

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA  
INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

Realizado por:

**OMAR FERNANDO TITO ANDRADE**

Director del proyecto:

**Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, Ph. D.**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL  
MENCIÓN EFICIENCIA ENERGETICA**

Quito, marzo 2021

**“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

**DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, OMAR FERNANDO TITO ANDRADE con cédula de identidad # 100221420-1, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized loops and a vertical stroke, with the initials 'MFA' visible in the center.

FIRMA

CC 1002214201

**“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

Realizado por:

**OMAR FERNANDO TITO ANDRADE**

como Requisito para la Obtención del Título de:

**MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL  
MENCION EFICIENCIA ENERGÉTICA**

ha sido dirigido por el profesor

**EDILBERTO LLANES CEDEÑO, Ph. D.**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edilberto Llanes Cedeño', written in a cursive style.

FIRMA

**“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

**LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**MSC. RODOLFO JEFFERSON RUBIO AGUIAR**

**Ph. D. JESUS LOPEZ VILLADA**

Después de revisar el trabajo presentado,  
lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, marzo 2021

# **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

## **DEDICATORIA**

A mi amada esposa Miroslava quien me motivo a especializarme y mejorar mis conocimientos, a mis hijos Nahim, Cristopher y Francisco en quien me apoyo para ser su ejemplo de dedicación y motivación, a mi madre que me enseñó a vivir la vida, mi padre por siempre creer en mí y mis hermanos que siempre me han dado su apoyo.

# **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios siempre, a la empresa Floralp quien es mi laboratorio de aprendizaje y ejecución de los conocimientos que he aprendido al tutor de la tesis Edilberto por su apoyo en culminar este trabajo de investigación y a la Universidad Internacional Sek por ir creando espacios de conocimiento para los profesionales de este País.

**“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

Para someter a:

To be submitted:

**Evaluación de la Caldera Piro-tubular De 150 BHP en la Industria Lechera Floralp S.A.**

Omar Tito Andrade<sup>1\*</sup>, Edilberto Llanes Cedeño<sup>2</sup>, Jefferson Rubio Aguiar<sup>1</sup>,

Jesús López Villada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,  
Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Internacional SEK, Facultad de Arquitectura e Ingenierías, Quito, Ecuador.

**\*AUTOR DE CORRESPONDENCIA:**

Teléfono: 0995823648; email: [omartitost@gmail.com](mailto:omartitost@gmail.com)

Título corto o Running title: Evaluación de la eficiencia de una caldera.

# **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

## ***Resumen***

La eficiencia en una caldera está influenciada por diversos factores que contribuyen en mayor o menor medida en su eficiencia como es la combustión incompleta, mala calibración del quemador, tipo de combustible, entre otros, se requiere una evaluación del sistema de generación considerando diferentes variables. La caldera de tipo piro tubular en estudio usa como combustible Diesel 2, genera vapor para procesos de elaboración de lácteos, requiere mantener presiones de trabajo entre 7 bar y 8 bar, el objetivo del presente trabajo es evaluar la eficiencia de la caldera piro tubular de 150 BHP mediante el cálculo de la eficiencia de la combustión y con la medición de parámetros para la identificación de las mejores relaciones presión combustible versus porcentaje de venteo el resultado presenta los rangos de exceso de aire, temperatura de gases, presión de combustible y porcentaje de venteo para mantener la mayor eficiencia de la caldera. La metodología aplicada se establece mediante cálculos con la información obtenida de la caldera y combustible para determinar la eficiencia en la combustión, y la evaluación experimental de las condiciones óptimas de combustión manipulando las variables independientes presión del combustible y el porcentaje de venteo obteniendo datos de eficiencia, exceso de aire y temperatura de gases mediante un analizador de emisiones PCA400. Se realiza el análisis de datos obtenidos mediante el software Statgraphics donde se establece la eficiencia en la caldera de la industria Floralp en un rango 86.1667% y 86.1333. Con los valores más altos obtenidos se realiza una comparación de eficiencia mediante el método indirecto, se calcula pérdidas en gases de escape, por combustión incompleta y por radiación y convección, dando como resultado que a una presión de 215 PSI y un venteo del 60% se tiene la mayor eficiencia.

***Palabras clave:*** mejoras energéticas, sistemas de vapor, combustible, caldera, gases, eficiencia en la combustión



# “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

## *Summary*

The efficiency of a boiler is influenced by several factors that contribute to a greater or lesser extent in its efficiency such as incomplete combustion, poor burner calibration, fuel type, among others, an evaluation of the generation system is required considering different variables. The pyro tubular boiler under study uses Diesel 2 as fuel, generates steam for dairy processing, requires maintaining working pressures between 7 bar and 8 bar, the objective of this work is to evaluate the efficiency of the 150 BHP pyro tubular boiler by calculating the combustion efficiency and measuring parameters to identify the best fuel pressure versus venting percentage ratios. The result presents the ranges of excess air, gas temperature, fuel pressure and venting percentage to maintain the highest efficiency of the boiler. The applied methodology is established through calculations with the information obtained from the boiler and fuel to determine the combustion efficiency, and the experimental evaluation of the optimum combustion conditions by manipulating the independent variables fuel pressure and venting percentage, obtaining efficiency, excess air and gas temperature data by means of a PCA400 emissions analyzer. The analysis of the data obtained using Statgraphics software establishes the efficiency of the Floralp boiler in a range of 86.1667% and 86.1333%. With the highest values obtained, a comparison of efficiency is made using the indirect method, calculating losses in exhaust gases, incomplete combustion, radiation and convection, resulting in the highest efficiency at a pressure of 215 PSI and a venting of 60%.

**Keywords:** energy improvements, steam systems, fuel, boiler, gases, combustion efficiency

# **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

## **Introducción**

La necesidad en la reducción de combustibles fósiles debido a los efectos adversos que ocasionan en el ambiente ha sido la causa principal para la búsqueda de formas adecuadas para el uso eficiente de todos los recursos energéticos. (Palacios, Peña, y Hidalgo, 2015). Una reducción de consumo de combustibles logra ahorros económicos que pueden establecer una mejora en la competitividad de las industrias. Una parte importante del consumo mundial de energía se está utilizando en calderas. Una pequeña mejora en la eficiencia de la caldera ayudará a ahorrar una gran cantidad de combustibles fósiles y a reducir las emisiones de monóxido de carbono (CO) (Barma, Rahman, Saidurb, y Allouhi, 2017).

La mayor parte de industrias utiliza sistemas de vapor para sus procesos, principalmente en el calentamiento de procesos, cocimiento de productos, generación de potencia, en calefacción de espacios, etc. Los elementos de un sistema de vapor son el combustible usado, el generador de vapor o caldera, el sistema de distribución, los equipos de consumo de vapor y el retomo de condensado. Todos los elementos del sistema interactúan entre sí. Si existe mal funcionamiento en algunos de sus elementos la operación de todo el sistema de vapor será afectado, lo que ocasionaría importantes pérdidas de energía con pérdidas económicas considerables (Palacios, Peña, y Hidalgo, 2015). En muchas industrias el vapor representa un recurso importante debido a su valor energético, económico y operacional (Aristizábal, Schäfer, y Barrera, 2014).

Una caldera o generador de vapor es un equipo destinado a la producción de vapor a partir de agua líquida. La energía necesaria para producir el vapor de agua se obtiene de las reacciones de combustión de un combustible sólido, líquido o gas, juntamente con el oxígeno del aire (Armijo y Salas, 2008). El consumo de combustible en una caldera está influenciado por diversos factores como: el poder calorífico del combustible, la generación de vapor, la presión de operación, la temperatura de los gases de combustión, la temperatura ambiental, la

## **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

temperatura de entrada de agua a la caldera y el exceso de aire entre otros, algunos contribuyen en mayor o menor medida en el consumo de combustible (Pando, Mayorga, Magaña, Velarde, y Pelaez, 2019).

El agua de alimentación es uno de los elementos esenciales en el desempeño energético de la caldera, con un tratamiento deficiente origina la formación de deposiciones en la superficie de intercambio de calor interna de la caldera (tubos), reduciéndose la eficiencia de transferencia de calor desde los gases de combustión hacia el agua, con el consiguiente aumento del consumo de combustible, (Pérez, Amaury; Fernández, Yenney, 2017) adicional si hay ausencia de precalentamiento del agua de alimentación la energía necesaria para cambiarla de estado para la generación de vapor es mayor incrementando el tiempo de combustión en la caldera, reduciendo la eficiencia, se requiere alternativas para elevar la temperatura de agua de alimentación.

En la cámara de combustión de una caldera, el combustible fósil quemado y el calor producido se transfiere a través de los gases de combustión calientes al agua, en los gases de combustión se encuentra que una cantidad sustancial de energía desperdiciada, la temperatura del gas de combustión que sale de una caldera generalmente varía de 150 a 250 ° C, se pierde alrededor del 10-30% de la energía térmica a través del proceso (Barma et al., 2017).

Las variables que influyen en la eficiencia de la caldera, determinan los costos y calidad del vapor generado, se tiene aspectos como la temperatura del agua al ser más caliente consume menos combustible, si los gases de la chimenea son bajos significa que hay mejor combustión del combustible, el venteo o exceso de aire en el quemador si esta con exceso, la combustión no resulta aprovechada y se pierde eficiencia, la presión de trabajo y los costes de operación influyen en la eficiencia y en el consumo de combustible de la caldera.

## **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

Al reducirse la cantidad de combustible quemado se tiene un impacto favorable en el medio ambiente ya que también se reducen las emisiones contaminantes derivadas por la quema del combustible utilizado en la generación del vapor (Pando et al., 2019).

Las principales variables operativas que se deben cuidar por su mayor impacto en el consumo de combustible son el exceso de aire, la temperatura de los gases de combustión en la chimenea y la temperatura del agua de alimentación (Pando, et al, 2019).

Se puede determinar visualmente si la combustión esta correcta siguiendo las siguientes directrices cuando los gases de la combustión salen por la chimenea:

- Humo negro, es indicio de insuficiente aire.
- Demasiado aire, produce un denso humo blanco.
- Un humo transparente, ligeramente gris, saliendo de una chimenea, es signo de una relación razonablemente buena aire/combustible.

Un análisis exacto se hace con un analizador de gases, el cual puede determinar el porcentaje bien de exceso o de insuficiencia de aire.

La importancia de conocer la eficiencia térmica con que operan los generadores de vapor, también denominados calderas, radica en evaluar el grado de aprovechamiento de la energía del combustible para producir vapor (Golato, Franck, Aso, Correa, y Paz, 2008).

La eficiencia de combustión es una medida de efectividad con que el contenido del calor del combustible se convierte en calor utilizable, la temperatura de los gases de combustión y la concentración de oxígeno en los gases son los mejores indicadores de la eficiencia con que se realiza (CONUEE, 2009).

Una mezcla adecuada de combustible con oxígeno depende del aire que se ventile en la combustión, de manera que reaccione con una determinada proporción de combustible, las condiciones ideales no se presentan por lo que es necesario aplicar un exceso de aire en la

## **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

combustión para lograr una quema completa del combustible, un exceso de aire adecuado reducirá las pérdidas de calor en los gases de combustión y mejorará la eficiencia en la combustión en la caldera.

Las pérdidas de calor se producen debido a la temperatura y cantidad de volumen de los gases resultantes de la combustión los cuales salen por la chimenea de la caldera, mientras mayor temperatura tengan los gases la eficiencia de la caldera será menor.

Para la industria láctea Floralp la distribución mayoritaria del consumo energético esta dado en energía eléctrica y combustible derivado del petróleo en este caso combustible Diesel 2, el primero para funcionamiento de maquinarias y el segundo para generación de vapor.

Los consumos anuales reportados en el año 2020 para energía eléctrica 2 389466 KWh y para diésel 664.992 litros, para establecer cuál es el consumo energético mayoritario se procede a igualar las unidades de los mayores consumidores por lo que se transforma los litros de diésel a KWh multiplicando por el factor 10.58 KWh/litro para diésel (Trust, 2020), obteniendo el consumo energético de diésel en 7035615.36 KWh, siendo resultante el consumo de diésel en un 34 % mayor que la energía eléctrica entendiéndose como el mayor consumo energético el combustible.

A partir de lo anteriormente expuesto se determina la problemática de cómo evaluar el comportamiento de la caldera para incrementar la eficiencia de la caldera de 150 BHP en la industria Lechera Floralp S.A.

La presente investigación tiene el objetivo de Evaluar la eficiencia en la generación de vapor de la caldera piro tubular de 150 BHP mediante el cálculo de la eficiencia de la combustión y con la medición de parámetros operativos para la identificación de las mejores relaciones presión combustible versus porcentaje de venteo.

Para lograr el objetivo general se determinan los siguientes objetivos específicos

## **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

1. Establecer la eficiencia de la combustión con los datos constructivos y operativos de la Caldera piro tubular de 150 BHP, para la determinación de la eficiencia teórica de la Caldera bajo dichas condiciones.
2. Determinar el comportamiento de la combustión en el quemador de la Caldera piro tubular de 150 BHP considerando la variación de presión del combustible y el porcentaje de venteo en el quemador, para el establecimiento de valores de operación en el cual es mayor la eficiencia de la combustión.
3. Establecer los porcentajes óptimos de venteo del aire y presión de combustible para el aumento de la eficiencia de la caldera analizando los resultados con el exceso de aire y temperatura de gases de combustión resultantes.
4. Comparar los resultados obtenidos de eficiencia en base a venteo de aire y presión de combustible con el cálculo de eficiencia por el método indirecto determinando los valores por pérdidas de inquemados, gases de combustión y purgas de la caldera.

### **Materiales y Métodos**

El diseño del estudio es teórico puesto que calcula la eficiencia a partir de datos propios constitutivos de la caldera y quemador junto con los parámetros técnicos del combustible y el vapor, también es un estudio experimental ya que manipula variables independientes para poder determinar los resultados más idóneos de eficiencia en la combustión.

El presente trabajo se basa en el desarrollo de tres etapas con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados. La primera etapa consiste en un cálculo de la eficiencia de la combustión de la caldera a partir del flujo másico del vapor, el poder calorífico del combustible, el flujo de combustible y las entalpias de vapor saturado y líquido a la presión de operación de la caldera, la metodología de cálculo es la misma con la que Mariños, Rojas, De los Santos, y Chucuya (2017) determinan la eficiencia en la combustion de una caldera.

## “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

La etapa experimental para determinar el comportamiento de la caldera en varias manipulaciones controladas es mediante un Analizador Portátil de Combustión y Emisiones de la marca Bacharach modelo PCA400. Este equipo nos entrega automáticamente los valores de exceso de aire, temperatura de gases de combustión, eficiencia en la combustión, % O<sub>2</sub>, % CO<sub>2</sub>, entre otros.

Con este equipo se realiza un análisis de la combustión inicial de la caldera para establecer parámetros iniciales de configuración del quemador como es presión de combustible y apertura del venteo entre otros, las siguientes especificaciones que entrega el equipo se manifiestan en la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Características técnicas de PCA400*

MEDICIONES	RANGO
O <sub>2</sub>	0 a 20,9%
CO-H <sub>2</sub> compensado	0 a 10,000 ppm
CO (alto)	0 a 40,000 ppm
NO	0 a 3,000 ppm
NO <sub>2</sub>	0 a 500 ppm
SO <sub>2</sub>	0 a 5,000 ppm
Temperatura de la pila	-4 a 2192 ° F (-20 a 1200 ° C)
Temperatura ambiente	-4 a 999 ° F (-20 a 537 ° C)
Calado / presión diferencial	± 72 inH <sub>2</sub> O (± 179 mB)

*Nota.* Tabla datos tecnicos Bacharach PCA400

La experimentación se trata de una manipulación controlada de las variables independientes como es la presión del combustible en tres diferentes presiones y la variación del porcentaje de venteo que nos da el ventilador del quemador, a fin de obtener los resultados que determinen en cual condición de operación hay la mayor eficiencia de la combustión en la caldera.

La etapa final es el cálculo de pérdidas de la caldera empleando información obtenida de los análisis de gases, análisis de agua de alimentación de la caldera e información de la caldera, esto con diferentes métodos a fin de determinar las pérdidas en la combustión.

A continuación, se presentan los datos de la caldera de la industria Floralp:

**“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

**Tabla 2**  
*Características Técnicas Caldera*

<b>Parámetros físicos</b>	<b>Valores</b>
<b>Para la Caldera</b>	
Serie	2006-1-RP
Gama de producción	150 BHP
Temperatura de diseño máx.	hasta 204 °C
Capacidad	150 BHP
Presión nominal	10 bar
Produccion de vapor	2352 kg/h
Presión de operación	8 bar
Eficiencia de combustión	83%
Horas de trabajo	10 h/día
Consumo vapor real	80% consumo vapor nominal
<b>Para el Diesel B2</b>	
Poder Calorífico Inferior	42500 kJ/kg
Densidad	870 kg/m <sup>3</sup>
Flujo másico del combustible	35 gal/h
1 galón de D-2	138700 BTU
Para el agua de alimentación	
Temperatura	65 °C

*Nota.* Tabla datos tecnicos Caldera 150BHPETP

**Quemador de la Caldera**

El quemador que opera en la caldera tiene las siguientes características

**Tabla 3**  
*Características del quemador*

Marca	Riello	
Modelo	RL130	
Modo operación del quemador	dos pasos	
Salida de Calor	486/948 ÷ 1540 kw	
	41/80 ÷ 130 Kg/h	
Emisiones	CO emisión mg/kWh	< 40
	indicador N° Bacharach	
	grado de humos	< 1
	NOx emisión mg/kWh	< 200

*Nota.* Tabla datos tecnicos Quemador Riello RL130

Para alturas mayores de 2000 pies se toma en cuenta la presión de la cámara de combustión de 1.5 inH<sub>2</sub>O a 4 inH<sub>2</sub>O, para Sanchis (2021) el hogar presurizado puede originar que exista una tendencia a que las llamas salgan por las bocas y las aperturas, esta situación puede acarrear



## “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

problemas en el mantenimiento, para la caldera en estudio la contrapresión a  $2.5 \text{ inH}_2\text{O}$  lo que nos da una contrapresión en la cámara de combustión de  $6.2 \text{ mbar}$

Debido a la altura que se encuentra ubicada la planta Floralp, en la ciudad de Ibarra a 3200 msnm se considera que reduce la capacidad en un 20%, entonces 150 BHP es igual a 1471.42 KW menos el 20% sería la potencia en Floralp de la caldera de 1177.14 KW

Para determinar el quemador se cruzan los valores en  $6.22 \text{ mbar}$  y 1177.14 KW

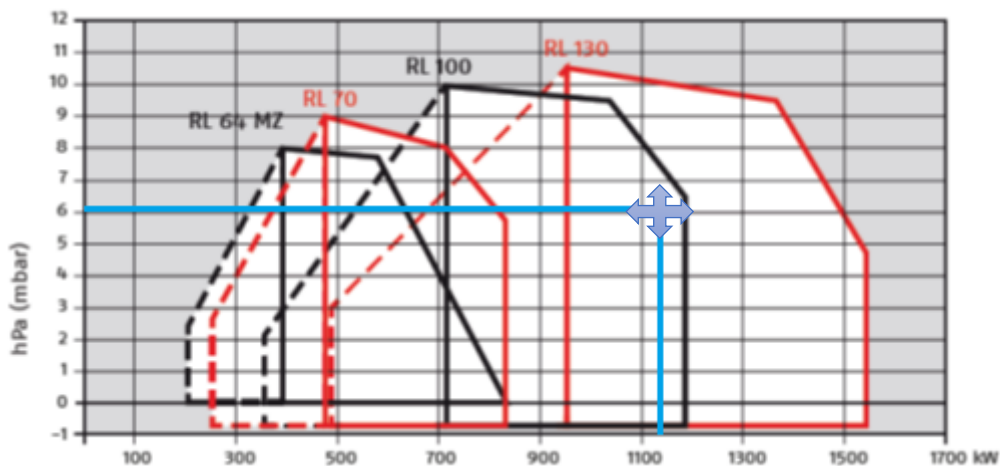


Figura 1. Riello, 2016. Folleto de datos técnicos. Recuperado RL series

Se observa en la gráfica que el quemador adecuado para la caldera es el modelo RL 100 o el RL 130, el instalado es el RL 130 ya que tiene mayor rango de entrega de potencia y no está al límite como el otro modelo.

### Procedimiento de medición de gases

Se establece primero el punto de muestreo en la chimenea de la caldera cumpliendo la Norma Técnica para emisiones a la atmósfera de fuentes fijas la cual establece que los puertos de muestreo se colocarán a una distancia de al menos, ocho diámetros de la chimenea corriente abajo y dos diámetros de chimenea corriente arriba de una perturbación al flujo normal de gases de combustión, se entiende por perturbación cualquier codo, contracción o expansión que posee la chimenea (Ministerio del Ambiente y Agua, 2002).

## **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

El punto de muestreo cumple lo establecido en la norma, el diámetro de la chimenea es de 35 cm, los ocho diámetros corrientes abajo serían 280 cm, está a 300 cm, y los dos diámetros corrientes arriba de los 70 cm se tiene más de 200 cm sin perturbación alguna cumpliéndose un flujo laminar de gases por la chimenea.

La evaluación de la mejor eficiencia por medio del analizador de gases se realizó en operación normal de la caldera con una carga de producción de vapor normal acorde al trabajo diario y permanente de funcionamiento que mantiene, el rango de presiones de trabajo oscila entre 7 y 8 bar con el flujo de entrega de vapor permanente a las líneas de proceso.

Para el desarrollo de las mediciones se selecciona el tipo de combustible en el equipo de medición PCA400, el cual es Diésel 2 de grado industrial, se seleccionó la carpeta para archivar las mediciones y se ingresó el tipo de prueba que se realizó siendo el de Combustión, se colocó la sonda en el centro del área de medición para asegurar que las lecturas sean las correctas, antes de arrancar la medición se esperó 3 minutos hasta que se estabilice el arranque del quemador luego se procedió al análisis de gases, los resultados los mide, estos varían hasta estabilizarse, una vez se estabilicen se detiene la medición, se almacena los datos e imprime, el mismo procedimiento en cada medición ya que la sonda se saca cada medición para que todas sean en las mismas condiciones y con flujo de gases durante el encendido del quemador de la caldera.

### **Diseño del experimento**

Se establece las variables sujetas a manipulación y los valores a considerarse en el estudio (Tabla 4) se desea determinar el efecto de la variación de venteo y la presión de combustible en la caldera, por lo que se establece tres presiones de trabajo y dos niveles fijos de venteo como las variables independientes, se decide realizar tres experimentos en cada condición establecida.

**“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

**Tabla 4**

*Designación de nomenclatura para variables de estudio*

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Designación</b>
PRESIÓN	205 PSI	P1	Valor mínimo
	210 PSI	P2	Valor intermedio
	215 PSI	P3	Valor máximo
VENTEO	60%	V1	Valor mínimo
	70%	V2	Valor máximo

Se determina la cantidad de repeticiones en base a los resultados obtenidos de eficiencia de la combinación presión 205 PSI Venteo 60%, se obtiene tres valores de eficiencia: 85.6, 85.7 y 85.8 se determina con estos resultados aplicando la fórmula para establecer el número de repeticiones del experimento dando como resultado la siguiente operación:

$$n = \left( \frac{40\sqrt{n'\sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Donde: n' = número de observaciones preliminares

$\sum$  = suma de valores

X = valor de las observaciones

40 = una constante para un nivel de confianza del 95 % y un error del 10 %

$$\sum x = 257.10$$

$$\sum x^2 = 22033.49$$

$$n = \left( \frac{40\sqrt{3 * 22033.49 - (257.10)^2}}{257.10} \right)^2$$

$$= 3.048 \approx 3$$

Entonces se realiza 3 repeticiones en cada combinación.

El análisis y comparación de resultados se realiza mediante la aplicación del software *Statgraphics*, a través del método de superficie de respuesta con la formación de combinaciones

## “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

como se muestran en la tabla 5, que permitirán una mejor comprensión de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas.

**Tabla 5**  
*Mediciones para el análisis de resultados*

<b>Combinaciones</b>	<b>Número de muestras</b>	<b>Presión</b>	<b>Ventoeo</b>
P1V1	3	205 PSI	60
P2V1	3	210 PSI	60
P3V1	3	215 PSI	60
P1V2	3	205 PSI	70
P2V2	3	205 PSI	70
P3V3	3	210 PSI	70
Total	18 MUESTRAS		

### Resultados y Discusión

El análisis inicial de gases se lo realiza con las condiciones de presión en 205 PSI y ventoeo en 62% , este nos arroja un resultado con un valor de eficiencia del 84.4% , los datos obtenidos antes de manipular las variables de presión y porcentaje de ventoeo se exponen a continuación en la tabla 6 que muestra los parámetros obtenidos en el analizador de gases PCA400.

**Tabla 6**  
*Análisis de gases Inicial*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Combustible	Diésel	
T° gases	258	°C
T° aire	19.2	°C
Exceso aire	14.6	%
Eficiencia	84.4	%
O2	2.8	%
CO2	13.5	%
CO	0	Ppm
SO2	35	Ppm
NO	74	Ppm
NOx	78	Ppm
CO (4)	0	Ppm
SO2 (4)	33	Ppm
NOx (4)	73	Ppm

# “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

## Cálculo y Evaluación

El ASME PTC 4-2013 describe el método de entradas y salidas como un método para determinar la eficiencia del generador de vapor mediante la medición directa de las salidas (energía total absorbida por el fluido de trabajo, no recuperada dentro de la envolvente del generador de vapor) y entradas (energía química total disponible en el combustible). También se denomina a este enfoque de cálculo como “método directo” .

- Eficiencia – Método Directo

$$\eta = \frac{\text{Energía saliente}}{\text{Energía entrante}} * 100\% \qquad \eta = \frac{\dot{m}_v * (h_g - h_i)}{\dot{m}_c * PCI} * 100\%$$

Donde:

$\dot{m}_v$ : Flujo másico de vapor

$\dot{m}_c$ : Flujo de combustible empleado

*PCI*: Poder calorífico interior del combustible

$h_g$ : entalpia de vapor saturado a la presión de operación

$h_i$ : entalpia de líquido comprimido a la presión de operación

- Consumo de combustible real

Para Diesel B2

Densidad 870 Kg/m<sup>3</sup>      Flujo combustible en la Caldera 35 gal/h

1 m<sup>3</sup> = 264,172 gal

$$\dot{m}_c = 35 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * \frac{1}{264,172} \frac{\text{m}^3}{\text{gal}} * 870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1}{3600} \frac{\text{h}}{\text{s}}$$
$$\dot{m}_c = 0.03201 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Flujo másico nominal de vapor

Capacidad caldera    150 BHP

## “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

1 BHP = 9.81 KW entonces la Capacidad de la Caldera = 1471.5 KW = 1471.5 kJ/s

$$= \dot{m}_v \cdot (h_g - h_i) \quad h_g \text{ a } 8 \text{ bar} = 2769.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_i \text{ a } 8 \text{ bar y } 65^\circ\text{C} = 272.72 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_v = \frac{1471.5 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(2769.1 - 272.72) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m}_v = 0.5894 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Flujo másico real de vapor (80% consumo vapor nominal)

$$\dot{m}_v = 0.5894 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 80\%$$

$$\dot{m}_v = 0.4716 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Cálculo de la Eficiencia de la caldera de la Industria Floralp

$$\eta = \frac{0.4716 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (2769.1 - 272.72) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{0.03201 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 42500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \cdot 100\%$$

$$\eta = 86.54 \%$$

El cálculo con los datos de la caldera llega a determinarse una eficiencia del 86.54 %, para la caldera piro tubular en estudio, resultando dentro del rango expuesto por la ONUDI, 2014 entre el 85-90% la eficiencia para calderas que usan combustibles derivados de petróleo y carbón

Para determinar cuánto combustible se consume con los datos del análisis inicial de gases se aplica la misma fórmula despejando  $\dot{m}_c$ : Flujo de combustible empleado, queda de la siguiente manera:

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{m}_v \cdot (h_v - h_{AA})}{\eta \cdot PCI}$$

**“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

$$\dot{m}_c = \frac{0.4716 \frac{kg}{s} * (2769.1 - 272.72) \frac{kJ}{kg}}{42500 \frac{kJ}{kg} \cdot 0.844} = 0.03282 \frac{Kg}{s}$$

En las 12 horas de trabajo hay una diferencia solo con subir de 84.4% a 86.54% :

$$\text{Con } = 86.54\% \quad \dot{m}_c = 0.032 \frac{Kg}{s} \text{ en 12 horas } \quad \dot{m}_c = 1382.4 \frac{Kg}{dia}$$

$$\text{Con } = 84.40\% \quad \dot{m}_c = 0.03282 \frac{Kg}{s} \text{ en 12 horas } \quad \dot{m}_c = 1417.8 \frac{Kg}{dia}$$

Lo que nos da como resultado que si se aumenta la eficiencia de la caldera a valores nominales se ahorraría 35.4 Kg de combustible al día de trabajo equivalente a

$$\dot{m}_c = 35.4 \frac{Kg}{dia} * \frac{m^3}{870 Kg} * \frac{264,172 Gal}{1 m^3} = 10.74 Gal / dia$$

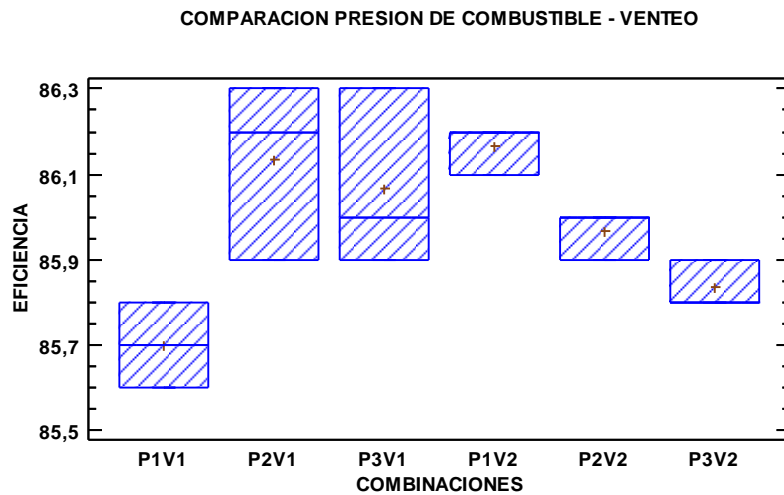
Una vez desarrolladas las pruebas indicadas se realiza el análisis de los valores obtenidos tanto en la variación de presión del combustible en el quemador de la caldera y el porcentaje de venteo para evaluar el comportamiento de las combinaciones experimentadas.

En la tabla 7 y figura 2, se muestra los resultados de la prueba de múltiple rango y gráfico de caja y bigotes para la eficiencia de combustión aplicando el análisis de diferencias significativas (Método: 95,0 porcentaje LSD) de Fisher con un riesgo del 5.0 % ; los resultados obtenidos muestran que existe una mayor eficiencia en las combinaciones P3V1 y P2V1, siendo la de mayor resultado de eficiencia la combinación de Presión a 210 PSI y un venteo del 60% se obtiene una eficiencia del 86.1667%.

**Tabla 7**  
*Análisis de diferencias significativas*

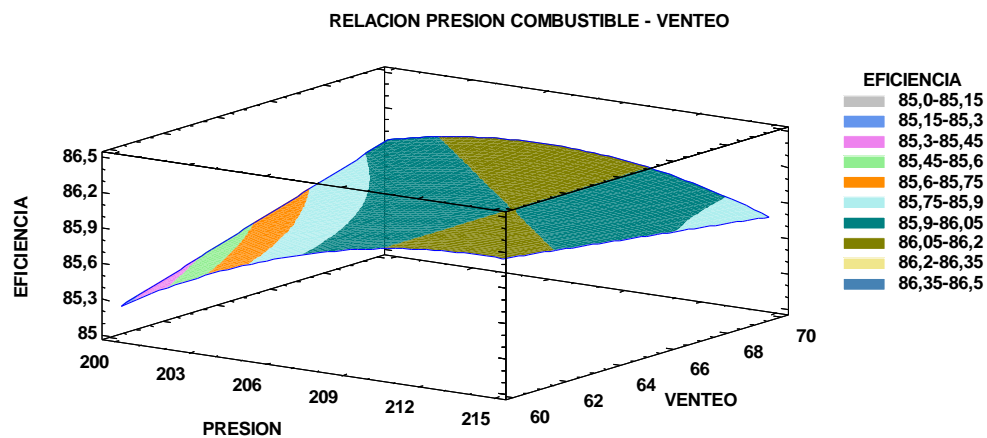
	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
P2V2	3	85.7	X
P3V3	3	85.8333	XX
P1V2	3	85.9667	XX
P1V1	3	86.0667	XX
P3V1	3	86.1333	X
P2V1	3	86,1667	X

# “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”



**Figura 2.** Gráfico de caja y bigotes comparativo de presión de combustible y venteo de aire

En la figura 3 se muestra la relación existente entre la variable de presión de combustible en función del porcentaje de venteo, donde se define su modelo matemático, y se observa los valores máximos de eficiencia, llegandose al valor de eficiencia del 86.1667% de la combinación P2V1.



$$EFICIENCIA = -201,094 + 2,27667 * PRESION + 1,47222 * VENTEO - 0,00433333 * PRESION^2 - 0,007 * PRESION * VENTEO$$

**Figura 3.** Superficie de respuesta estimada para el análisis presión versus venteo.

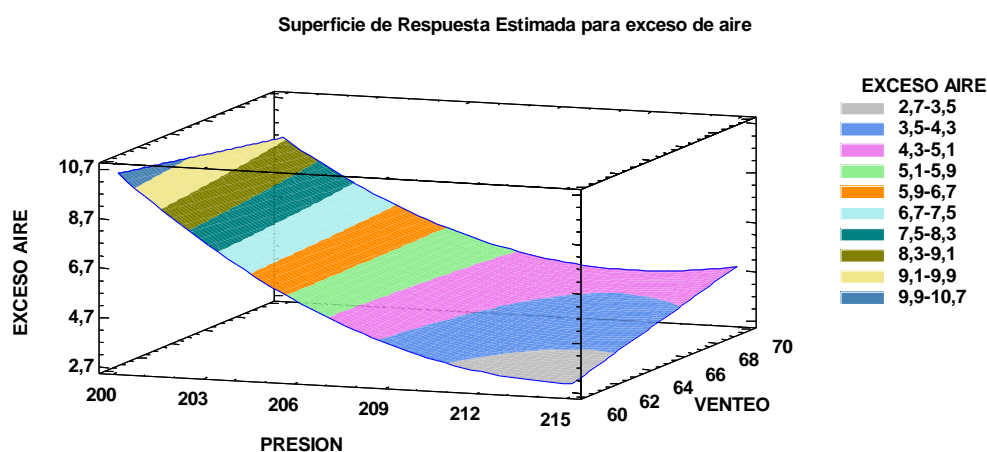
Se observa que la eficiencia es mayor con una presión entre 210 a 215 PSI, llegando a valores superiores al 86%, el porcentaje de venteo presenta poca variabilidad en la gráfica en estas presiones al menos del 2%



## “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

Para (Pando, Mayorga, Magaña, Velarde, & Pelaez, 2019) las principales variables operativas que se deben cuidar por su mayor impacto en el consumo de combustible son el exceso de aire, la temperatura de los gases de combustión en la chimenea. El exceso de aire debe estar de acuerdo con el tipo de combustible y entre más bajo mejor, sin quedar en niveles tan bajos que puedan generar inquemados o CO. Por lo que se analiza el exceso de aire resultante de las variaciones de venteo en el experimento.

En la figura 4, los resultados obtenidos muestran que existe un valor de exceso de aire para la relación P2V1, es decir a una presión de 210 PSI con un venteo del 60 % se maneja un rango de exceso de aire entre 3.5 % a 4.3 %.

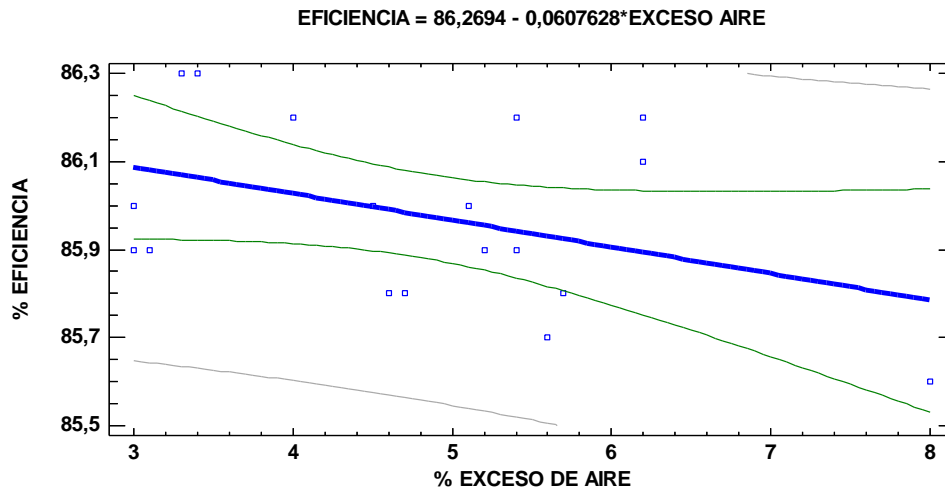


$$\text{EXCESO AIRE} = 1844,21 - 15,93 \cdot \text{PRESION} - 4,52889 \cdot \text{VENTEO} + 0,034 \cdot \text{PRESION}^2 + 0,022 \cdot \text{PRESION} \cdot \text{VENTEO}$$

**Figura 4.** Superficie de respuesta estimada para el Exceso de aire

En la figura 5 se muestra el gráfico resultante del modelo matemático de ajuste lineal usado para aproximar la relación de dependencia entre la eficiencia y el exceso de aire, se puede observar que a mayor porcentaje de exceso de aire la eficiencia va disminuyendo, como ejemplo a un 5% más de exceso de aire, se reduce un 0.3% de eficiencia, llegando a valores similares a lo expuesto por CONUEE, 2009 que existe un incremento del 1% en la eficiencia por cada 15% de reducción del exceso de aire

# “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

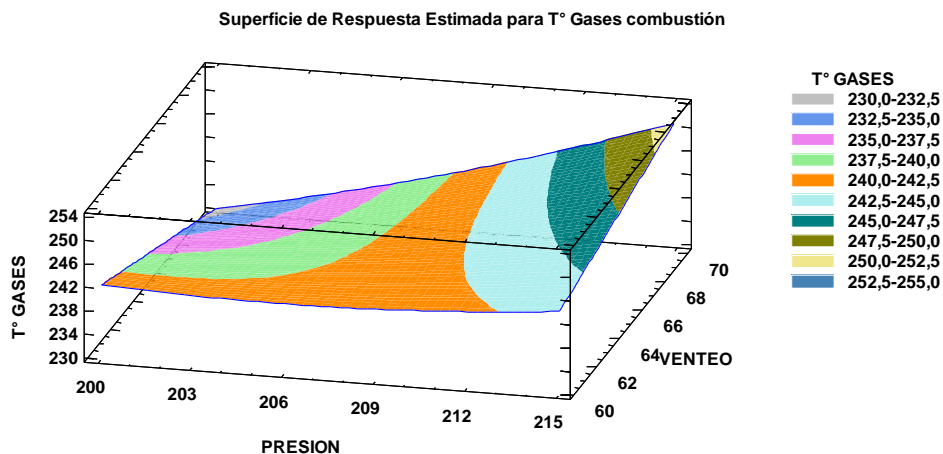


EFICIENCIA = 86,2694 - 0,0607628\*EXCESO AIRE

**Figura 5.** Gráfico del modelo ajustado Regresión Simple

La tabla Eficiencias típicas de la caldera (%) para combustibles comunes en función del exceso de aire presentada por Council of Industrial Boiler Owners(CIBO), 1997 expone datos de eficiencia típicos para calderas con varios niveles de exceso de oxígeno, mientras queman gas natural, fueloil # 2 (diesel) o # 6 (combustóleo) o carbón bituminoso, los resultados difieren a los expuestos ya que expone que la eficiencia con un exceso de aire 3.5% con combustible diésel estimada del 83.61%

En la figura 6, los resultados obtenidos muestran que existe un rango de temperatura de gases de combustión para la relación P2V1, es decir a una presión de 210 PSI con un venteo del 60 % entre 240 °C a 242.5°C.



T° GASES = 2955,22 - 18,5667\*PRESION - 26,4444\*VENTEO + 0,0266667\*PRESION^2 + 0,126667\*PRESION\*VENTEO

**Figura 6.** Superficie de respuesta estimada para la temperatura de gases de combustión.

## “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

Conforme a lo que indica Oelker (2016) un aumento en la temperatura en los productos de la combustión puede provocar una significativa reducción de la eficiencia de las calderas, por lo que se asegura lo planteado que los valores deben estar en el rango de la muestra con mejor eficiencia de combustión.

Para determinar en qué combinación de presión de combustible y venteo de aire es más eficiente la caldera y tiene menor cantidad de pérdidas se procede a determinar el cálculo de eficiencia por el método Indirecto

La fórmula para el cálculo de eficiencia por este método

$$\eta_i = 100\% - \sum qp\%$$

Donde  $\sum qp$  es la sumatoria de pérdidas térmicas

**Tabla 8**

*Resultados de análisis de gases con mayores valores de eficiencia*

PRESION	% VENTEO	Eficiencia	EA	T° GASES	T° AMB	% O2	% CO2	CO (ppm)	NO (ppm) max	SO2 (ppm) max
									410,79 ppm	577,27 ppm
215	60	85,9	3	248	28,1	0,7	15,1	65	88	63
210	60	86,3	3,3	237	27,2	0,7	15,1	27	85	76
210	60	86,2	4	238	27,8	0,9	15	4	85	79
215	60	86,3	3,4	237	28,4	0,7	15,1	28	87	73
215	60	86	3	247	28,7	0,6	15,1	86	87	55
210	60	85,9	3,1	246	26,3	0,7	15,1	58	85	26

Acorde al Ministerio del Ambiente y Agua, 2002 la norma de Emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión:

- Para Óxido de Nitrógeno (NO) 550 mg/m<sup>3</sup> es equivalente a 410.79 ppm para un gas con peso molecular = 30.01 Presión = 1013.25, Temperatura = 0C
- Para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) 1650 mg/m<sup>3</sup> es equivalente a 577.27 ppm para un gas con peso molecular = 64.066 Presión = 1013.25, Temperatura = 0C

## “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

Entonces en las combinaciones de aire y combustión realizadas los gases resultantes mantienen el cumplimiento de la norma por mantener valores menores a 550 ppm en óxido de nitrógeno y menores a 577.27 ppm de dióxido de azufre.

Entonces al saber que las diferentes muestras analizadas cumplen la normativa vigente ambiental se procede a calcular las pérdidas de las combinaciones resultantes con mayor eficiencia de 86.3 %

### Perdidas por humos o gases de escape (q1)

$$q1 = \frac{k(tg - ta)}{(CO_2 - CO)}$$

tg = temperatura gases de escape °C

ta= temperatura ambiente °C

CO<sub>2</sub> , CO = porcentaje de dióxido de carbono y monóxido de carbono en los gases de escape

K: Constante que depende del tipo de combustible denominada coeficiente de Hassentein. Para el Diésel se puede calcular con la siguiente ecuación (Lavín, 2014):

$$K=0515+0.0067CO_2$$

lo que nos da para el porcentaje de CO<sub>2</sub> 15.1%      K= 0.616

**Tabla 9**  
*Calculo pérdidas por humos o gases de escape*

Combinación	T° GASES	T° AMB	% CO2	CO %	k	q1%
<b>P2V1</b>	237	27,2	15,1	0,0027	0,616	8,56
<b>P3V1</b>	237	28,4	15,1	0,0028	0,616	8,51

Perdidas por gases de escape o humos para P2V1 es 8.56% para P3V1 es 8.51%

### Perdidas por combustión incompleta o inquemados (q2)

Determinados por el método BACHARACH que permite la detección de los inquemados sólidos es la prueba de opacidad de gases, en la combustión de ambas muestras P2V1 Y P3V1 se tiene como resultado valor de 1 en a prueba de opacidad en la escala Bacharach.

# “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

**Tabla 9**

Pérdidas por inquemados en función del índice de Bacharach

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

*Nota* Tabla estimacion perdidas por inquemados

Basándonos en esta tabla de estimación tendríamos una pérdida por inquemados del 0.7% para ambas combinaciones.

### Perdidas por purgas (q3)

Para determinar los valores de purgas se realizan varios cálculos a continuación indicados:

Cálculo de Calor Disponible, Qd.

T°ch combustible suministrado = 26°C

$$PCI \text{ diésel} = 42500 \frac{kJ}{kg}$$

- Calor específico del combustible ( $Q_{esp}$ ) formula que usa Borroto & González, 2007

$$Q_{esp} = 1,738 + (0,0025 \cdot T^{\circ}ch) = 1,738 + (0,0025 \cdot 26^{\circ}C)$$

$$\text{Entonces: } Q_{esp} = 1,803 \text{ [kJ/kg} \cdot 1^{\circ}C]$$

- Calor físico del combustible ( $Q_{fc}$ )

$$Q_{fc} = Q_{esp} * T^{\circ}ch = 1,803 \frac{kJ}{kg} * 1^{\circ}C * 26^{\circ}C$$

$$\text{Entonces } Q_{fc} = 46.878 \frac{kJ}{kg}$$

- Calor Disponible ( $Q_d$ )

$$Q_d = PCI + Q_{fc} \quad Q_d = 42500 \frac{kJ}{kg} + 46.878 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{Entonces } Q_d = 42546,878 \frac{kJ}{kg}$$

- Flujo de purga ( $\Phi_p$ )

TDS agua alimentación = 70 ppm

TDS deseados en la caldera = 3000 ppm

## “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

Entalpia del agua de la caldera:  $hls = 743 \frac{kJ}{kg}$ ,  $P = 8 \text{ bar}$

Entalpia del agua de alimentación:  $haa = 272.72 \frac{kJ}{kg}$ ,  $T^{\circ}alim = 65^{\circ}C$

Producción de vapor de la caldera, (kg/h).  $\Phi_r = 1697.76 \frac{kg}{h}$

- Flujo de purga ( $\Phi_p$ )

$$\Phi_p = \frac{TDS_a * \Phi_r}{TDS_c - TDS_a} = \frac{70 \text{ ppm} * 1697.76 \frac{kg}{h}}{3000 \text{ ppm} - 70 \text{ ppm}}$$

Entonces  $\Phi_p = 40.56 \frac{kg}{h}$

Gasto Combustible

$$G_c = 35 \frac{gal}{h} * \frac{1 \text{ día}}{10 \text{ horas}} * \frac{3.875 \text{ lt}}{1 \text{ gal}} * \frac{0.87 \text{ Kg}}{1 \text{ lt}}$$

Entonces  $G_c = 11.52 \frac{kg}{h}$

**Perdida purga**

$$q_{purga} = \Phi_p * \frac{(hls + haa)}{G_c} = 40.56 \frac{kg}{h} * \frac{\left(743 \frac{kJ}{kg} + 272.72 \frac{kJ}{kg}\right)}{11.52 \frac{kg}{h}}$$

Entonces  $q_{purga} = 3576.18 \frac{kJ}{kg}$

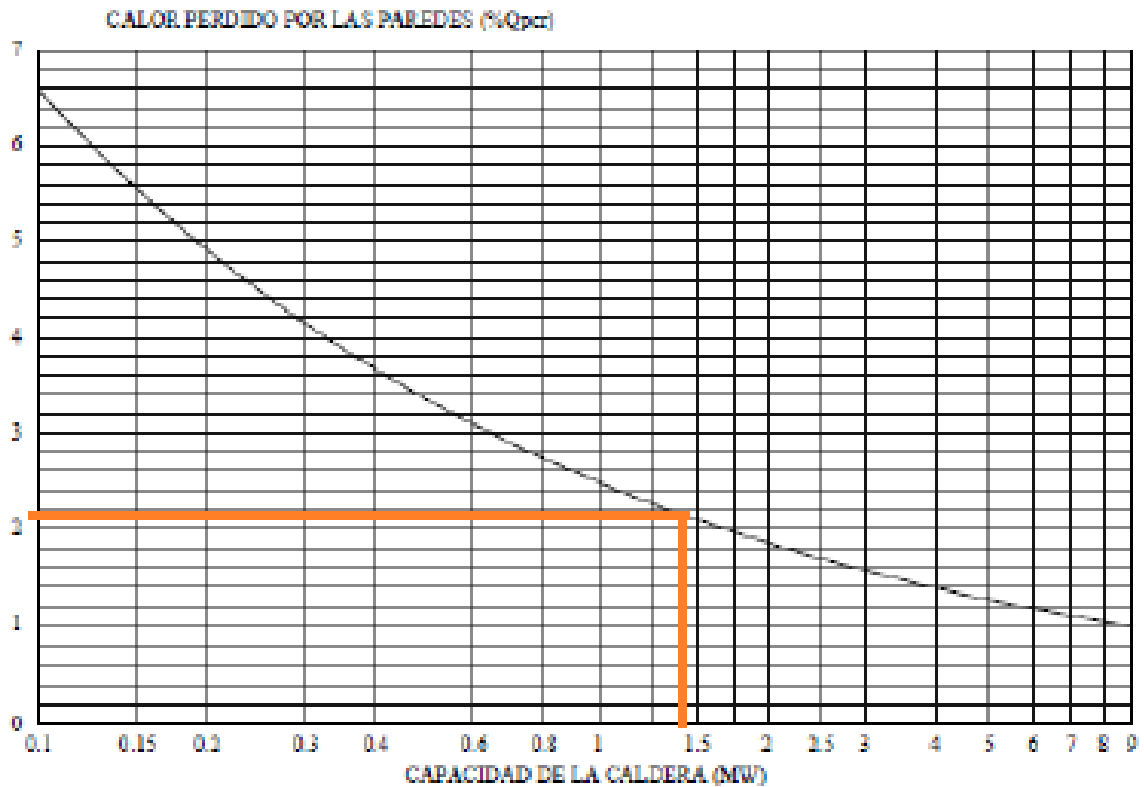
- Perdidas por purga en %

$$q_3 = 100 * \frac{q_{purga}}{Q_d} = 100 * \frac{3576.18 \frac{kJ}{kg}}{42545,878 \frac{kJ}{kg}} = 8.40\%$$

**Pérdidas por convección y radiación ( $q_4$ )**

La CCNNPURRE, 1995, establece para calderas compactas pirotubulares a partir de la capacidad de la caldera expresada en MW, se obtiene el calor perdido a través de las paredes por radiación y convección, mediante el siguiente gráfico descrito por Arjona, 2019:

**“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**



**Figura 7.** Arjona, A (2019). Pérdidas convectivo-radiantes en función de la capacidad máxima de la caldera. Recuperado de Revisión de métodos para la determinación de pérdidas y eficiencia energética en generadores de vapor.

La capacidad de la caldera en MW es de 1.47, por lo que usando la gráfica se tiene pérdidas por radiación y convección de 2.1%.

La eficiencia final por el método indirecto

$$\sum qp = q1 + q2 + q3 + q4$$

$$P2V1 \quad \sum qp = 8.56 + 0.7 + 8.40 + 2.1 = 19.76\%$$

$$P3V1 \quad \sum qp = 8.51 + 0.7 + 8.40 + 2.1 = 19.71\%$$

$$\text{Eficiencia P2V1} = \eta_i = 100\% - 19.76\% = 80.24 \%$$

$$\text{Eficiencia P3V1} = \eta_i = 100\% - 19.71\% = 80.29 \%$$

Por lo tanto, mayor es la eficiencia en la combinación P3V1

# **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

## **Conclusiones**

Una vez realizadas las diferentes mediciones y analizadas en el software de análisis de dato, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. La eficiencia de la caldera trabajando con una alimentación de agua a 65°C y presión de trabajo de 8 bar con un gasto de combustible de 35 g/h llega a tener una eficiencia calculada por el método directo del 86.1667 %.
2. El comportamiento de la combustión al modificar físicamente las variables establecidas de presión de combustible y porcentaje de venteo arroja diferentes valores entre los 85.7 % al 86.1667 % de eficiencia, el análisis comparativo del muestreo señala que las combinaciones P2V1 y P3V1, se obtiene la mayor eficiencia en la combustión.
3. Se establece una mayor eficiencia en la caldera pirotubular de 150 BHP en un rango 86.05 % a 86.20 % si la presión del combustible en el quemador es de 210 o 215 PSI con un 60 % de venteo, con esas condiciones el exceso de aire sería entre 3.5 % a 4.3 % y los gases de combustión entre 240 °C a 242.5°C, estos valores vendrían a ser los aproximados resultantes con un 95 % de confianza al establecer los parámetros experimentales como los apropiados para la operatividad de la caldera.
4. Al realizar el cálculo de pérdidas se evidencia que la eficiencia de la caldera es menor a lo determinado por el analizador de gases o por el método directo, con estos cálculos se logra tener una idea más clara de la eficiencia real de la caldera llegando a determinarse la mayor eficiencia con un valor de 80.29% en la combinación de presión de combustible a 215 PSI y 60% de venteo



# “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

## Recomendaciones

1. Para establecer el valor de mayor eficiencia en la combustión de una caldera es necesario determinar los rangos más apropiados de las condicionantes físicas que presente el quemador y establecer valores que permitan mantener la mayor eficiencia posible.
2. Un apropiado control de la temperatura de los gases de combustión en la chimenea ayuda a determinar una mala combustión, por lo cual es necesario un registro permanente y ante una variación deben realizarse los ajustes necesarios ya que se está perdiendo energía y eficiencia,
3. El venteo está directamente relacionado con el exceso de aire en la combustión, si varía un pequeño porcentaje puede llegar a generar una pérdida de eficiencia por que generaría una variación en la combustión, es necesario mantener el sistema de venteo en condiciones aceptables sin obstrucciones, siempre el flujo de calibración ideal.
4. Es necesario para tener una mayor exactitud de la eficiencia de la caldera determinar las diferentes pérdidas, hay otra cantidad de pérdidas, pero las más relevantes o mayores se dan en la combustión y purgas, usar métodos similares ayudan a determinar rápidamente la eficiencia del generador de vapor.

## Referencias Bibliográficas

- (CCNNPURRE), C. C. (1995). Eficiencia térmica de calderas compactas. Especificaciones y métodos de prueba. NOM-002-ENER.1995. 11-25.
- (CONUEE), C. N. (2009). *Consejos para ahorrar energía en sistemas de vapor*. Mexico: Sener.
- American Boiler Manufacturers Association. (01/01/2012). Requisitos de agua de calderas y pureza de vapor asociada para calderas comerciales. *A.B.M.A*, 40-42.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2014). Fired Steam Generators, Performance test codes. *PTC 4-2013*.
- Aristizábal, C., Schäfer, G., & Barrera, R. (2014). Análisis de pérdidas energéticas y económicas por transporte de vapor en tuberías sin un adecuado asilamiento térmico. *Redes de Ingeniería*, Vol 5 No 1.

## “EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”

- Arjona, A. (2019). *Revisión de métodos para la determinación de pérdidas y eficiencia energética en generadores de vapor*. Sevilla.
- Barma, M., Rahman, S. A., Saidurb, R., & Allouhi, A. (2017). A review on boilers energy use, energy savings, and emissions reductions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 970-983.
- Borroto, N., & González, R. A. (2007). *Combustión y Generación de Vapor*. Cienfuegos. Cienfuegos: UNIVERSO SUR.
- Calderas Vapor. (20 de mayo de 2020). *Técnicas de ahorro energético en el tratamiento de aguas*. Obtenido de Calderas de Vapor Servitec: <https://www.calderasvapor.com/tecnicas-de-ahorro-energetico-en-el-tratamiento-de-aguas/>
- CONUEE. (2009). *Consejos para ahorrar energía en sistemas de Vapor*. Mexico: Sener.
- Council of Industrial Boiler Owners(CIBO). (1997). *Energy Efficiency handbook*.
- Einstein, D., Worrell, E., & Khrushch, M. (2001). *Sistemas de vapor en la industria*. *Researchgate Article*, 1-12.
- Golato, M., Franck, F., Aso, G., Correa, C., & Paz, D. (2008). Metodología de cálculo de la eficiencia térmica de generadores de vapor. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, Tomo 85 (2): 17-31.
- Javier Armijo C., Gilberto Salas C. (2008). Ahorro de energía en una caldera utilizando economizadores. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*; , 42-46 .
- Lang, T., & Osman, S. (2016). *Eficiencia en Calderas de Mexico*. Mexico D.F.: Climate Action Reserve.
- Lavín, G. (2014). Tecnología de la combustión. En G. Lavín, *Combustibles y energía, en Ingeniería Química*. . Asturias, España.
- Luis García Sánchez. (2009). Evaluación de la eficiencia de combustión en equipos generadores de vapor. *Met & Flu*, 7 - 13.
- Mariños, D., Rojas, S., De los Santos, Y., & Chucuya, R. (2017). Evaluación de un Tanque Flash para el ahorro energético en el sistema recuperador de condensados del Hospital la Caleta. *Sciéndo*, 19-29.
- Ministerio del Ambiente y Agua. (2002). *Norma de Emisiones al aire desde Fuentes Fijas de Combustion*. Quito.
- Oelker, A. (2016). Análisis de la eficiencia en las calderas. *Thermal Engineering Ltda.*, 1-12.
- ONUDI. (Julio de 2014). *Manual de capacitación en Optimización de sistemas de vapor industrial (OSV)*.
- Palacios, J. L., Peña, A., & Hidalgo, A. (2015). Técnicas de Gestión Energética en Sistemas de Vapor. *Revista Politécnica*, Vol. 35, No. 3.

## **“EVALUACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP EN LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A.”**

Pando, G., Mayorga, P., Magaña, H., Velarde, S., & Pelaez, A. (2019). Afectación de variables operativas en el consumo de combustible de una Caldera. *Revista Iberoamericana de Ciencias*.

Pérez, Amaury; Fernández, Yenney. (2017). Evaluación de la generación de vapor de la fábrica de refrescos 23 de Agosto, en Camagüey. *Mutis - Research Article* , 7-19.

Riello. (mayo de 2016). R1 series. *Folleto de datos técnicos*. Legnago, Italia: Riello.

Sanchis, J. C. (10 de febrero de 2021). *Calderas Industriales*. Obtenido de <https://www.calderasformacion.com/>

Trust, C. (2020). *Coverision factors, Energy and carbon conversions 2020 update*. Inglaterra.