sub> = Eficiencia actual

E<sub>m</sub> = Eficiencia mejorada

CE = Costo de la energía

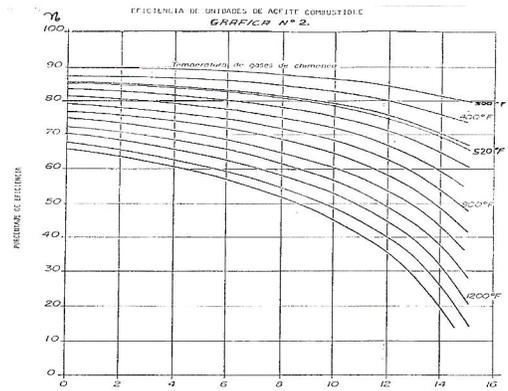
De la gráfica N° 1, se desprende que para las concentraciones promedio de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> muestreadas en las calderas, los porcentajes actuales de exceso de aire en la combustión de las calderas N° 1 y 2 son respectivamente 76% y 62% aproximadamente, lo cual es muy alto, comparado con lo recomendado por el ICAITI, de 15% de exceso de aire para calderas que utilizan bunker como combustible. Si a estas calderas se le hacen los ajustes correspondientes para realizar la combustión con un 15% de exceso de aire (recomendado), las concentraciones de O<sub>2</sub> disminuirían respectivamente de 9.3% y 8.3% (actual), hasta 3% y como consecuencia, la concentración de CO<sub>2</sub>, aumentaría de 8.8% y 9.5% (actual), hasta 13.5%; esto conllevaría un aumento en la eficiencia de combustión desde 83.4% y 85.7% (actual), hasta 86% y 88% (mejorada), en las calderas 1 y 2 respectivamente, esto es asumiendo que la temperatura de los gases de escape se mantenga constante, usualmente, la temperatura baja, aumentando más la eficiencia. ver gráfica N° 2. El consumo actual de combustible reportado por cada caldera por 6 meses/año es de 20.8 GJ/h, realizando los ajustes indicados, se obtendría un ahorro de combustible aproximado de 2740 y 2370 Gal/año respectivamente.

GRAFICA N° 1.



RELACION ENTRE EL EXCESO DE AIRE EN LA COMBUSTION Y LAS CONCENTRACIONES DE OXIGENO Y DIÓXIDO DE CARBONO EN LOS GASES DE LA CHIMENEA, PARA COMBUSTIBLES DE COMPOSICION TIPICA.

Obtenida del "Manual de Auditoría Energética- ICAITI".



Obtenida del "Manual de Auditoría Energética- ICAITI".

## 6. CONCLUSIONES

6.1 Las concentraciones de O<sub>2</sub>, CO y CO<sub>2</sub> registradas en la chimenea, indican, como se muestra en la tabla N° 2, que el porcentaje de exceso de aire actual utilizado en la combustión de las calderas 1 y 2 es de 76% y 62% respectivamente. El porcentaje recomendable es de 15% para calderas a base de bunker.

6.2 Al disminuir el exceso de aire de las calderas 1 y 2, de 76% y 62% respectivamente, a 15%, se logrará disminuir la concentración de CO, disminuir la concentración de O<sub>2</sub> y aumentar la concentración de CO<sub>2</sub>, con lo cual, se obtendrán eficiencias de combustión aproximadamente de 86% y 88% respectivamente. Las eficiencias de combustión actuales son de 83.4% y 85.7% respectivamente. Esto conllevará un ahorro de combustible aproximado de 5000 gal/año.

## 7. RECOMENDACIONES.

7.1 Ajustar el exceso de aire de la combustión en las calderas entre 15 y 20%.

7.2 Realizar monitoreos de los gases de combustión de las calderas, una vez al año, para asegurar el buen desempeño de las mismas.

7.3 Realizar monitoreos de ruido en las instalaciones y los alrededores de la casa de fuerza, para verificar el cumplimiento con las normas aplicables.

TABLA N° 2

DETALLE	ACTUAL		PROPUESTO	
	CALDERA 1	CALDERA 2	CALDERA 1	CALDERA 2
Exceso de Aire (%)	76	62	15	15
O <sub>2</sub> (%)	9.3	8.3	3	3
CO <sub>2</sub> (%)	8.8	9.5	13.5	13.5
Temp. Gases (°C)	210	175	menor	menor
Eficiencia Comb. (%)	83.4	85.7	86	88
Consumo Combustible (Gal/día)	500	500	485	487
Ahorro de Combustible (Gal/año)	---		5000	