



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“MEJORA DE LOS PARÁMETROS ENERGÉTICOS E IMPACTO AMBIENTAL DE LA CALDERA DE VAPOR EN POSTES DEL NORTE S.A. MEDIANTE EL CAMBIO DE CARBÓN ANTRACITA POR CÁSCARA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE”

**Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniero Industrial**

AUTORES:

Bach. Gonzales Lozada, Dante Fausto

Bach. Rivera Parra, Linda Natali

ASESOR:

Ing. Raúl Paredes rosario

TRUJILLO – PERÚ

2013

DEDICATORIA

A dios, por brindarme la vida día a día y regalarme las cosas que me brinda, por estar a mi lado en mis alegrías y tristezas, dándome la fortaleza necesaria para seguir adelante y sobre todo por regalarme lo mejor, mi familia que es mi vida.

A mi Hermano Dieter, por ser un ejemplo a seguir, a mí cuñada Liliana por sus consejos que junto a mi hermano me brindan un gran apoyo incondicional y ser los mejores amigos

A mis tíos, Dorila, Graciela, Pedro, Juana, Noé y Nelly; por estar a mi lado cuando más lo necesitaba en esta vida.

A mi papá Fausto Gonzales Chuan y mi mamá Teresa Lozada Navarrete, porque no solo les debo la vida, les debo las buenas enseñanzas y de nunca rendirse ante las adversidades y seguir adelante, gracias por el amor, los consejos y por el apoyo, y sobre todo por educación

Al pequeño de la familia, Matías André, por traer las nuevas energías y alegrías que nos ha llenado el corazón de esta familia.

A mi abuelo Ausberto, mi tío Hugo, mi tía María Elvia, que ahora que están con la gracia del señor, siempre creyeron en mí y en todas mis metas proyectadas.

Dante Fausto Gonzales Lozada

A Dios, Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres que me vieron nacer y crecer, gracias por sus enseñanzas y sus buenos consejos que hicieron de mí una persona de principios y valores, y todo ello con una gran dosis de amor.

Con respeto y admiración a mis padres:

Ángel Adrián, Rivera Berrú

Liana Juana, Parra Noha

A mis hermanos Angel y Anabella, que con su amor me han enseñado a salir adelante. Gracias por su paciencia y preocuparse por mí, por compartir sus vidas conmigo, pero sobre todo gracias por estar en los momentos más importantes de mi vida, los quiero.

A mis Abuelitas Dagnina y Natividad, preocuparse por nosotros y sobre todo por darme unos padres maravillosos y a todos mis tíos y primos que se encuentra en Arequipa, que estuvieron conmigo durante mi niñez y regalarme momentos inolvidables.

A Mayra Fernández, que es como una hermana, gracias por tus consejos y por tu apoyo durante todo el tiempo que he vivido en Trujillo, te quiero mucho.

Linda Natali Rivera Parra

EPIGRAFE

“El miedo es natural en el prudente, y el saberlo vencer es ser valiente.”

Alonso de Ercilla y Zúñiga

“Las mejores vidas son las que conducen al alma a ser más justas, y estas se hacen
inmortales”

Platon

AGRADECIMIENTO

Al culminar un trabajo tan arduo como lo fue la Tesis, hemos comprendido que los conocimientos impartidos nos fueron de gran utilidad, dándonos un valor agregado como profesionales; es por ello que queremos aprovechar este espacio para expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestra Universidad por ser un excelente espacio de formación y estudio y por darnos el privilegio de ser formados por profesionales de altos niveles.

A la empresa POSTES DEL NORTE S.A. por abrirnos las puertas a sus instalaciones, darnos los medios necesarios para investigar y dejarnos aportar nuestros conocimientos a través del desarrollo de la tesis.

A nuestro asesor, Ing. Raúl Paredes Rosali, un agradecimiento especial y sincero por su paciencia, tiempo y dedicación para el direccionamiento de nuestras ideas a lo largo del tiempo asignado en la elaboración de la tesis.

A todas las personas que a lo largo del trabajo realizado, colaboraron en nuestro trabajo de investigación, es así que queremos agradecer al Ing. Carlos Jave Gutiérrez, el Ing. Marco Zegarra Alvarado, la Ing. Ana Teresa La Rosa González Otoy y al Ing. Santiago Ulloa.

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad y cumpliendo lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte, para Optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, ponemos a vuestra consideración el presente Proyecto intitulado:

“MEJORA DE LOS PARÁMETROS ENERGÉTICOS E IMPACTO AMBIENTAL DE LA CALDERA DE VAPOR EN POSTES DEL NORTE S.A. MEDIANTE EL CAMBIO DE CARBÓN ANTRACITA POR CÁSCARA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE”

El presente proyecto ha sido desarrollado desde diciembre 2012 a julio del año 2013 y esperamos que el contenido de este estudio sirva de referencia para otras Proyectos o Investigaciones.

Bach. Dante Fausto Gonzales Lozada

Bach. Linda Natali Rivera Parra

LISTA DE MIEMBROS DE LA EVALUACIÓN DE LA TESIS

Asesor: Ing. Raúl Paredes Rosario

Jurado 1: Ing. Ana Teresa La Rosa González Otoyá

Jurado 2: Ing. Miguel Ángel Alcalá Adriansen

Jurado 3: Ing. Marco Baca López.

RESUMEN

El trabajo de investigación está basado en la mejora de los Parámetros Energéticos e Impacto Ambiental de la caldera en la empresa POSTES DEL NORTE S.A. De la evaluación realizada se han observado deficiencias en los parámetros de dicha caldera afectando el rendimiento energético; asimismo, se evidenció que las cenizas emitidas son el principal factor que afecta a los habitantes de la zona aledaña.

Por lo descrito anteriormente, se efectuó el análisis y comparación de las emisiones de gases y cenizas emitidas por la caldera, llegando a la conclusión que se puede reducir el impacto ambiental cambiando el combustible inicial (carbón) que tienen gases de $61,52\text{N}_2$, $6,25\text{CO}_2$, $0,07\text{S}_2$, a uno de Biomasa (cáscara de arroz) que se obtendría $27,92\text{N}_2$, $3,12\text{CO}_2$ y $0,00\text{S}_2$ reduciendo de esta manera la emisión de cenizas.

ABSTRACT

The research is based on the Improved Energy and Environmental Impact Parameters Boiler EMPRESA POSTES DEL NORTE S.A.. From assessment deficiencies have been observed in the parameters of the boiler affecting energy performance also showed that the ashes are issued are the main factor affecting inhabitants of the surrounding sector.

By the above, and analysis was performed comparing the gas and ash emissions emitted by the boiler, leading to the conclusion that can reduce environmental impact changing the initial fuel (coal) to one of Biomass (rice husk) reducing ash emissions.

INDICE

DEDICATORIA	ii
EPÍGRAFE	iv
AGRADECIMIENTO	v
PRESENTACIÓN	vi
LISTA DE MIEMBROS DE LA EVALUACIÓN DE LA TESIS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INDICE	x
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE GRÁFICOS	xiii
INDICE DE FOTOS	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO 1	1
GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Descripción del problema de investigación	2
1.2 Formulación del Problema.	3
1.3 Delimitación de la investigación.	3
1.4 Objetivos.	3
1.4.1 Objetivo General.	3
1.4.2 Objetivos específicos.	3
1.5 Justificación.	3
1.6 Tipo de Investigación.	4
1.7 Hipótesis.	4
1.8 Variables.	4
1.9 Operación de Variables	5
1.10 Diseño de la Investigación	6
CAPITULO 2	8
REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1 Antecedentes de la Investigación	9
2.2 Base Teórica	10
2.3 Definición de Términos	30
CAPÍTULO 3	32
SOLUCIÓN PROPUESTA	32
3.1 Diagnostico Actual de la Caldera Postes del Norte.	33
3.1.1 Condición Actual de la Caldera.	33

3.1.2	Características.....	33
3.1.3	Ubicación de la Caldera.....	38
3.2	Esquema del proceso de vapor de la caldera	39
3.3	Análisis energético y másico de la caldera	40
3.3.1	Cálculo con el carbón antracita.....	40
3.3.2	Cálculo con la cáscara de arroz.....	43
3.4	Evaluación del impacto ambiental de las emisiones de gases y cenizas	46
3.4.1	Combustión con el carbón antracita.....	46
3.4.2	Combustión con la cáscara de arroz.....	48
3.5	Análisis económico del cambio de combustible, determinando beneficios y costos.....	50
3.5.1	Análisis con el carbón antracita	50
3.5.2	Análisis con el cáscara de arroz	51
3.6	Comparación del impacto medio ambiental, de acuerdo a lo generado por el combustible actual y el mejorado.....	52
CAPÍTULO 4.....		53
EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA		53
CAPÍTULO 5.....		56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		58
BIBLIOGRAFÍA		61
ANEXOS		67

INDICE DE TABLAS

TABLA N°1: Lista de Indicadores	5
TABLA N°2: Tipos de Caldera	11
TABLA N°3: Tipos de Calderas.....	12
TABLA N°4: Energía producida por la combustión de fósiles	13
TABLA N°5: Tipos de Carbón	16
TABLA N°6: Poderes Caloríficos.	20
TABLA N°7: Características de la Cáscara de Arroz.....	21
TABLA N°8: Valor de la energía y costos de cuatro fuentes de energía en la India.	22
TABLA N°9: Tabla de Vapor de Agua para el cálculo con carbón antracita.....	40
TABLA N°10: Tabla de Composición química Carbón Antracita	46
TABLA N°11: Tabla de Composición química Cáscara de Arroz	48
TABLA N°12: Cuadro Comparativo Carbón vs Cáscara de arroz.....	52
TABLA N°13: ROI.....	55

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1: Clasificación del Carbón.....	13
FIGURA N°2: Diferentes Aplicaciones de la Biomasa.	17
FIGURA N°3: Ciclo de Rankine.....	23
FIGURA N°4: Balance termodinámico.....	24
FIGURA N°5: Ciclo termodinámico.....	24
FIGURA N°6: Colores de Ceniza.	26
FIGURA N°7: Ceniza de Fondo.	26
FIGURA N°8: Dibujo de la Caldera Postes Del Norte.	35
FIGURA N°9: Plano de Postes del Norte	38
FIGURA N°10: Proceso del Vapor	39

INDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO N°1: Clasificación según la Norma AST INTERNATIONAL.....	15
GRAFICO N°2: Distribución de la producción de cáscara de arroz	18
GRAFICO N°3: Estacionalidad de la producción de cáscara en la costa norte.....	19

INDICE DE FOTOS

FOTO N°1: Caldera Postes del Norte.	34
FOTO N°2: Tanque de agua de la Caldera Postes Del Norte.....	35
FOTO N°3: Leña usada para el encendido de la caldera.....	36
FOTO N°5: Tanque de sal suministrado al agua.....	36
FOTO N°6: Lavador de Gases.	37
FOTO N°7: Manómetro del Vapor.....	37
FOTO N°8: Válvulas de vapor para el secado de los postes.....	37

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está enfocado en realizar la “Mejora de los Parámetros Energéticos e Impacto ambiental de la caldera de vapor en Postes del Norte S.A. mediante el cambio de carbón antracita por cáscara de arroz como combustible”, a través de la situación actual que presenta la empresa.

Se utilizarán los conocimientos de la ingeniería aplicados a la termodinámica e impacto ambiental, para conocer en primera instancia los gases que emite la caldera, con el combustible actual e identificar así de esta manera los problemas ambientales que presenta; se investigará acerca del nuevo combustible “Cáscara de Arroz” para mejorar los parámetros energético de la caldera y minimizar el impacto ambiental, realizando los cálculos según las leyes de la termodinámica.

Se dará a conocer también, mediante el siguiente proyecto, la importancia de otras fuentes de energía que no solo mejora de parámetros energéticos y menor grado de impacto ambiental, sino por la reducción de costos del nuevo combustible para hacer aprovechado por muchas empresas industriales.

Por último se formulará la propuesta de mejora, analizando cada resultado obtenido para dar a conocer a la Empresa Postes del Norte S.A

CAPITULO 1

GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema de investigación

Postes del Norte S.A, es una empresa que se creó el 23 de abril de 2003, que se dedica a la fabricación de postes y accesorios de concreto. Su éxito se ve reflejado en el mercado el cual hizo que creciera a través del corto tiempo que se encuentran en la industria, hoy cuentan con 4 plantas distribuida en el norte del Perú; 2 en Trujillo una queda en el Milagro y la otra en el Parque Industrial, otra está en Cajamarca y en Piura, entre sus principales clientes se encuentra HCB contratistas generales S.R.L con una participación del 50% del total de ventas a diferencia de sus otros clientes que son Electro norte con el 28%, Municipios y Gobiernos Regionales con el 10%, obras particulares el 8% y otros con el 4% de las ventas de la empresa.

Actualmente la empresa cuenta con muchas deficiencias, una de las cuales y de mayor preocupación es el uso de una caldera en sus instalaciones para el proceso productivo de postes, la cual utiliza como combustible el carbón antracita, que es contaminante pues genera gases nocivos, como CO₂, SO₂, NO₂, etc., la cual origina conflictos con las personas de los alrededores del distrito del Milagro, debido al exceso de ceniza emitidas y formación de lluvia ácida, generó una preocupación de problemas respiratorias que podrían existir a mediano y largo plazo; es por ello que la empresa decidió cambiar de ubicación la caldera para que el impacto sea menor, lo cual no consiguió reducir los contaminantes en su totalidad, teniendo aún problemas, buscando hasta ahora como mejorar el problema con los vecinos de la zona.

Otros de los serios problemas que presenta es la poca experiencia que tienen los operarios, ya que el manejo de la caldera no es el adecuado, además que esta cuenta con un lavador de gases artesanal y su funcionamiento se da cuando el operario crea conveniente ya que no es consciente del impacto que pueda generar las cenizas

Por lo cual se está buscando nuevas soluciones al problema que se le presenta, una de ellas podría ser el combustible por biomasa, que se busca además de mejorar los parámetros energéticos e impacto ambiental de la caldera de vapor en Postes del Norte S.A. con el uso de la cáscara de arroz como combustible, y proponer una mejora a los dueños para mejorar el impacto ambiental e incluso reducir los costos con el nuevo combustible.

1.2 Formulación del Problema.

¿Cuál es el impacto del cambio de carbón antracita por la cáscara de arroz como combustible, en los parámetros energéticos e impacto ambiental en la caldera de vapor de Postes del Norte S.A?

1.3 Delimitación de la investigación.

- El proyecto será aplicada y no experimental.
- Se trabajara con datos aproximados en la parte técnica y económica con información de especialistas, ya que la temperatura de la caldera debe ser 1000 °C debido a que es la temperatura ideal de la caldera y los costos acorde al mercado de la zona.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Definir la viabilidad de mejora de los parámetros energéticos y reducir el impacto ambiental de la caldera de vapor Postes de Norte S.A, mediante el uso de la cáscara de arroz como combustible.

1.4.2 Objetivos específicos.

- O.1.** Análisis energético y másico de la caldera.
- O.2.** Evaluar el impacto ambiental de las emisiones de gases y cenizas generado por la combustión actual.
- O.3.** Realizar un análisis económico del cambio de combustible, determinando beneficios y costos.
- O.4.** Realizar la comparación del impacto medio ambiental, de acuerdo a la lo generado por el combustible actual y el mejorado.

1.5 Justificación.

- Criterio teórico.

Mediante el cambio de combustible de carbón antracita por la cáscara de arroz como combustible, beneficiaría a diferentes empresas que tengan dentro de su cadena de producción el uso de una caldera de vapor cuya fuente de alimentación solo es el carbón, ya que el nuevo combustible mejoraría los parámetros energéticos.

- Criterio Aplicativo.

El nuevo combustible opcional busca reducir los costos en un 50% en cuanto al combustible utilizado, ya que, este insumo es desechado por los agricultores, por lo cual, ambas partes serian beneficiadas.

- Criterio Valorativo.

Además estarían contribuyendo con responsabilidad social, ya que estarían dando trabajo a los acopiadores de la cáscara de arroz, también se busca reducir en un 50% las emisiones de cenizas contaminantes, las cuales tendrían una repercusión positiva tanto para la población como para el medio ambiente.

- Criterio académico.

El fin del proyecto es reducir los costos e impacto ambiental producidos por la caldera, mejorando los parámetros energéticos y también dar a conocer nuevas fuentes de energía, como la biomasa en este caso la cáscara de arroz.

1.6 Tipo de Investigación.

- Según el propósito: Aplicada.
- Según el diseño de investigación: Pre- Experimental.

1.7 Hipótesis.

“El uso de la cáscara de arroz en reemplazo del carbón antracita impacta positivamente en los parámetros energéticos y medioambiental de la caldera de Postes del Norte S.A.”

1.8 Variables.

- **Variable Dependiente:**
Parámetros energéticos e impacto ambiental de la caldera de Postes del Norte S.A.
- **Variable Independiente:**
Cambio de combustible de carbón antracita a cáscara de arroz.

1.9 Operación de Variables

Los indicadores que se usaran en el trabajo de investigación, en la gran mayoría son técnicos, como se podrá ver en la Tabla N° 1, que se verán indicadores con referente a la cantidad de contaminante, y eficiencia de la caldera.

TABLA N° 1: Lista De Indicadores

NOMBRE DE INDICADOR	TIPO	FORMULA	DESCRIPCION
Rendimiento Térmico	Técnico	$\frac{Q_{Util}}{Q_{Total}} * 100$	Rendimiento que evalúa entre la potencia y el calor suministrado
Cantidad de cada contaminante que se arroja al aire por cada carbón consumido	Técnico	$\frac{Q \text{ contaminante}}{Q \text{ carbon utilizado}} * 100$	Indicador que nos dará la cantidad de gas contaminante SO ₂ , por cada Kg utilizado.
Relación Aire Combustible	Técnico	$\frac{\text{masa aire}}{\text{masa combustible}}$	Indicador de la relación existente el aire y combustible
Relación de Gas	Técnico	$\frac{m_{gas}}{m_{cble}}$	Indicador de la relación existente del gas emitido a la atmosfera y el combustible
Masa Aire	Técnico	$\frac{m_v \cdot (h'' - h') \cdot n}{Cp_{agua} \cdot t_{agua}}$	Masa de aire requerido para el funcionamiento de la caldera.
Masa Combustible	Técnico	$\frac{m_v \cdot x \cdot (H_v - H_a)}{PCI \cdot x_{Caldera}}$	Masa de combustible requerido para el funcionamiento de la caldera.
Costo producción de vapor	Económica	$C \cdot U_{cble} \cdot x \cdot m_{cble}$	Costo total en el período de tiempo para el funcionamiento de la caldera.
LMP	Técnico	$\frac{m_{GAS}}{V_{GAS}}$	Relación que existe entre masa y volumen del gas para la comparación del límite máximo permisible.

Fuente: [URL #010], [URL #011], [URL #012], [URL #013]

1.10 Diseño de la Investigación.

1.10.1 Sujetos.

A. Población.

La caldera Postes del Norte S.A

B. Muestra.

La caldera Postes del Norte S.A

1.10.2 Técnicas, procedimientos e instrumentos.

A. De recolección de información.

- Entrevistas al operario donde se realizará la investigación.
- Páginas Web para la realizar la investigación.
- Libros que tengan que ver con el tema aplicar el siguiente proyecto.
- Tesis que contengan antecedentes para que sirvan de sustento al tema a realizar.
- Preguntas a especialistas que conozcan el tema de termodinámica y de Biomasa
- Información de la Empresa que servirá de data para el desarrollo del presente proyecto.

B. De procesamiento de información.

a) Técnicas de Obtención de datos:

➤ Cuantitativo:

- **Entrevistas:** Al operario de la caldera y al Ingeniero que elaboro a la caldera.
- **Muestras:** De las emisiones de cenizas para su respectivo análisis apoyado por la empresa Casa Grande S.A.A.
- **Datos:** Los poderes caloríficos de la caldera, contaminantes, humedad, volatilidad.

➤ **Cualitativo:**

- **Observación:** Para determinar la situación actual de la caldera.

b) Técnicas de Análisis e Interpretación de los datos

➤ **Con respecto a la termodinámica.**

- Cálculos adecuados de la situación de la caldera, para conocer su rendimiento, aplicando las leyes de la termodinámica.

➤ **Con respecto al medio ambiente.**

- Las emisiones de cenizas serán comparadas con el combustible actual y el mejorado.

1.10.3 Instrumentos:

- Cuestionario de la entrevista.
- Medidor de gases.
- Pirómetro.
- Cuaderno de notas.
- Cámara Fotográfica
- MP3.
- Hojas de Cálculo.

CAPITULO 2

REVISIÓN DE

LITERATURA

2.1 Antecedentes de la Investigación

Antecedente nacional [Texto 001]

- Título:
“Combustible alternativo: la cascarilla de arroz”,
- Autor:
Docente de la PUCP.
- Resumen:
Donde sus conclusiones fueron, La cascarilla de arroz es utilizado como briquetas para disminuir la contaminación y tener un buen rendimiento de poder calorífico

Antecedente local 1 [Texto 002]

- Título:
“Optimización de parámetros energéticos en la caldera acuotubular, bagacera de la Empresa Casa Grande para disminuir el consumo de petróleo e incrementar su eficiencia”
- Autor:
Matos Ruiz, Guillermo Nicolás
- Resumen:
Los parámetros energéticos fueron posibles de optimizar en una caldera en operación debido a:
 - Pérdida de calor de las paredes de la caldera.
 - Pérdida de calor por gas de combustión
 - Pérdidas por purgas.
 - La humedad de la biomasa.
 - Por ello se recomienda, el secado de la biomasa, el mantenimiento frecuente de la caldera, con una limpieza en los tubos por las cenizas.

Antecedente local 2 [Texto 003]

- Título:

“Costo de generación de vapor en calderas convencionales piro tubulares y eléctricas en función de su capacidad”

- Autor:

Rubio Gutiérrez, Edgar.

- Resumen:

Se recomienda una evaluación de las calderas piro tubulares que utilizan GLP o GN, debido que son combustibles más limpios ya que los combustibles fósiles, producen efecto invernadero tales como CO₂, CO y CH₄, que son causantes de los cambios climáticos; otra forma posible de aumentar la eficiencia, es el empleo de los biocombustibles, para reducir la emisión del GEI.

Antecedente local 3 [Texto 004]

- Título:

“Análisis Energético en caldearas piro tubulares para determinar la factibilidad técnica-económica en el cambio de combustible Diesel por GLP”

- Autor:

Lujan Minchola, Juan.

- Resumen:

Es factible técnica y económicamente remplazar un sistema de combustión por GLP, ya que además permite un ahorro de combustible para ello se recomienda efectuar ensayos de aire.

2.2 Base Teórica

A. Calderas De Vapor: [Texto 005]

En los Estados Unidos se desarrolló primero la caldera piro tubular, probablemente por la sencillez de la fabricación que esta tenía; con la instalación de la primera caldera se introdujo el uso de los centros mecánicos, que para obtener la potencia más barata se empezaron a aumentar la presión

Las necesidades de combustible para una máxima producción continua de vapor y para sobrecargas el cálculo requiere de una estimación aproximada del rendimiento de la caldera, el cual depende de la recuperación térmica. En general, la tabla N°2 nos muestra una guía para estimar el rendimiento probable de la caldera. En virtud de él se puede deducir la cantidad de combustible a quemar, los pesos del aire para la combustión y de los humos y la cantidad de calor que liberara.

TABLA N°2: Tipos De Caldera

Combustible	Tipo de caldera	Servicio	Rendimiento a plena carga %
Carbón	Horizontal y vertical	Calefacción	65 a 75
Carbón	Acuotubular de baja presión	Calefacción	70 a 75
Aceite o gas	Acuotubular de baja presión	Calefacción	75
Carbón	Acuotubular de baja presión	Fuerza	75 a 77
Aceite o gas		Fuerza	75 a 80
Carbón para una caldera mediana	Caldera y recuperación	Fuerza	80 a 83
Carbón para una caldera regular	Caldera y recuperación	Fuerza	83 a 86
Gas natural y aceite	Caldera y recuperación	Fuerza	82 a 85

Fuente: [Texto 005]



Las calderas de vapor se utilizan en la mayoría de las industrias debido a que muchos procesos emplean grandes cantidades de vapor. La caldera mayormente se caracteriza por una capacidad nominal de producción de vapor en t/h a una presión especificada y con una capacidad adicional de caudal en puntas de consumo de la fábrica. A la caldera se le exige, pues, mantener una presión de trabajo constante para la gran diversidad de caudales de consumo en la factoría, por lo cuál debe ser capaz de: [Texto 006]

- Aportar una energía calorífica suficiente en la combustión del fuel-oil o del gas con el aire.

- Desde el punto de vista de seguridad, el nivel debe estar controlado y mantenido dentro de unos límites;
- Es necesario garantizar una llama segura en la combustión.
- El sistema de control debe ser seguro en la puesta en marcha, en la operación y en el paro de la caldera.
- El funcionamiento de la caldera debe ser optimizado para lograr una rentabilidad y economía adecuadas, lo cual es posible con un control digital y/o distribuido que permite optimizar la combustión (ahorros de 2 a 10 % en combustible) y ganar en seguridad.

a. Tipos de Caldera:

TABLA N°3: Tipos De Calderas

• Acuotubulares:	• Piro tubulares:
<p>Son aquellas calderas en las que el fluido de trabajo se desplaza por tubos durante su calentamiento.</p> 	<p>El fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente atravesado por tubos, por los cuales circulan gases a alta temperatura, donde el agua se evapora al estar en contacto con los tubos.</p> 

Fuente: [URL #001]

b. Control de combustión en las calderas: [Texto 007]

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

El controlador de la presión de vapor ajusta la válvula de control de combustible. La señal procedente del caudal de aire es modificada por un relé de relación para ajustar la relación entre el aire y el combustible, y pasa a un

controlador que la compara con la señal de caudal de combustible. Si la proporción no es correcta, se emite una señal al a la válvula de mariposa, de modo que el caudal de aire es ajustado hasta que la relación combustible aire es correcta.

B. Carbón [Texto 008]

El carbón pertenece a los combustibles fósiles que se genera de la materia orgánica que quedó atrapada bajo la superficie terrestre durante muchos milenios. La combinación de temperatura presión y oxígeno disponibles, dio origen a los hidrocarburos que se extraen y se utilizan en la actualidad: Carbón, petróleo crudo y gas natural.

Las comparaciones de liberación de energía, entre el carbón, Petróleo crudo, gasolina y gas natural se presentan en la tabla N°4

TABLA N°4: Energía producida por la combustión de fósiles

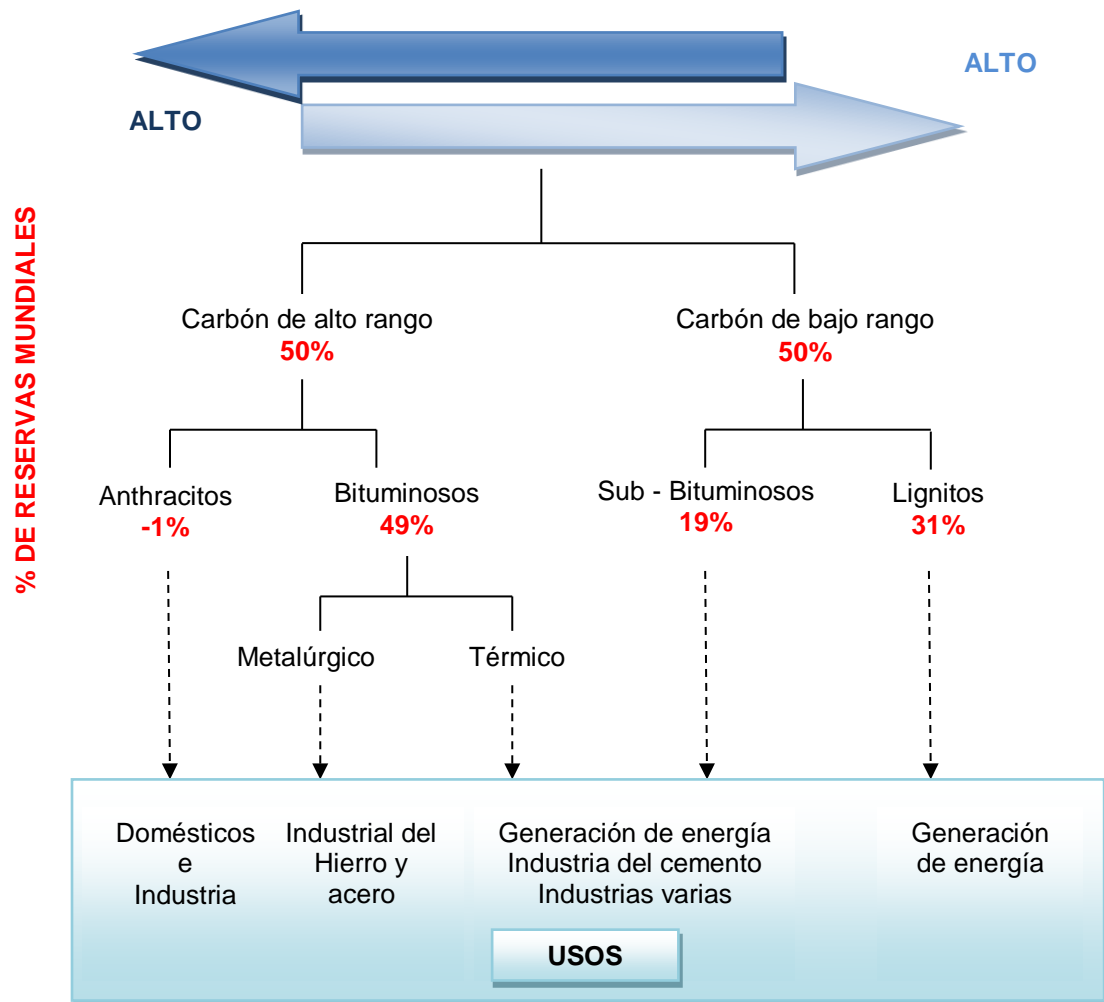
SUSTANCIA	Energía producida (KJ/g)
Carbón	29 -37
Crudo	43
Gasolina (Petróleo refinado)	47
Gas Natural (Metano)	50

Fuente: [Texto 008]

a. Clasificación. [Url #002]

La clasificación general del carbón es por rango o categoría, desde turba y lignitos, pasando luego por los carbones bituminosos hasta llegar a la antracita, por lo general, cuanto más alto sea el rango del carbón, mayor será su edad, contenido de carbono y poder calorífico, de igual modo, más bajo será su contenido de hidrógeno y materias volátiles, como se aprecia en la figura N°1.

FIGURA N°1: Clasificación del Carbón

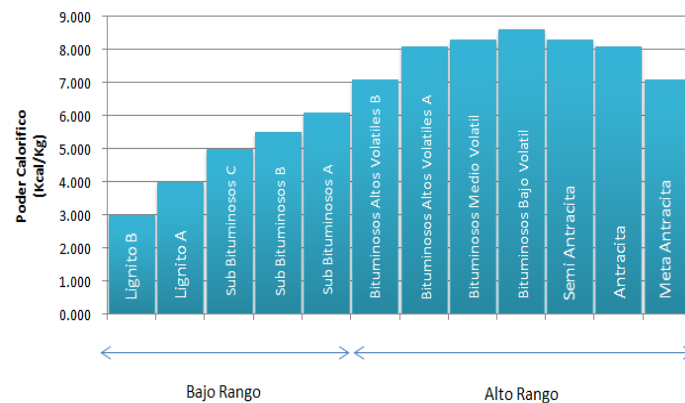


Fuente: [URL #002]

Según las normas ASTM INTERNATIONAL fijan un estándar en la clasificación de carbones, como se aprecia en el Grafico N°1.

- Carbones Bajo rango aquellos cuyo poder calorífico bruto, base húmeda sea menor a 6.390 Kcal/Kg., se encuentran los carbones sub bituminosos y los lignitos.
- Carbones los carbones de alto rango, con un poder calorífico mayor a 6.390 Kcal/Kg., se incluyen los carbones bituminosos y antracitas.

GRAFICO N°1: Clasificación según la Norma AST INTERNATIONAL



Fuente: [URL #002]

a. Propiedades Del Carbón. [Url #002]

1. Humedad.

La humedad del carbón consta de humedad inherente y libre, es la humedad combinada y la retenida en los poros del carbón, la cual es una función del rango o categoría del carbón. La humedad libre, o externa, es la existente en la superficie del carbón y en los intersticios entre las partículas y es la contribución hecha por las aguas de la mina o la que se agrega con el lavado, supresión del polvo y la lluvia.

La eficiencia de la caldera bajará alrededor de 0,5% por cada 5% de incremento en el contenido de humedad del carbón. Se puede esperar un aumento en el factor de costo proporcional al incremento en el contenido de humedad

2. Contenido de Volátiles.

Este factor afecta la combustibilidad del carbón pulverizado, los carbones con bajo contenido de volátiles se inflaman con menos facilidad, necesitan más tiempo para la combustión y por lo tanto aumentan el tiempo de permanencia en el hogar y el volumen.

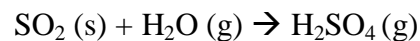
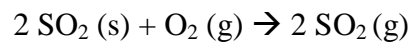
3. Combustión.

El carbón se puede quemar con elevada eficiencia, para producir bajas emisiones con poco mantenimiento del hogar, pero su combustión es un proceso complejo. El diseño de los quemadores y equipo asociado requiere considerable experiencia.

El proceso básico de combustión incluye la formación de CO₂, la formación y combustión subsecuente de CO₂ y la combustión de los volátiles hay puntos importantes como el tiempo de permanencia en el hogar, la temperatura, cantidad y distribución del aire turbulencia del aire; y la distribución del combustible dentro del hogar.

C. Hulla (Carbón mineral o carbón de piedra) [Texto 008]

Cuando se somete a combustión parte de las impurezas se dispersan en la atmosfera y otras quedan en las cenizas que se forman. Las emisiones podrían variar de 60% de SO₂ Y 25% de mercurio al medio ambiente, el SO₂ en la atmosfera al reaccionar con agua y O₂ forman acido sulfúrico, el cual contribuye (junto con el acido nítrico) al fenómeno conocido como lluvia acida.



Estos ácidos son dañinos para el medio ambiente, las leyes limitan las emisiones de dióxido de azufre de las plantas de energía que funcionan con Hulla. Se pueden clasificar en tres categorías, como se puede apreciar en la Tabla N°5:

TABLA N5: Tipos De Carbón

Tipo	Consistencia	Contenido de Azufre	Contenido de calor (KJ/g)
Lignito	Muy suave	Muy bajo	28 – 30
Carbón	Suave	Alto	29 – 37
Antracita	Duro	Bajo	36 – 37

Fuente: [TEXTO 008]

D. Biomasa [Url #003]

La biomasa ha sido la base del suministro energético en épocas pasadas de la humanidad está asociada al origen de la vida, donde esta fuente de energía que acompaña al hombre a lo largo de su historia está llamada a ser uno de los principales recursos del futuro.

Actualmente cubre aproximadamente el 14% de las necesidades energéticas mundiales. En los países industrializados, sin embargo, solo cubre de media el 3% de la energía primaria, con la excepción de los países nórdicos europeos. Los países en vías de desarrollo su consumo tradicional de leña es un 38% de su demanda energética. En algunos países de África, por ejemplo, este porcentaje se eleva al 90%. Respecto a su uso en el mundo, el 75% es doméstico tradicional y el 25% un uso industrial. Hoy día, el consumo de biomasa tiene un consumo cada vez más creciente enfocada a una utilización con tecnologías eficientes.

E. Aplicaciones de la Biomasa en las Industrias.

La biomasa es una fuente de energía importante para muchas industrias, las aplicaciones industriales más importantes son las siguientes, Figura N°5.

FIGURA N°2: Diferentes Aplicaciones De La Biomasa.



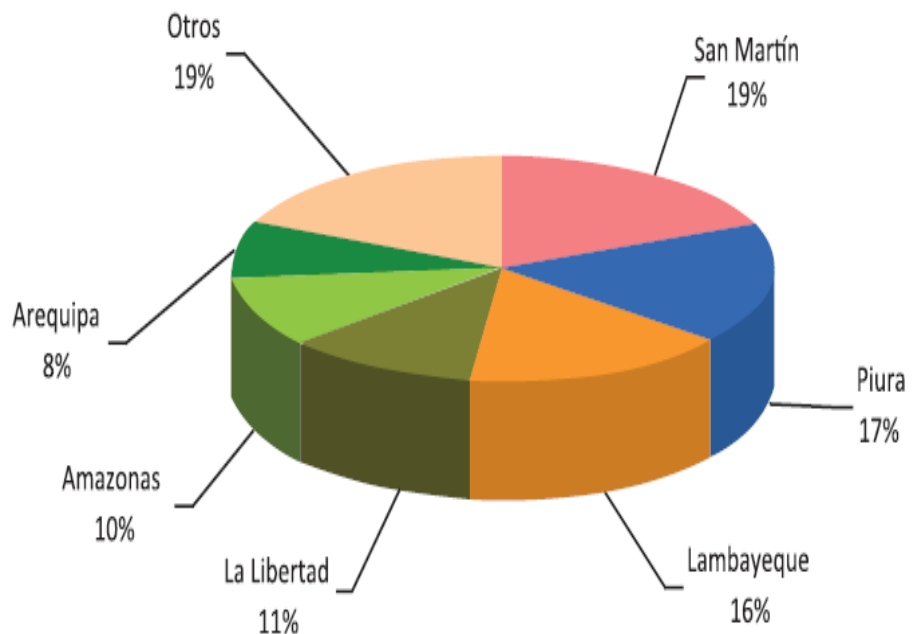
Fuente: [URL #003]

F. Plantas de Biomasa en el Perú:

Una de las principales biomásas en el Perú es la cáscara de arroz, donde en la costa norte del Perú (Piura, Lambayeque, La Libertad y San Martín) representan aproximadamente el 63%, ver gráfico 2, de la producción nacional de los cuales la región norte, solo tuvo su mayor estacionalidad es en los meses de abril a julio, ver gráfico 3. [Url #005].

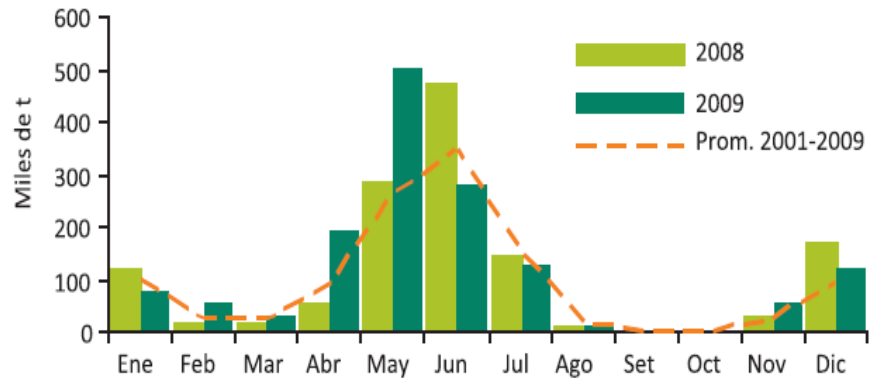
Durante el proceso de pilado, se genera un 20% de cascarilla, es decir más de 390,000 t/año de cascarilla a nivel nacional, y solamente los departamentos de la antigua Región Grau más 150 000 t/año en promedio. Por otro lado, este desecho se convierte en un problema. Normalmente se ofrece gratuitamente o a un costo mínimo; sin embargo, debido a su gran volumen se quema, donde parte de las cenizas que se esparcen con el viento en zonas cercanas a los centros de pilado, producen impactos ambientales no deseados. [Url #004].

GRÁFICO N°2: Distribución de la producción de cáscara de arroz, año 2009: 2991157 toneladas



Fuente: [URL #005]

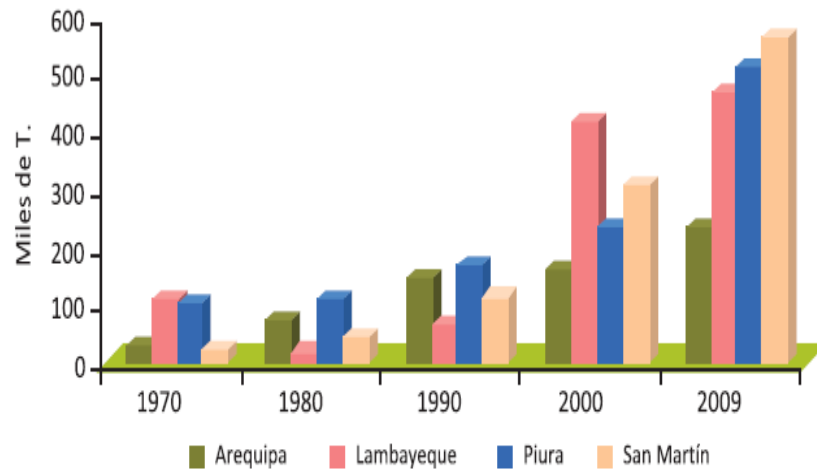
GRÁFICO N°3: Estacionalidad de la producción de cáscara en la costa norte



Fuente: [Url #005]

El arroz de cáscara es procesado en molinos, donde se realiza el pilado de arroz, antes que llegue a los mercados, actualmente se cuenta con 631 molinos, del 56% se ubica en la costa norte (356) y el 44% se ubica en la selva (275); en la última década la Región San Martín es la que más a he destacado su producción, aunque su rendimiento se encuentra por debajo del promedio nacional, ver gráfico 4. [Url #006].

GRÁFICO N°4: Producción de arroz de cáscara



Fuente: [Url #006]

G. Poder Calorífico de la Cáscara de Arroz: [URL #007]

TABLA N°6: Poderes Caloríficos.

FUENTE	DENSIDAD	PODER CALORIFICO INFERIOR		PODER CALORÍFICO SUPERIOR		FACTOR DE CONVERSION A kep (sobre PCI)		
	Kg/lit	kcal/lit	kcal/kg	kcal/lit	kcal/kg	lit a kep	kg a kep	kWh a kep
Carbón Mineral (nacional) (*)	-	-	5.9	-	6.2	-	0,590	
Carbón Mineral (importado)	-	-	7.2	-	7.5	-	0,720	
Coque	-	-	6.8	-	7.5	-	0,680	
Petróleo Crudo	0,885	8.85	10	9.293	10.5	-	1,000	
Naftas	0,735	7.607	10.35	8.232	11.2	0,7607	1,035	
Kerosene y Comb. Jets	0,808	8.322	10.3	8.945	11.07	0,8322	1,030	
Gas Oil	0,845	8.619	10.2	9.211	10.9	0,8619	1,020	
Diesel Oil	0,880	8.8	10	9.416	10.7	0,8800	1,000	
Fuel Oil	0,945	9.261	9.8	9.923	10.5	0,9261	0,980	
Carbón Residual	1,000	-	7.6	-	7.9	-	0,760	
Coque de Carbón Residual	-	-	7.2	-	7.8	-	0,720	
Gas Residual de Petróleo	-	8.500/m3	-	9.000/m3	-	0,8500 de m3		
Gas Natural	-	8.300/m3	-	9.300/m3	-	0,8300 de m3		
Propano	0,508	5.588	11	6.102	12.013	-	1,100	
Butano	0,567	6.18	10.9	6.735	11.878	-	1,090	
Gas Licuado	0,537	-	10.95	6.418	11.951	-	1,095	
Leña Blanda	-	-	1.84	-	2.94	-	0,184	
Leña Dura	-	-	2.3	-	3.5	-	0,230	
Carbón de Leña	-	-	6.5	-	7.5	-	0,650	
Marlo de Maíz	-	-	2.3	-	3	-	0,230	
Cáscara de Arroz	-	-	2.3	-	3	-	0,230	
Bagazo	-	-	1.5	-	2	-	0,150	
Aserrín	-	-	1.8	-	1.995	-	0,180	
Otros Residuos Vegetales	-	-	1.76	-	2.31	-	0,176	
Papeles	-	-	1.62	-	1.796	-	0,162	
Gas de Alto Horno de C. de Leña	-	950/m3	-	1.055/m3	-	0,095 de m3		
Gas de Alto Horno de C. de Coque	-	800/m3	-	905/m3	-	0,080 de m3		
Etano	1,270	14.413/m3	11.35	15.746	12.399	14,413	1,135	
Metanol	0,800	3.818	4.773	4.345	5.431	0,3818	0,477	
Etanol	0,794	5.082	6.4	5.633	7.092	0,5082	0,640	
Electricidad	-	-	860 kcal/kWh	-	-	-	-	0,0860

Fuente: [Url #007]

H. Caracterización Química de la Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz presenta la siguiente composición química obtenida de un estudio hecho por Unión de Arroceros S.A.

TABLA N°7: Características de la Cáscara de Arroz

Cascarilla de Arroz						
Humedad	C	H	O	N	S	Cenizas
8.6	42.5	6.0	36.2	0.21	0.49	14.6
8.9	39.1	5.2	37.2	0.27	0.43	17.8
9.4	33.4	4.3	38.5	0.38	0.32	23.1

Fuente: [URL #008]

I. Sub Productos del Arroz. [Texto 009]

El arroz pulido, producto final del procesamiento, representa apenas del 65 al 70% del arroz en granza original. Los otros productos restantes son, cáscara y afrecho que tienen varios usos.

a) Cáscara de arroz:

La cáscara del arroz, que representa el 22% del peso del arroz en granza, tiene un contenido alto de sílice y de lignina, pero es de poco valor alimenticio para animales y de ningún valor para los humanos. Se usa sobre todo como combustible para sancochado y para pescado.

Las calderas que se alimentan con cáscara son caras en precio, pero el combustible es tan barato. Por ejemplo, el valor de la energía proveniente de las cáscaras de arroz es menor que el del carbón o el diesel; en términos de kilocalorías por dólar invertido en combustible, la cáscara de arroz es considerablemente más barata, según el tabla N°8, donde se apreciara los valores de energía, por cada dólar que se invierte en el país de la India.

TABLA N°8: Valor de la energía y costos de cuatro fuentes de energía en la India.

COMBUSTIBLE	Valor de Energía	Costo (Kcal por US\$1)
Aceite combustible	10240 Kcal/litro	60000
Carbón	5560 Kcal/Kg	350000
Electricidad	860 Kcal/Kwh	43000
Cáscaras de arroz	3000 Kcal/Kg	2300000

Fuente: [Texto 009]

La cáscara tiene también algunos usos especiales. La ceniza blanca se produce al ser quemada se vende como compuesto limpiador para pisos y como absorbente de grasa, Tiene un uso limitado como material de relleno, como aditivo y como portador en la industria química. Puede utilizarse asimismo como agregado en bloques de concreto o en productos prensados de madera y alineamiento para ganado, aditivo en suelos para macetas usados por los productos químicos en las industrias de tintes y de plásticos, y material aislante.

b) Afrecho de arroz

Hay dos usos principales para el afrecho de arroz: como alimento para ganado, aves de corral y cerdos y como fuente de aceite; la demanda del como alimento de animal es bastante alta.

El aceite del afrecho puede compararse con otros aceites vegetales en su utilización en cocina y en la preparación de ensañadas y manteca. El aceite de arroz de baja calidad se usa para hacer.

c) Otros Subproductos:

El arroz quebrado, que no se vende fácilmente en los mercados más sofisticados, se usa en la fabricación de cerveza y de vinos, Sin embargo, algunos países como el África occidental importan arroz quebrado para mezclarlo con arroz local, pudiendo de esa manera

ofrecer a los consumidores un producto de primera necesidad a bajo costo.

En los países desarrollados hay demanda de productos elaborados con arroz, tales como cereales para el desayuno. La harina de arroz puede usarse como sustituto de la harina de trigo para hacer pan, aunque debido al bajo contenido de gluten no puede constituir más del 30% de la mezcla de la harina. Se usa para las personas alérgicas a la harina de trigo y a otros cereales.

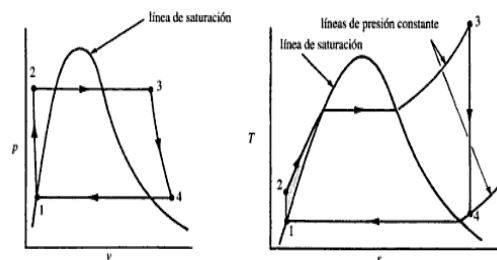
J. Generación de Energía con Vapor. [Texto 010]

La energía eléctrica representa la forma en la que se usa, en forma directa, la mayor cantidad de energía en nuestra sociedad. Sin embargo, la gran mayoría de esta energía se genera con vapor y la turbina de vapor. Los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas son la fuentes productoras de vapor, por ejemplo cuando se quema el carbón produce energía térmica, que hace hervir al agua y el vapor que produce impulsa turbinas en empresas industriales; para ello se centra en el ciclo de ranking típico, que muestra los procesos físicos donde se usa diagramas (T-s y p-v) para ayudarnos a ampliar los detalles del cambio de fase.

El ciclo termodinámico que describe con más fidelidad el funcionamiento de la turbina ideal de vapor es el ciclo Rankine, que se define por cuatro procesos reversibles.

- 1) Comprensión adiabática (agua)
- 2) Adición de calor isobárica para convertir de líquido a vapor
- 3) Expansión adiabática del vapor hasta una presión baja
- 4) Rechazo isobárico de calor para condensar el vapor.

FIGURA N°3: Ciclo de Rankine.



Fuente: [Texto 010]

Balance según el ciclo de Rankine del vapor:

$$\dot{Q}_{Total} * n_{caldera} = \dot{Q}_{util} = \dot{m}_{vapor} * (h_3 - h_2) = \dot{Q}_{Total} - \sum \dot{Q}_{perdido}$$

Entonces:

$$Potencia_{caldera} = \dot{m}_{vapor} * (h_3 - h_2)$$

$$n_{caldera} = \frac{(h_3 - h_2) * \dot{M}_{vapor}}{PCI * \dot{m}_{comb}}$$

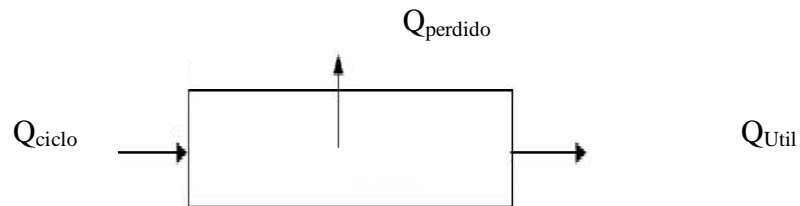
$$Costo Combustible = \dot{m}_{comb} * C_{unitComb}$$

$$h_{5bar-25\%} = h'_{agua} + \%mejorado * (h''_{agua} - h'_{agua})$$

Balance de masas según el balance térmico:

- Según el balance térmico:

FIGURA N°4: Balance termodinámico.



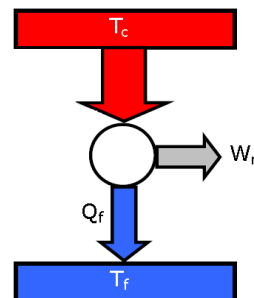
Fuente: [Texto 010]

$$Q_{ciclo} = Q_{perdido} + Q_{Util}$$

$$\dot{m}_1 * Cp * t_1 = \dot{m}_2 * Cp * t_2 + \dot{m}_3 * Cp * t_3$$

- Según el ciclo termodinámico

FIGURA N°5: Ciclo termodinámico.



Fuente: [Texto 010]

$$Q_{ff} = Q_{fc} - P$$

$$\text{Si: } \dot{Q}_{fc} = \dot{m}_{combustible} * [PCI + Cp_{Comb} * t_{Comb}]$$

K. Cenizas [Texto 011]

a) Cenizas volante

La ceniza volante corresponde al residuo fino resultante de la combustión de carbón pulverizado arrastrado de la cámara de combustión por gases de escape. Las cenizas volantes fluyen con los gases de combustión hacia los sistemas captadores de partículas, desde donde serán retiradas y depositadas en silos de ceniza para su acopio temporal y su posterior disposición.

1. Características generales de las cenizas volantes

Las cenizas volantes son la porción inorgánica del carbón finamente pulverizado, esto es llevado hacia fuera de la caldera con el flujo de gases y colectados por un sistema de captación. Dependiendo de la eficiencia del dispositivo de control de partículas, una pequeña porción de la fracción más pequeña de las cenizas volantes tiene la consistencia de polvo fino y el color varía de tostado a gris oscuro. La composición química de las cenizas depende de las características químicas del carbón quemado pero también del equipo de control de emisiones usado. La composición química primaria de las cenizas volantes, incluye silicio, aluminio, hierro, y calcio presente en variadas asociaciones en ambas fases amorfas (vidrioso) y cristalinas. La composición química es usualmente divulgada como óxidos y generalmente cuanto más alto es el contenido de carbón, más oscura es la ceniza volante.

Las cenizas volantes generalmente están compuestas por un aglomerado de microesferas (cenoesferas y pleuroesferas) y poseen un tamaño entre 10 y 100 micrones. Estas microesferas están constituidas principalmente por silicio y aluminio con cantidades menores de Fe, Na, K, Ca, P, Ti, y S. Los principales compuestos minerales son aluminosilicatos amorfos (vítrios), pero de igual

forma están presentes otros minerales como la mullita, cuarzo, hematita, magnetita, cal, anhidrita, y feldespatos.

Las cenizas volantes pueden ser de color bronceadas a gris oscuro, dependiendo de los constituyentes químicos o minerales que posean. El bronceado y colores claros son asociados típicamente con el alto contenido de cal. Un color cafésoso es asociado con el contenido de hierro mientras que color gris oscuro a negro es atribuido a un contenido elevado de carbón no quemado.

b) Ceniza de fondo

La ceniza de fondo cae en la parte inferior del horno y es removida como partículas no fundidas (escorias). Está compuesta de un rango fino de partículas angulares, generalmente de color gris a negro con la mayor parte del material parecido a arena, algunas pueden parecer vidriosas pero comúnmente las partículas son porosas.

La ceniza de fondo y la ceniza volante son completamente diferentes físicamente, sin embargo, la mayor parte de la composición química de la ceniza de fondo es usualmente similar a la ceniza volante a excepción del tritóxido de azufre (SO_3).

FIGURA N° 6: Colores de Ceniza.



Fuente: [Texto 011]

FIGURA N° 7: Ceniza de Fondo.



Fuente: [Texto 011]

L. Impacto Ambiental

a) Definición de impacto ambiental

El impacto ambiental es la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada, en términos simples el impacto ambiental es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

b) Evaluación de impactos ambientales

La evaluación de impacto ambiental es el procedimiento, a cargo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente o de la Comisión Regional respectiva, en su caso, que, en base a un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes;

c) Declaración de impacto ambiental

La declaración de impacto ambiental es el documento descriptivo de una actividad o proyecto que se pretende realizar, o de las modificaciones que se le introducirán, otorgado bajo juramento por el respectivo titular, cuyo contenido permite al organismo competente evaluar si su impacto ambiental se ajusta a las normas ambientales vigentes.

d) Estudio de impacto ambiental

El estudio de impacto ambiental es el documento que describe pormenorizadamente las características de un proyecto o actividad que se pretenda llevar a cabo o su modificación. Debe proporcionar antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación de su impacto ambiental y describir la o las acciones que ejecutará para impedir o minimizar sus efectos significativamente adversos.

e) Tipos de impacto ambiental

Existen diversos tipos de impactos ambientales, pero fundamentalmente se pueden clasificar, de acuerdo a su origen:

- Impacto ambiental provocado por el aprovechamiento de recursos naturales ya sean renovables, tales como el aprovechamiento forestal o la pesca; o no renovables, tales como la extracción del petróleo o del carbón.
- Impacto ambiental provocado por la contaminación. Todos los proyectos que producen algún residuo (peligroso o no), emiten gases a la atmósfera o vierten líquidos al ambiente.
- Impacto ambiental provocado por la ocupación del territorio. Los proyectos que al ocupar un territorio modifican las condiciones naturales por acciones tales como tala rasa, compactación del suelo y otras.

Asimismo, existen diversas clasificaciones de impactos ambientales de acuerdo a sus atributos:

- Impacto Ambiental Positivo o Negativo: El impacto ambiental se mide en términos del efecto resultante en el ambiente.
- Impacto Ambiental Directo o Indirecto: Si el impacto ambiental es causado por alguna acción del proyecto o es resultado del efecto producido por la acción.
- Impacto Ambiental Acumulativo: Si el impacto ambiental es el efecto que resulta de la suma de impactos ocurridos en el pasado o que están ocurriendo en el presente.
- Impacto Ambiental Sinérgico: Si el impacto ambiental se produce cuando el efecto conjunto de impactos supone una incidencia mayor que la suma de los impactos individuales.
- Impacto Ambiental Residual: Si el impacto ambiental persiste después de la aplicación de medidas de mitigación.
- Impacto Ambiental Temporal o Permanente: El impacto ambiental es por un período determinado o es definitivo.

- Impacto Ambiental Reversible o Irreversible: Impacto ambiental que depende de la posibilidad de regresar a las condiciones originales.
- Impacto Ambiental Continuo o Periódico: Impacto ambiental que depende del período en que se manifieste.

M. Combustión [Texto 012]

La reacción de combustión se basa en la reacción química exotérmica de una sustancia o mezcla de sustancias llamada combustible con el oxígeno. Es característica de esta reacción la formación de una llama, que es la masa gaseosa incandescente que emite luz y calor, que está en contacto con la sustancia combustible. La reacción de combustión puede llevarse a cabo directamente con el oxígeno o bien con una mezcla de sustancias que contengan oxígeno, llamada comburente, siendo el aire atmosférico el comburente más habitual.

La reacción del combustible con el oxígeno origina sustancias gaseosas entre las cuales las más comunes son CO_2 y H_2O . Se denominan en forma genérica productos, humos o gases de combustión. Es importante destacar que el combustible solo reacciona con el oxígeno y no con el nitrógeno, el otro componente del aire. Por lo tanto el nitrógeno del aire pasará íntegramente a los productos de combustión sin reaccionar. Entre las sustancias más comunes que se pueden encontrar en los productos o humos de la

Reacción se encuentran, CO_2 , H_2O como vapor de agua, N_2 , O_2 , CO , H_2 , Carbono en forma de hollín, SO_2

De acuerdo a como se produzcan las reacciones de combustión, estas pueden ser de distintos tipos:

- a) Combustión completa: ocurre cuando las sustancias combustibles reaccionan hasta el máximo grado posible de oxidación. En este caso no habrá presencia de sustancias combustibles en los productos o humos de la reacción.

- b) **Combustión incompleta:** se produce cuando no se alcanza el grado máximo de oxidación y hay presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de la reacción.
- c) **Combustión estequiometría o teórica:** Es la combustión que se lleva a cabo con la cantidad mínima de aire para que no existan sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión no hay presencia de oxígeno en los humos, debido a que este se ha empleado íntegramente en la reacción.
- d) **Combustión con exceso de aire:** Es la reacción que se produce con una cantidad de aire superior al mínimo necesario. Cuando se utiliza un exceso de aire, la combustión tiende a no producir sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión es típica la presencia de oxígeno en los gases de combustión. La razón por la cual se utiliza normalmente un exceso de aire es hacer reaccionar completamente el combustible disponible en el proceso.
- e) **Combustión con defecto de aire:** Es la reacción que se produce con una menor cantidad de aire que el mínimo necesario. En este tipo de reacción es característica la presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de reacción

2.3 Definición de Términos

B:

- **Biomasa:** Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado que es utilizado como una fuente de energía. [Texto 013]
- **Biocombustible:** Proceden de restos de cultivos o residuos industriales que son renovables. [Texto 015]
- **Bagazo:** Es el derivado de la pulpa ya sea del azúcar o de tableros que se utilizan en la industrias para la generación de energía. [Texto 016]

C:

- **Caldera:** Es un recipiente metálico que se le suministra calor para que el agua sea calentada. [Texto 013]

- **Caldera Pirotubular:** Caldera de vapor en la que los gases calientes producto de la combustión pasan por los tubos rodeados por el agua de la caldera. [Texto 014]
- **Combustible:** Reacción química entre el oxígeno y un material oxidante acompañada de la liberación de energía que se manifiesta por una llama. [Texto 014]
- **Co-Generación:** Generación simultánea de electricidad y energía térmica (calor/vapor de proceso), por medio del uso secuencial y eficiente de cantidades de energía de una misma fuente. Aumenta la eficiencia térmica global del sistema termodinámico como un todo. [Url #009]
- **Carbón:** Es la materia sólida, ligera negra y muy combustible que resulta de la disolución o de la combustión incompleta de la leña o otros cuerpos orgánicos. [Texto 013]
- **Comburente:** Es la mezcla gaseosa que contiene oxígeno en concentración suficiente como para que en su seno se desarrolle una combustión. [Texto 017]
- **Craqueo:** Es la rotura de la cadena hidrocarbonada en moléculas más simples, con el fin de conseguir una temperatura deseada. [Texto 019]

E:

- **Estequiometria:** Es la reacción química reflejada en la igualdad de masas y cargas que hay entre reactivos y productos. [Texto 018]
- **Poder Calorífico:** El poder calorífico en peso o volumen representa la cantidad de energía liberada por unidad de peso o volumen de carburante como consecuencia de la reacción química de combustión completa que lleva la formación de CO_2 y H_2O . [Texto 020]

P:

- **Parámetros energéticos:** Determina la cantidad de energía aprovechable por el poder calorífico. [Texto 021]

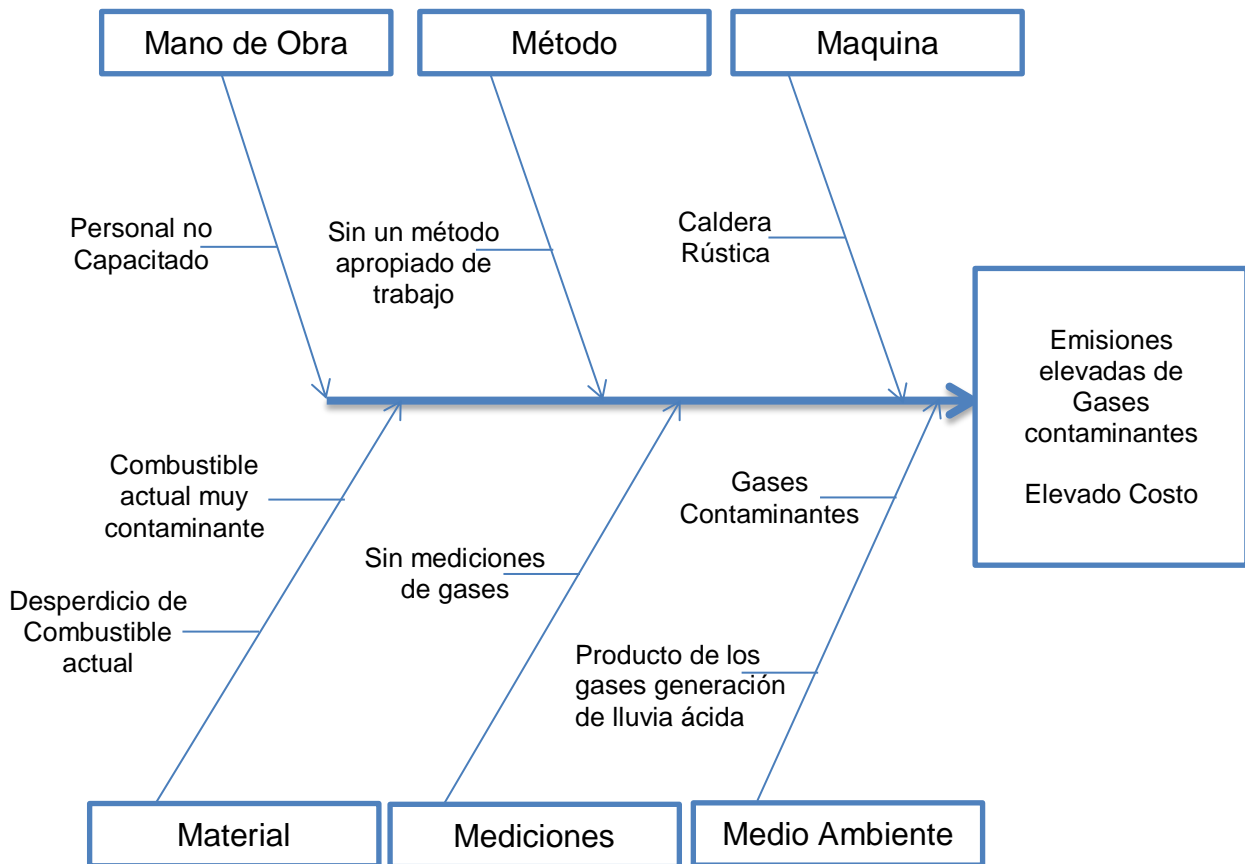
CAPITULO 3

SOLUCIÓN PROPUESTA

3.1 Diagnóstico actual de la caldera Postes del Norte.

3.1.1 Condición Actual de la Caldera.

FIGURA N°13: Diagrama De Ishikawa Condición Actual de la Caldera

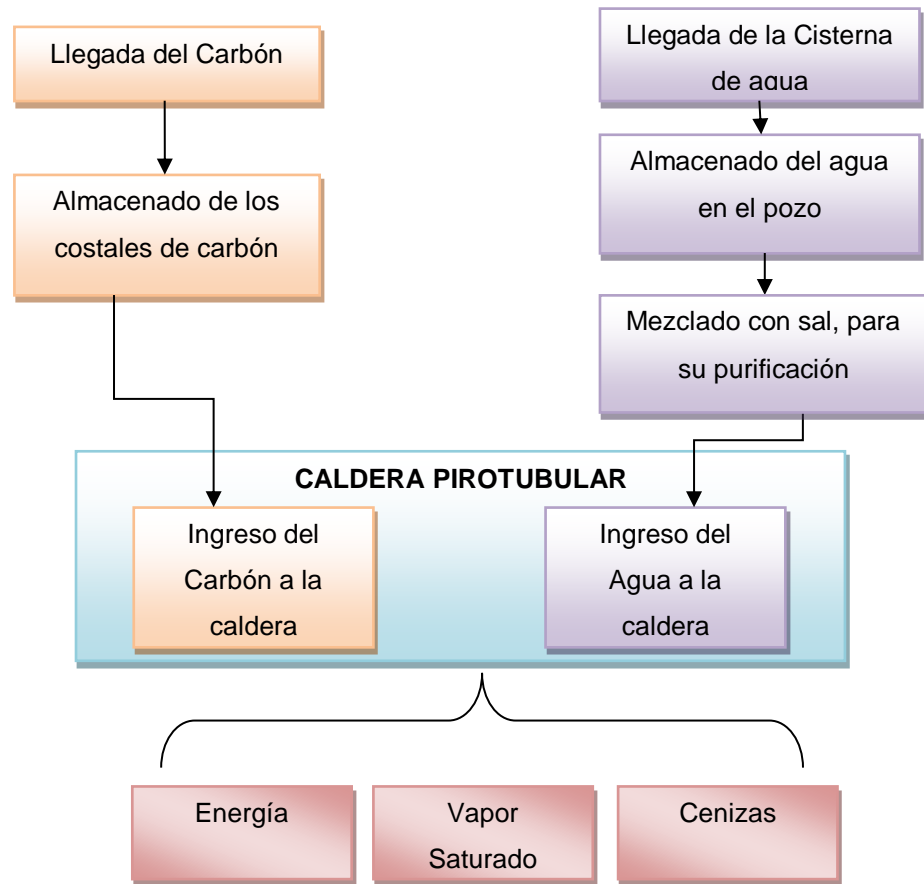


Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2 Características

- **Tipo:** Piro-tubular de 30 BHP.
- **Presiones:** 50 a 60psig.
- **Combustible Actual:** Carbón antracita.
- **Capacidad de carbón:** 50kg/hora.
- **Tubos:** 2pulgadas, sin costuras.
- **Proceso de funcionamiento de la Caldera.**

FIGURA N°13: Proceso actual del funcionamiento de la caldera.



Fuente: Elaboración Propia.

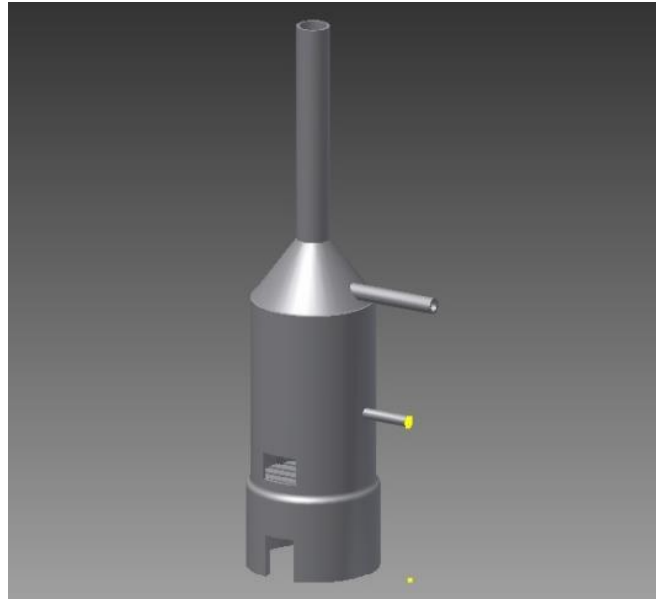
La caldera se enciende los lunes y se apaga los sábados, porque los domingos se le da una limpieza; se enciende a las 5:00am y empieza su funcionamiento a las 5:30am, para hacer la carga de la quema del carbón de la caldera Postes de Norte S.A, se demora 45 minutos, donde se realiza cada dos horas y media; el proceso de apagado es automático y tiene que estar dentro del rango de presión máxima permisible de 70 a 80psi, donde luego se libera el vapor disminuyendo la presión en 15 minutos.

FOTO N°1: Caldera Postes del Norte.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N°8: Dibujo de la Caldera Postes del Norte.



Fuente: Elaboración Propia.

Leyenda:

1. Ingreso del Agua.
2. Salida del Vapor Saturado.
3. Ingreso del carbón.
4. Salida de las Cenizas.

El agua que ingresa a la caldera es cada 5min y se le suministra sal 40kg cada 8 días, además para el encendido de la caldera se utiliza leña (24palos de leña); por cada turno se utiliza entre 3 a 4 sacos de carbón de 80 kilos cada uno.

FOTO N°2: Tanque de agua de la Caldera Postes del Norte.



Fuente: Elaboración Propia.

FOTO N°3: Leña usada para el encendido de la caldera



Fuente: Elaboración Propia.

FOTO N°4: Carbón usado como combustible



Fuente: Elaboración Propia.

FOTO N°5: Tanque de sal suministrado al agua.



Fuente: Elaboración Propia.

Cuentan con un lavador de gases artesanal donde los residuos de las cenizas se van a un pozo, los cuales serán desechados en el desagüe.

FOTO N°6: Lavador de Gases.



Fuente: Elaboración Propia.

El producto principal que tiene la caldera es el vapor saturado que se libera entre 70 a 80psi, que a su vez es utilizado, para el secado de los postes.

FOTO N°7: Manómetro del Vapor.



Fuente: Elaboración Propia.

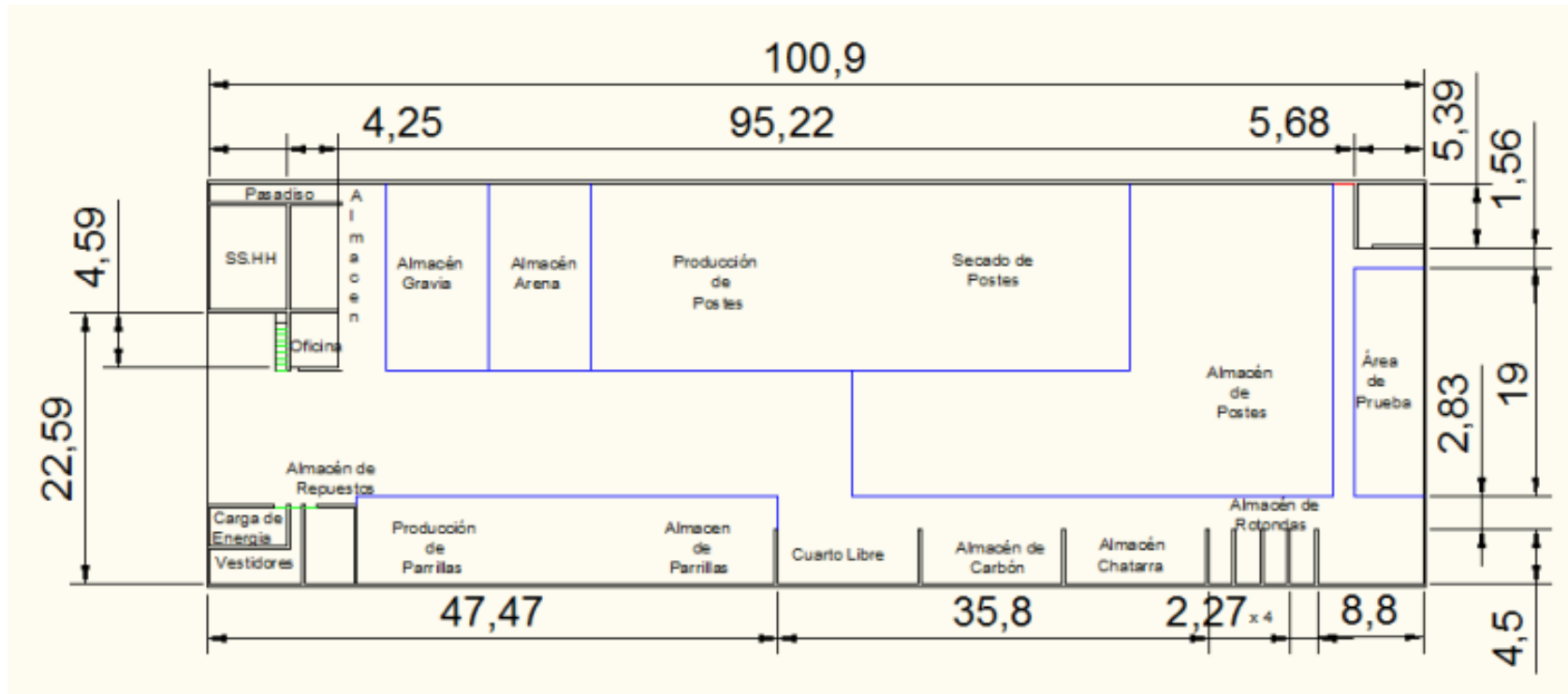
FOTO N°8: Válvulas de vapor para el secado de los postes.



Fuente: Elaboración Propia.

3.1.3 UBICACIÓN DE LA CALDERA.

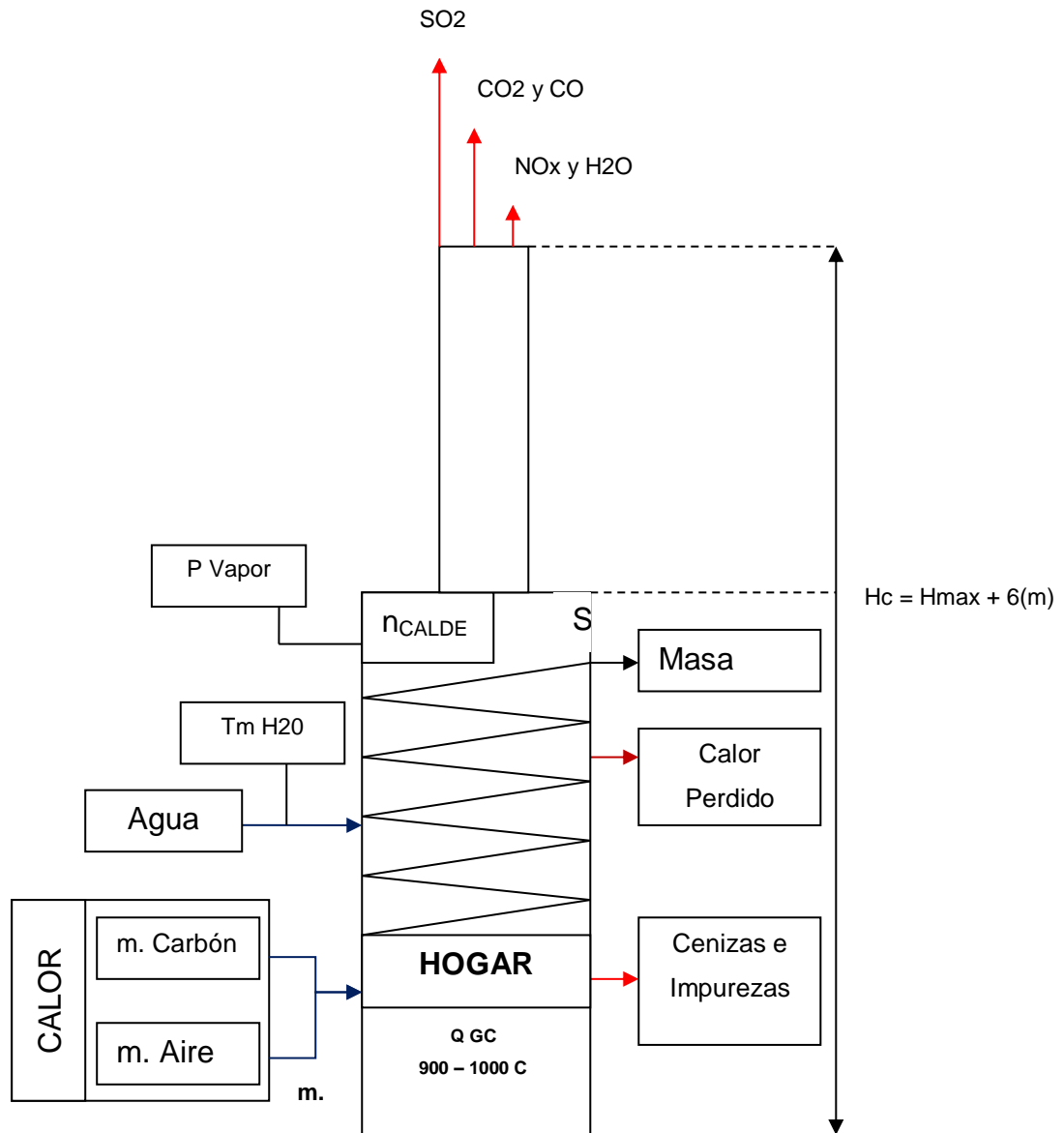
FIGURA N° 9: Plano de Postes del Norte



Fuente: La Empresa

3.2 Esquema del Proceso de Vapor De La Caldera

FIGURA N°10: PROCESO DEL VAPOR



3.3 Análisis Energético y Másico de la Caldera

3.3.1 Cálculo con el Carbón Antracita

A. Balance de energía actual.

Para hallar el balance de energía se procede a hallar la masa de vapor con el BHP y la P esperado según datos de placa de la caldera, con un rendimiento del 80% , y la entalpia del agua con la temperatura de agua de 50°C y una presión de 5Bar,

$$Q_u = \dot{m}_v \times (H_v - H_a) = \dot{m}_{cble} \times PCI \times n_{caldera}$$

a) Hallando la masa de vapor:

$$\dot{m}_v = BHP_{caldera} \times P_{esperado} \text{ vapor} [Kgv - h]$$

- BHP = 30
- P Esperado = 15.66 [Kgv/h/BHP] y N caldera = 80%

$$\dot{m}_v = 30 \times 15.66 = 469.8 \text{ [Kgv/h]}$$

b) Hallando el h del agua:

$$h_{agua} = C_{p\text{agua}} \times t^0_{\text{agua}}$$

- P = 5Bar
- T° Agua = 50° C
- Cp agua = 4.1816[Kj/Kg C°]

$$h_{agua} = 4.1813 \times 50 = 209.065 \left[\frac{KJ}{KG} \right]$$

Por tablas se sabe que:

TABLA N° 9: Tabla de Vapor de Agua para el cálculo con carbón antracita

P abs	(BAR)	5.00
T sat	(°C)	151.90
V''	(m³/Kg)	0.38
P ''	(Kg/m³)	2.67
h'	(Kj/Kg)	640.12
h''	(Kj/Kg)	2,747.50
lv	(Kj/Kg)	2,107.40
cp	(Kj/Kg °C)	2.33

- $H' = 640.12 \text{ [Kj/Kg]}$
- $H'' = 2,747.5 \text{ [Kj/Kg]}$

c) Capacidad Térmica:

Conociendo la masa de vapor y las entalpías, se conoce el calor útil que genera de la caldera.

$$Q_u = \dot{m}_v \times (H_v - H_a)$$

$$Q_u = 469.8 \times (2747.5 - 209.05)$$

$$Q_u = 331.27 \text{ [Kw]}$$

d) Hallando el PCI

Sabemos la composición química del carbono

- NITROGENO 1.50%
- CARBONO 75.00%
- HIDROGENO 5.00%
- OXIGENO 6.70%
- AZUFRE 2.30%
- AGUA 2.50%
- CENIZA 7.00%

Aplicando la Formula Dupong, se conoce el PCI del combustible.

$$PCI = (33900 \times g_c) + (9720 \times g_s) + 120120 \times \left[g_{h_2} - \frac{g_{o_2}}{2} \right] - (2510 \times g_{h_2o})$$

$$PCI = (33900 \times 0.75) + (9720 \times 0.023) + 120120 \times \left[0.050 - \frac{0.067}{8} \right] - (2510 \times 0.025)$$

$$PCI = 30,711.305 \text{ KJ/Kg}$$

e) Hallando la masa de combustible:

Conociendo el calor útil, PCI y el rendimiento, se halla el flujo másico del combustible:

$$Q_u = \dot{m}_{cble} \times PCI \times \eta_{caldera}$$

$$\dot{m}_{cble} = \frac{331.26}{30711.305 \times 80\%} = 0.013 \left[\frac{Kg}{s} \right] = 48.54 \left[\frac{Kg}{Hora} \right]$$

B. Relación aire combustible del carbón antracita.

La temperatura del gas caliente debe ser de 1000°C, se procede a hallar la relación aire combustible.

$$t_{GC} = \frac{PCI + (T_{cble} \times Cp_{cble}) + (T_{aire} \times Cp_{aire} R_{ac})}{Cp_{ac} \times [1 + R_{ac}]}$$

Sabemos:

- PCI carbón Antracita = 30711.305
- Temperatura Combustible = 20 °C
- Temperatura del aire = 20 °C
- Calor específico Carbón = 0.71 Kj/(Kg °C)
- Calor específico del gas caliente = 1.33 Kj/(Kg °C)

$$1000 = \frac{30711.305 + (20 \times 0.71) + (20 \times 1.0065 \times R_{ac})}{(1 + R_{ac}) \times 1.33}$$

$$R_{ac} = 24.44 \frac{\text{Kg de aire}}{\text{Kg de Combustible}}$$

C. Hallando el calor total y calor perdido.

Sabemos:

- $Q_u = 331.26 [KW]$
- $n = 80\%$
- Además:

$$Q_{util} = Q_{Total} \times n \quad \text{y} \quad Q_{Total} = Q_{Util} + Q_{perdido}$$

$$Q_{Total} = \frac{Q_u}{n} = \frac{331.26}{0.80} = 414.08 [KW]$$

$$414.08 = 331.26 + Q_{perdido}$$

$$Q_{Perdido} = 82.82 [KW]$$

D. Hallando la cantidad de agua que entra a la caldera y masa de aire

$$\dot{m}_v \cdot (h'' - h') \cdot n = \dot{m}_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot t_{agua}$$

Por tabla N° 9 se sabe que:

- $M_v = 469.880$
- $N = 0.80$
- $C_p \text{ agua} = 4.186$
- $T \text{ agua} = 50 \text{ °C}$

$$469.80 \times (2747.5 - 640.12) \times 0.80 = \dot{m}_{agua} \times 4.186 \times 50$$

$$\dot{m}_{\text{Agua}} = 3388.20 \left[\frac{\text{Kw}}{\text{Hora}} \right]$$

SI:

$$R_{ac} = \frac{\dot{m}_{\text{aire}}}{\dot{m}_{\text{cble}}} = 24.44 \frac{\text{Kg de aire}}{\text{Kg de Combustible}}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 24.44 \times 48.54 = 1089.29 \text{ Kg/Hora}$$

3.3.2 Cálculo con la cáscara de arroz

A. Balance de energía actual

Aplicando el mismo calculo que se hizo con el carbón, pero el rendimiento de caldera a usar será el 85%.

$$Q_u = \dot{m}_v \times (H_v - H_a) = \dot{m}_{\text{cble}} \times PCI \times \eta_{\text{caldera}}$$

a) Hallando la masa de vapor:

$$\dot{m}_v = BHP_{\text{caldera}} \times P_{\text{esperado}} \left[\frac{\text{Kgv} - \text{h}}{\text{vapor}} \right]$$

- BHP = 30
- P Esperado = 15.66 [Kgv/h/BHP]
- $\eta_{\text{caldera}} = 85\%$

$$\dot{m}_v = 30 \times 15.66 = 469.8 \text{ [Kgv/h]}$$

b) Hallando el h del agua:

$$h_{\text{agua}} = C_{p\text{agua}} \times t^{\circ}_{\text{agua}}$$

- P = 5Bar
- T° Agua = 50° C
- Cp agua = 4.1813[Kj/Kg C°]

$$h_{\text{agua}} = 4.1813 \times 50 = 209.065 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{KG}} \right]$$

Por tabla N° 9 se sabe que:

- H' = 640.12 [Kj/Kg]
- H'' = 2747.5 [Kj/Kg]

c) Capacidad Térmica:

$$Q_u = \dot{m}_v \times (H_v - H_a)$$

$$Q_u = 469.8 \times (2747.5 - 209.05) = 331.26 [Kw]$$

d) Hallando el PCI:

Sabemos la composición química de la cáscara de arroz.

- NITROGENO 0.10%
- CARBONO 37.40%
- HIDROGENO 5.50%
- OXIGENO 32.30%
- AZUFRE 0.00%
- AGUA 8.40%
- CENIZA 16.30%

Aplicando la Formula Dupong:

$$PCI = (33900 \times g_c) + (9720 \times g_s) + 120120 \times \left[g_{h_2} - \frac{g_{O_2}}{2} \right] - (2510 \times g_{h_2O})$$

$$PCI = (33900 \times 0.374) + (9720 \times 0.00) + 120120 \times \left[0.055 - \frac{0.323}{8} \right] - (2510 \times 0.084)$$

$$PCI = 14646.195 \text{ KJ/Kg}$$

e) Hallando la masa de combustible:

Conociendo el calor útil, PCI y el rendimiento, se halla el flujo másico del combustible:

$$Q_u = \dot{m}_{cble} \times PCI \times n_{caldera}$$

$$\dot{m}_{cble} = \frac{331.26}{14646.195 \times 85\%} = 0.03 \left[\frac{Kg}{s} \right] = 95.79 \left[\frac{Kg}{Hora} \right]$$

B. Relación Aire Combustible de la cáscara de arroz.

La temperatura del gas caliente debe ser de 1000°C, se procede a hallar la relación aire combustible.

$$t_{GC} = \frac{PCI + (T_{cble} \times Cp_{cble}) + (T_{aire} \times Cp_{aire} R_{ac})}{Cp_{ac} \times [1 + R_{ac}]}$$

Sabemos:

- PCI cáscara de arroz = 14,646.195
- Temperatura Combustible = 20 °C

- Temperatura del aire = 20 °C
- Calor específico Cáscara = 1.65Kj/(Kg °C)
- Calor específico del gas caliente = 1.33 Kj/(Kg °C)

$$1000 = \frac{14646.195 + (20 \times 1.65) + (20 \times 1.0065 \times R_{ac})}{(1 + R_{ac}) \times 1.33}$$

$$R_{ac} = 10.19 \frac{\text{Kg de aire}}{\text{Kg de Combustible}}$$

C. Hallando el calor total y calor perdido

Sabemos:

- $Q_u = 331.26[\text{Kw}]$
- $n = 85\%$
- Además:

$$Q_{util} = Q_{Total} \times n \quad \text{y} \quad Q_{Total} = Q_{Util} + Q_{perdido}$$

$$Q_{Total} = \frac{Q_u}{n} = \frac{331.26}{0.85} = 389.72[\text{KW}]$$

$$414.08 = 331.26 + Q_{perdido}$$

$$Q_{perdido} = 58.46[\text{KW}]$$

D. Hallando la cantidad de agua que entra a la caldera y masa de aire

$$\dot{m}_v \cdot (h'' - h') \cdot n = \dot{m}_{agua} \cdot C_{p_{agua}} \cdot t_{agua}$$

Por tabla N° 9 se sabe que:

$$\dot{m}_v = 469.880$$

$$N = 0.85$$

$$C_p \text{ agua} = 4.186$$

$$T \text{ agua} = 50 \text{ °C}$$

$$469.80 \times (2747.5 - 640.12) \times 0.85 = \dot{m}_{agua} \times 4.186 \times 50$$

$$\dot{m}_{Agua} = 4,024.97 \left[\frac{\text{Kw}}{\text{Hora}} \right]$$

SI:

$$R_{ac} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\dot{m}_{cble}} = 10.19 \implies \dot{m}_{aire} = 10.19 \times 95.79$$

$$\dot{m}_{aire} = 976.25 \text{ Kg/Hora}$$

3.4 Evaluación del impacto ambiental de las emisiones de gases y cenizas

3.4.1 Combustión con el carbón antracita

A. Balance de gases:

Sabemos la composición química del carbono

- NITROGENO 1.50%
- CARBONO 75.00%
- HIDROGENO 5.00%
- OXIGENO 6.70%
- AZUFRE 2.30%
- AGUA 2.50%
- CENIZA 7.00%

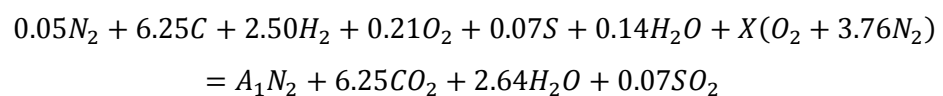
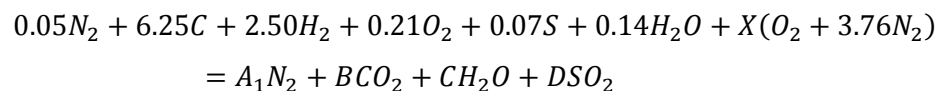
Entonces: Si la formula molar es: $m = n \times M$

TABLA N°10: Tabla de Composición química Carbón Antracita

COMPUESTO	[Kg] m	Nm [Kg/mol]	M [Kmol]
Nitrógeno	1.50	28	0.05
Carbono	75.00	12	6.25
Hidrogeno	5.00	2	2.50
Oxigeno	6.70	32	0.21
Azufre	2.30	32	0.07
Agua	2.50	18	0.14
Ceniza	7.00	0	0.00

Se hará el balance de combustión:

a) Balance Combustión perfecta:



- Oxígeno en la combustión:
 $(2 \times 6.25) + (2.64) + (2 \times 0.07) = 15.28$

- Oxígeno en el combustible:
 $(2 \times 0.21) + (0.14) = 0.56$

Entonces:

$$0.56 + 2X = 15.28$$

$$X = 7.36$$

- N_2 en combustible = 0.05
- N_2 en el aire = $7.36 \times 3.76 = 27.69$
- $A_1 = 27.69 + 0.05 = 27.74$

$$0.05N_2 + 6.25C + 2.50H_2 + 0.21O_2 + 0.07S + 0.14H_2O + 7.36(O_2 + 3.76N_2) \\ = 27.74N_2 + 6.25CO_2 + 2.64H_2O + 0.07SO_2$$

b) Balance Combustión completa:

$$0.05N_2 + 6.25C + 2.50H_2 + 0.21O_2 + 0.07S + 0.14H_2O \\ + 7.36 \cdot \lambda \cdot (O_2 + 3.76N_2) \\ = A_2N_2 + 6.25CO_2 + 2.64H_2O + 0.07SO_2 + ZO_2$$

Para hallar el λ haremos uso de la relación aire combustible del carbón:

$$R_{ac} = \frac{m_{aire}}{m_{cble}} = 24.44$$

$$24.44 = \frac{7.36\lambda(32 + 3.76 \times 28)}{100}$$

$$\lambda = 2.22$$

- N_2 en combustible = 0.05
- N_2 en el aire = $7.36 \times 2.22 \times 3.76 = 61.47$
- $A_2 = 0.05 + 61.47 = 61.52$
- Oxígeno en aire combustible:
 $(0.21) + (0.14/2) + (7.36 \times 2.22) = 16.63$
- Oxígeno en la combustión: $(6.25) + (2.64/2) + (0.07) = 7.64$
- Oxígeno Libre = 8.98

$$\begin{aligned}
 &0.05N_2 + 6.25C + 2.50H_2 + 0.21O_2 + 0.07S + 0.14H_2O \\
 &\quad + 16.35(O_2 + 3.76N_2) \\
 &= 61.52N_2 + 6.25CO_2 + 2.64H_2O + 0.07SO_2 + 8.98O_2
 \end{aligned}$$

Si:

$$R_{CO_2} = \frac{\dot{m}_{CO_2}}{\dot{m}_{cbte}} \quad \rightarrow \dot{m}_{CO_2} = \left(\frac{6.25 \times 44}{100}\right) \times 48.54 = 133.48 \text{ Kg/Hora}$$

$$R_{SO_2} = \frac{\dot{m}_{SO_2}}{\dot{m}_{cbte}} \quad \rightarrow \dot{m}_{SO_2} = \left(\frac{0.07 \times 64}{100}\right) \times 48.54 = 2.23 \text{ Kg/Hora}$$

3.4.2 Combustión con la cáscara de arroz.

A. Balance de gases:

Sabemos la composición química de la cáscara de arroz.

- NITROGENO 0.10%
- CARBONO 37.40%
- HIDROGENO 5.50%
- OXIGENO 32.30%
- AZUFRE 0.00%
- AGUA 8.40%
- CENIZA 16.30%

Entonces: Si la formula molar es: $m = n \times M$

TABLA N°11: Tabla de Composición química Cáscara de Arroz

COMPUESTO	[Kg] m	Nm [Kg/mol]	M [Kmol]
Nitrógeno	0.10	28	0.0036
Carbono	37.40	12	3.12
Hidrogeno	5.50	2	2.75
Oxigeno	32.30	32	1.01
Azufre	0.00	32	0.00
Agua	8.40	18	0.47
Ceniza	16.30	0	0.00

a) Balance Combustión perfecta:

$$\begin{aligned}
 &0.0036N_2 + 3.12C + 2.75H_2 + 1.01O_2 + 0.00S + 0.47H_2O + X(O_2 + 3.76N_2) \\
 &\quad = A_1N_2 + BCO_2 + CH_2O + DSO_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &0.0036N_2 + 3.12C + 2.75H_2 + 1.01O_2 + 0.00S + 0.47H_2O + X(O_2 + 3.76N_2) \\
 &\quad = A_1N_2 + 3.12CO_2 + 3.22H_2O + 0.00SO_2
 \end{aligned}$$

- Oxígeno en la combustión:
 $(2 \times 3.12) + (3.22) + (2 \times 0.00) = 9.45$
 - Oxígeno en el combustible:
 $(2 \times 1.01) + (0.47) = 2.49$
- Entonces:
- $$2.49 + 2X = 9.45$$
- $$X = 3.48$$
- N_2 en combustible = 0.0036
 - N_2 en el aire = $3.48 \times 3.76 = 13.09$
 - $A_1 = 13.09 + 0.0036 = 13.10$

$$0.0036N_2 + 3.12C + 2.75H_2 + 1.01O_2 + 0.00S + 0.47H_2O$$

$$+ 3.48(O_2 + 3.76N_2)$$

$$= 13.10N_2 + 3.12CO_2 + 3.22H_2O + 0.00SO_2$$

b) Balance Combustión completa:

$$0.0036N_2 + 3.12C + 2.75H_2 + 1.01O_2 + 0.00S + 0.47H_2O$$

$$+ 3.48 \cdot \lambda \cdot (O_2 + 3.76N_2)$$

$$= A_2N_2 + 3.12CO_2 + 3.22H_2O + 0.00SO_2 + ZO_2$$

Para hallar el λ haremos uso de la relación aire combustible de la cáscara de arroz:

$$R_{ac} = \frac{m_{aire}}{m_{cble}} = 10.19$$

$$10.19 = \frac{3.48\lambda(32 + 3.76 \times 28)}{100}$$

$$\lambda = 2.132$$

- N_2 en combustible = 0.0036
- N_2 en el aire = $3.48 \times 2.132 \times 3.76 = 27.91$
- $A_2 = 0.0036 + 27.91 = 27.92$
- Oxígeno en aire combustible:
 $(1.01) + (0.47/2) + (3.48 \times 2.132) = 8.67$
(1.02)

- Oxígeno en el combustión: $(3.12) + (3.22/2) + (0.00) = 4.73$
- Oxígeno Libre = 3.94

$$\begin{aligned}
 &0.0036N_2 + 3.12C + 2.75H_2 + 1.01O_2 + 0.00S + 0.47H_2O \\
 &\quad + 7.42(O_2 + 3.76N_2) \\
 &= 27.92N_2 + 3.12CO_2 + 3.22H_2O + 0.00SO_2 + 3.94O_2
 \end{aligned}$$

Si:

$$R_{CO_2} = \frac{\dot{m}_{CO_2}}{\dot{m}_{cble}} \quad \rightarrow \dot{m}_{CO_2} = \left(\frac{3.12 \times 44}{100} \right) \times 95.79 = 131.36 \text{ Kg/Hora}$$

$$R_{SO_2} = \frac{\dot{m}_{SO_2}}{\dot{m}_{cble}} \quad \rightarrow \dot{m}_{SO_2} = \left(\frac{0.00 \times 64}{100} \right) \times 95.79 = 0.00 \text{ Kg/Hora}$$

3.5 Análisis económico del cambio de combustible, determinando beneficios y costos.

Para determinar los costos de operación solo se necesita conocer los días trabajados, las horas que se trabajan en los turnos de trabajo, el costo unitario del combustible y la masa de combustible que necesita para funcionar la caldera.

3.5.1 Análisis con el carbón antracita

A. Tiempo de operación:

- Días trabajados: 26 Días
- Horas Trabajadas: 16 Horas Día
- Tiempo de operación: 416 [Horas/mes]

B. Masa de combustible mes:

$$\dot{m}_{cble} = 48.54 \left[\frac{Kg}{Horas} \right] \times 416 \left[\frac{Horas}{mes} \right]$$

$$\dot{m}_{cble} = 20,192.22 \left[\frac{Kg}{mes} \right] = 20.19 \left[\frac{Ton}{mes} \right]$$

C. Costo del combustible mes: (Cu Antracita = S. /0.4 / Kg)

$$\dot{m}_{cble} = 20,192.22 \left[\frac{Kg}{mes} \right] \times 0.4 \left[\frac{Soles}{Kg} \right]$$

$$m_{cble} = 8,076.89 \left[\frac{\text{Soles}}{\text{mes}} \right]$$

D. Condición específica de la antracita (costo tonelada de vapor):

Relación: Kg Antracita/Kg Vapor

$$\frac{\dot{m}_{cble}}{\dot{m}_{vapor}} = \frac{48.54}{469.8} \left[\frac{\text{Kg Antracita}}{\text{Kg vapor}} \right]$$

$$\frac{\dot{m}_{cble}}{\dot{m}_{vapor}} = 0.103318 \left[\frac{\text{Kg Antracita}}{\text{Kg vapor}} \right]$$

$$\frac{\dot{m}_{cble}}{\dot{m}_{vapor}} = 0.103318 \left[\frac{\text{Kg Antracita}}{\text{Kg vapor}} \right] \times 0.4 \frac{\text{Soles}}{\text{Kg Antracita}}$$

$$\frac{\dot{m}_{cble}}{\dot{m}_{vapor}} = 0.04 \frac{\text{Soles}}{\text{Kg Vapor}} = 41.33 \frac{\text{Soles}}{\text{Ton de Vapor}}$$

3.5.2 Análisis con cáscara de arroz

A. Tiempo de operación:

- Días trabajados: 26 Días
- Horas Trabajadas: 16 Horas Día
- Tiempo de operación: 416 [Horas/mes]

B. Masa de combustible mes:

$$\dot{m}_{cble} = 95.79 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Horas}} \right] \times 416 \left[\frac{\text{Horas}}{\text{mes}} \right]$$

$$\dot{m}_{cble} = 39,850.03 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{mes}} \right] = 39.85 \left[\frac{\text{Ton}}{\text{mes}} \right]$$

C. Costo del combustible:(Cu Cáscara = S. /10 / Ton)

$$\dot{m}_{cble} = 39.85 \left[\frac{\text{Ton}}{\text{mes}} \right] \times 10 \left[\frac{\text{Soles}}{\text{Ton}} \right]$$

$$\dot{m}_{cble} = 398.50 \left[\frac{\text{Soles}}{\text{mes}} \right]$$

D. Condición específica de la cáscara:

Relación: Kg Antracita/Kg Vapor

$$\frac{\dot{m}_{cble}}{\dot{m}_{vapor}} = \frac{95.79 \text{ Kg Cáscara}}{469.8 \text{ Kg vapor}}$$

$$\frac{\dot{m}_{cble}}{\dot{m}_{vapor}} = 0.203902 \left[\frac{\text{Kg Cáscara}}{\text{Kg vapor}} \right]$$

$$\frac{\dot{m}_{cble}}{\dot{m}_{vapor}} = 0.203902 \left[\frac{\text{Kg Cáscara}}{\text{Kg vapor}} \right] \times 0.01 \frac{\text{Soles}}{\text{Kg Cáscara}}$$

$$\frac{\dot{m}_{cble}}{\dot{m}_{vapor}} = 0.00204 \frac{\text{Soles}}{\text{Kg Cáscara}} = 2.04 \frac{\text{Soles}}{\text{Ton de Vapor}}$$

3.6 Comparación del impacto medio ambiental, de acuerdo a lo generado por el combustible actual y el mejorado.

En el cuadro comparativo se muestra las diferencias entre el carbón y la cáscara de arroz, de los gases arrojados a la atmosfera y la cantidad compuestos según el balance de combustión.

TABLA N°12: Cuadro Comparativo Carbón vs Cáscara de arroz

COMPARATIVO			
CARBÓN		CÁSCARA	
N2	61.52	N2	27.92
CO2	6.25	CO2	3.12
H2O	2.64	H2O	3.22
SO2	0.07	SO2	-
O2	8.98	O2	3.94
Rco2	133.482 Kg/Hora	Rco2	131.365 Kg/Hora
RSo2	2.233 Kg/Hora	RSo2	0.000 Kg/Hora

Fuente: Propia.

CAPITULO 4

EVALUACIÓN

ECONOMICA Y

FINANCIERA

La inversión a realizar para utilizar la cáscara de arroz, se tendría que realizar una pequeña inversión en la modificación de la caldera, la cual no necesitaría un financiamiento bancario.

Item	Inversión	Sub total	Total
a.	Modificación de la parrilla para cáscara de Arroz		S/. 2,200.00
b.	Instalación del sistema mecánico de alimentación cáscara de Arroz		
b.1.	Tolva de acero para cáscara de arroz de 100 kg.		S/. 1,500.00
b.2.	Tubería acero ASMT A53 F 4" , L=3 m		S/. 500.00
b.3.	Válvula Rotativa f 4"		S/. 1,750.00
b.4.	ME Monofásico de Potencia = 2kw, cos j=0.86, f= 60 hz, U=220 V		S/. 450.00
b.5.	Accesorios Eléctricos		S/. 400.00
b.6.	Mano Obra Instalación del sistema Mecánico		S/. 1,160.00
	1 maestro = S/.120.00/día (4 días)	S/. 480.00	
	2 ayudantes = S/85.00/día (4días)	S/. 680.00	
b.7.	Mano de Obra Instalación Eléctrica		S/. 600.00
	1 maestro = S/.130.00/día (3días)	S/. 390.00	
	1 ayudante = S/70.00/día (3días)	S/. 210.00	
c.	Instrumentación		
c.1.	Termómetro Bimetálico, (0- 150)°C		S/. 200.00
c.2.	Manómetro Tubo (0 - 5) Bar		S/. 250.00
c.3.	Termómetro Bimetálico (0-300) °C Gases residuales	S/. 450.00	
c.4.	Termocupla Pf -Rd -Pt		S/. 350.00
c.5.	Indicador Digital de Temperatura (0-150)°C		S/. 650.00
c.6.	Accesorios para medir temperatura del gas del hogar		S/. 60.00
c.7.	Válvula de Compuerta du = 4"		S/. 450.00
d.	Capacitación al personal en.		S/. 900.00
d.1.	Operación de Calderas	S/. 500.00	
d.2.	Combustión de Combustibles	S/. 400.00	
e.	Ferretería		S/. 400.00
			S/. 11,820.00

Fuente: Costos en el mercado

TABLA N°14: ROI

EVALUACIÓN DE PROYECTO POSTES DEL NORTE – NUEVOS SOLES							
AÑO		0	1	2	3	4	5
INVERSION		S/. -11,820.00					
COSTO DE OPERACIÓN		S/. -2,318.28	S/. -3,036.95	S/. -3,978.41	S/. -5,211.72	S/. -6,827.35	S/. -8,943.82
Pn, kw	2						
C.u EE, N.S./kw-h	0.27						
Tpo Opera, h/año	4992						
BENEFICIO ANUAL			S/. 92,140.67	S/. 10,219.54	S/. 3,001.76	S/. 7,043.45	S/. 12,246.27
Costo operación con antracita, N.S./			S/. 96,922.67	S/. 101,768.80	S/. 106,857.24	S/. 112,200.11	S/. 117,810.11
Costo operación con cáscara de arroz			S/. 4,782.00	S/. 91,549.26	S/. 103,855.49	S/. 105,156.66	S/. 105,563.85
FLUJO DE FONDOS		S/. -14,138.28	S/. 89,103.71	S/. 6,241.13	S/. -2,209.96	S/. 216.10	S/. 3,302.44
RESUMEN							
AÑO		0	1	2	3	4	5
POSTES DEL NORTE		S/. -14,138.28	S/. 89,103.71	S/. 6,241.13	S/. -2,209.96	S/. 216.10	S/. 3,302.44
CALCULO DEL: VAN, TIR, B/C y VAE							
POSTES DEL NORTE		0	1	2	3	4	5
		S/. -14,138.28	S/. 89,103.71	S/. 6,241.13	S/. -2,209.96	S/. 216.10	S/. 3,302.44
		VAN	TIR	B/C	Ko		
		67,589	536.80%	5.78	16%		
CALCULO DEL PRI (PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSION)			VAN		Acumulados		
POSTES DEL NORTE		0	S/. -14,138.28	S/. -14,138.28	S/. -14,138.28		
		1	S/. 89,103.71	S/. 89,103.71	S/. 74,965.43		
		2	S/. 6,241.13	S/. 6,241.13	S/. 81,206.56		
		3	S/. -2,209.96	S/. -2,209.96	S/. 78,996.60		
		4	S/. 216.10	S/. 216.10	S/. 79,212.70		
		5	S/. 3,302.44	S/. 3,302.44	S/. 82,515.14		
	5		14,138	81,728	0.86	AÑOS	
					10.38	MESES	

- Los costos de cáscara en el segundo año se hizo al equivalente del bagazo por ser biomasa, costado en Soles por cada KJ
- Los costos del carbón antracita proyectada se hizo con una variación al 5% respecto a años anteriores.

CAPITULO 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se describe detalladamente el proceso seguido en cada una de las etapas l trabajo realizado, la finalidad es que otro investigador pueda repetir el estudio realizado. Esta sección puede variar de una tesis a otras, e incluso puede estar totalmente ausente en investigaciones teóricas.

Los resultados conseguidos a través de la “mejora de los parámetros energéticos e impacto ambiental de la caldera de vapor en Postes del Norte S.A. mediante el cambio de carbón antracita por cáscara de arroz como combustible” permitieron establecer el análisis energético y másico de la caldera, la evaluación del impacto ambiental de la emisión de gases y cenizas generado por la combustión actual, el análisis económico del combustible, así como la comparación del impacto medio ambiental de acuerdo a la combustión actual y el mejorado, todo esto conllevó a diferentes actividades mediante el cual se pudieron captar los datos relevantes, como la generación de resultados para tomar decisiones para la mejora de los parámetros energéticos e impacto ambiental, con ello se demostró lo establecido en la hipótesis, ya que los cálculos según los datos obtenidos fueron de gran ayuda para determinar la emisión de gases a la atmosfera que son causantes del efecto invernadero, además de que brindaron cifras que serán plataforma para mejorar de forma continua en base a los costos. Además que esta investigación se aseguró para una correcta toma de decisiones ya que fue validada por la empresa que cuenta con la facultad y autoridad para ejercer planes de mejora y corrección en caso necesario.

CARBÓN		CÁSCARA		VARIACION
mv =	469.80 Kg/Hora	mv =	469.80 Kg/Hora	0.0%
M_Agua =	3,788.20 Kg/Hora	M_Agua =	4,024.97 Kg/Hora	5.9%
M_aire =	1,089.29 Kg/Hora	M_aire =	976.25 Kg/Hora	-11.6%
M_cble =	48.54 Kg/Hora	M_cble =	95.79 Kg/Hora	49.3%
Costos Mes	S/. 8,076.89	Costos Mes	S/. 398.50	-1926.8%
Costo ProdVap	S/. 41.33	Costo ProdVap	S/. 2.04	-1926.8%
Costo Energético	S/. 0.00001302 NS/KJ	Costo Energético	S/. 0.00000068 NS/KJ	-1807.6%
Q_{util} =	331.27 kw	Q_{util} =	331.27 kw	0.0%
Q_{total} =	414.08 kw	Q_{total} =	389.72 kw	-6.2%
Q_{perdido} =	82.82 kw	Q_{perdido} =	58.46 kw	-41.7%
CO₂	6.25	CO₂	3.12	-100.5%
SO₂	0.07	SO₂	-	
R_{co2}	133.482 Kg/Hora	R_{co2}	131.365 Kg/Hora	-1.6%
R_{So2}	2.233 Kg/Hora	R_{So2}	0.000 Kg/Hora	-100.0%

Fuente: Propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

A. Análisis energético y másico de la caldera.

- El flujo másico de agua requerida con la cáscara de arroz es de 4,024.94Kg/Hora, 5.88% más que con el carbón; donde habrá un disminución del 11.58% del flujo de aire, manteniendo el flujo másico del vapor en 469.80Kg/Hora.
- Con relación al flujo másico del carbón, se tuvo un incremento del 49.33% lo que representa 95.79Kg/Hora de cáscara de arroz para alimentar a la caldera, lo que beneficia a la caldera Postes del Norte.

B. Evaluación el impacto ambiental de las emisiones de gases y cenizas generado por la combustión actual.

- Se reducirá 2.12Kg/Hora de CO₂ y 2.23Kg/Hora de SO₂ con la cáscara de arroz con respecto al carbón, beneficiando con los indicadores ambientales.

C. Análisis económico del cambio de combustible, determinando beneficios y costos.

- Con relación a los costos generados por el carbón, se tendrá una reducción del 1,926.82% lo que representa 7,678 NS/Mes en el costo del combustible y 39.29NS/Mes en costo del vapor, beneficiando de esta manera en la economía de la empresa.

D. Comparación del impacto ambiental, de acuerdo a lo generado por la combustión actual y el mejorado.

- Las emisiones generadas por la cáscara de arroz es de 131.365Kg/Hora, 1.61% menos que las emisiones generadas por el carbón, donde el 100% de las emisiones de gases del SO₂ quedan reducidas totalmente, lo cual beneficiaría a la población aledaña a la Empresa Postes del Norte.
- Las Kmoles en la combustión presentaran reducciones en los gases de N₂, CO₂, H₂O, SO₂ y O₂, lo cual resulta favorable en la reducción de gases.

6.2 Recomendaciones

- La caldera Postes del Norte debería contar además con termocuplas que son sensores de temperatura y mediría la temperatura que iría la caldera. transmisiones de agua y válvulas de seguridad para aliviar la presión, en caso que se quiera hacer la etapa experimental, para tener el parámetro energético adecuado.
- Se debería hacer un rediseño del hogar de la caldera, ya que la parrilla actual que tiene están muy entreabiertas, porque generaría muchas mermas.
- Se debería tener una capacitación al personal y mejorar el mantenimiento de la caldera, hacer pruebas hidrostáticas de esta de acuerdo a las normas establecidas.

BIBLIOGRAFÍA

- [**Texto 001**]: DOCENTE DE LA PUCP. ,“Combustible alternativo: la cascarilla de arroz”, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [**Texto 002**]: Guillermo Nicolás Matos Ruiz “Optimización de parámetros energéticos en la caldera acuotubular bagacera de la empresa CASA GRANDE para disminuir el consumo de petróleo e incrementar su eficiencia”, Universidad Nacional de Trujillo. 2005.
- [**Texto 003**]: RUBIO GUTIÉRREZ, EDGAR. ,“Costo de generación de vapor en calderas convencionales pirotubulares y eléctricas en función de su capacidad”, Universidad Nacional Trujillo.2006
- [**Texto 004**]: LUJAN MINCHOLA, JUAN.“Análisis Energético en caldearas pirotubulares para determinar la factibilidad técnica-económica en el cambio de combustible Diesel por GLP”, Universidad Nacional Trujillo.2006
- [**Texto 005**]: G. A. GAFFERT. “Centrales de Vapor”. Editora Reverte S.A/España.1981. Pág. 211-212.
- [**Texto 006**]: ANTONIO CREUS SOLE, “Instrumentación Industrial”. Editora Alfaomega/España1997. Pág. 625 – 626.
- [**Texto 007**]: MICHAEL J, MORAN; HOWARD N, SHAPIRO. “Fundamentos De La Termodinámica Técnica”. Editora Reverte S.A/España.2005.Pág.701-703.
- [**Texto 010**]: MICHAEL J, MORGAN; HOWARD N, SHAPIRO “Fundamentals Engineering Thermodynamics”, British 2006.
- [**Texto 011**]: CLAUDIA MARGARITA SALAZAR RIVERA, “Estimación de la generación de cenizas de centrales térmicas a carbón y su reusó en la industria del cemento y hormigón”, Universidad Andrés Bello – Escuela de Ingeniería Ambiental, Santiago de Chile, 2009. Pág. 41-48.
- [**Texto 012**]: CANTER, Larry, “Manual Evaluación Impacto Ambiental”, México 2009. Pág. 320 - 398 - 448.

[Texto 013]: REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, “Biomasa, Caldera, Carbón”, México 2009. Pág. 659 - 707.

[Texto 014]: MARIO LEON RODRIGUEZ ROMAN, “Diccionario poliglota del tren”. Ediciones Luna/ESPAÑA 1997. Pág. 123.

7.2 Textos Digitales:

[Texto 022]: JOHN C. KOTZ, PAUL M. TREICHEL, GABRIELA C. WEAVER. “Química y reactividad química”. 2006. Pág. 252. Citado

17/09/2011 http://books.google.com.pe/books?id=4vL3SjWjEcQC&pg=PA914&dq=JOHN+C.+KOTZ,+PAUL+M.+TREICHEL,+GABRIELA+C.+WEAVER,+%E2%80%9CQu%C3%ADmica+y+reactividad+qu%C3%ADmica%E2%80%9D.+2006.+P%C3%A1g.+252..&hl=es&ei=R8LTTpjIN4qOgwfR-cHSDQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCsQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

[Texto 008]: JOHN C. KOTZ, PAUL M. TREICHEL, GABRIELA C. WEAVER. “Química y reactividad química”. 2006. Pág. 252. Citado

17/09/2011 http://books.google.com.pe/books?id=4vL3SjWjEcQC&pg=PA914&dq=JOHN+C.+KOTZ,+PAUL+M.+TREICHEL,+GABRIELA+C.+WEAVER,+%E2%80%9CQu%C3%ADmica+y+reactividad+qu%C3%ADmica%E2%80%9D.+2006.+P%C3%A1g.+252..&hl=es&ei=R8LTTpjIN4qOgwfR-cHSDQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCsQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

[Texto 009]: ROBERT F. CHANDLER. “Arroz en los trópicos”, Costa Rica 1984. Pág. 94 - 94. Citado

17/09/2011 http://books.google.com.pe/books?id=bVbPJS8P1NkC&pg=PA94&dq=cascaras+de+arroz&hl=es&ei=SIWEToOBGs3K0AHm3LHrDw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDgQ6AEwAg#v=onepage&q&f=false

- [Texto 015]:** M CAMP, F. MARCOS, “Los biocombustibles”, Ediciones Mundi/España 2008. Pág. 47. Citado 22/09/2011
http://books.google.com.pe/books?id=gEe9CoLXn_4C&pg=PA47&dq=biocombustible&hl=es&ei=zpGQTpjJDI2itgeQ2oGZDA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CDMQ6AEwAQ#v=onepage&q=biocombustible&f=false
- [Texto 016]:** EDUARDO LA TORRE, “sobre azúcar”, santo domingo 1981, Pág. 140. Citado 22/09/2011
http://books.google.com.pe/books?id=_jc_jTOhaQ0C&pg=PA140&dq=CONCEPTO+DE+BAGAZO&hl=es&ei=p4yQTtLLB4K2tweM5dnzCw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&sqi=2&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q=CONCEPTO%20DE%20BAGAZO&f=false
- [Texto 017]:** HÉCTOR MORA, “Manual del vigilante de seguridad”. Tomo II. Pág. 215. Citado 22/09/2011
http://books.google.com.pe/books?id=dwkg8u2MmIC&pg=PA178&dq=definici%C3%B3n+de+poder+calorifico&hl=es&ei=gIKQTo yQE6js0gHJ14FC&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CDAQ6AEwAQ#v=onepage&q&f=false
- [Texto 018]:** EDUARDO J. BOTTANI, HECTOR S. ODETTI, OSCAR H. PLIEGO, EDUARDO R. VILLAREAL, “Química General”, Universidad nacional del litoral, Argentina 2006. Pág. 44. Citado 24/09/2011
http://books.google.com.pe/books?id=FMZyGccDI9EC&pg=PA44&dq=estequiometria&hl=es&ei=PZOQTpphwra2B_LYkaQM&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&sqi=2&ved=0CDkQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false
- [Texto 019]:** ARMANDO BORGNA, JUANA DI COSIMO, NORA FIGOLI, “Petróleo y gas natural”. Universidad nacional del litoral, Argentina 2001. Pág. 29. Citado 24/09/2011
<http://books.google.com.pe/books?id=jE6vRSzFqxYC&pg=PA29>

http://books.google.com.pe/books?id=dwkgf8u2MmIC&pg=PR5&dq=CRAQUEO&hl=es&ei=qIqQTo7pJ8u1twfvu-WqDA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDYQ6AEwAg#v=onepage&q=CRAQUEO&f=false

[Texto 020]: J.P. WAUQUIER “El refinado del petróleo”, España 2004. Pág. 182. Citado 29/09/2011

http://books.google.com.pe/books?id=dwkgf8u2MmIC&pg=PR5&dq=J.P.+WAUQUIER+%E2%80%9CEl+refinado+del+petr%C3%B3leo%E2%80%9D,+Espa%C3%B1a+2004&hl=es&ei=jMLTTv7HDMOBgAeyrfC9DQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

[Texto 021]: DANIEL GARCIA GALINDO, ADELIN REZEAU, "Energía de la biomasa". Prensas universitarias de Zaragoza/España 2010. Pág. 41. Citado 29/09/2011

http://books.google.com.pe/books?id=P58rcPu5O90C&pg=PA41&dq=parametros+energeticos&hl=es&ei=kpuQTvOnCs-gtgexyOSKDA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=10&ved=0CF0Q6AEwCQ#v=onepage&q&f=false

7.3 Direcciones Electrónicas:

[Url #001]: Wikipedia la enciclopedia libre. Wikipedia. Caldera. Citado 17/09/2011

http://es.wikipedia.org/wiki/Caldera_%28m%C3%A1quina%29

[Url #002]: Carbón. Clasificación y propiedades del Carbón. Citado 20/10/2012 <http://www.catamutun.com/produccion/carbon/pro.html>

[Url #003]: Natalia Fernández Castaño. "Plantas De Biomasa". Citado 10/09/2011

<http://limpiezastecnicasindustriales.com/plantasdebiomasa.pdf>

[Url #004]: Teodoro Sánchez, Saúl Ramírez. "Uso De Cascarrilla De Arroz Como Fuente Energética En Ladrilleras". Citado 10/09/2011

http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/24bib_arch.pdf

[Url #005]: Ministerio De Agricultura, "El arroz en el Perú". Citado el 13/09/2011. <http://www.minag.gob.pe/herramientas/boletines.html>

- [Url #006]: Quiminet. Poder calorífico. Citado el 10/09/2011.
<http://energia.mecon.ar/Electricidad/boletines/quinquenales/1991-1995/TABLA%20DE%20CONVERSIONES%20ENERGETICAS.html>
- [Url #007]: Teodoro Sánchez, Saúl Ramírez. “Uso De Cascarilla De Arroz Como Fuente Energética En Ladrilleras”. Citado 10/09/2011
http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/24bib_arch.pdf
- [Url #008]: REDALYC, Varon Camargo, Javier; Restrepo, Alvarado, “Caracterización térmica y estequiometría de la combustión de la cascarilla de arroz”. Citado el 10/09/2011.
<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=84912053009>
- [Url #009]: Hotsitespetrobras. Cogeneración. Citado el 17/09/2011.
<http://www.hotsitespetrobras.com.br/rao2008/i18n/es/home/glossario.aspx>
- [Url #010]: Wikipedia la enciclopedia libre. Wikipedia. VAN, TIR. Citado el 01/10/2011. http://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_interna_de_retorno
- [Url #011]: Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España, “El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior”. Citado 08/10/2011
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_549.pdf
- [Url #012]: FAO, “Parámetros energético”, citado 08/10/2011
<http://www.fao.org/docrep/008/j0926s/J0926s06.htm>
- [Url #013]: FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLES, “El Carbón”, citado 03/11/2012
<http://es.scribd.com/doc/74262317/8/CLASIFICACION-DE-LOS-DISTINTOS-TIPOS-DE-CARBON-Norma-ASTM>

ANEXOS

ANEXO # 001: Poder calorífico del carbón y otros combustibles sólidos.

Combustible	Densidad	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg	Combustible	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
	Media kg/m ³					
Turba	360	21300	22500	Aglomerados de carbón	31300	35600
Lignito	1050	28400	29600	Carbón de madera	31400	33700
Hulla	1350	30600	31400	Coque	29300	33700
Antracita	875	34300	34700	Coque de petróleo	34100	36500

Fuente: Tablas de Termodinámica

ANEXO # 002: Poder calorífico del carbón y otros combustibles sólidos

COMBUSTIBLE	PODER C. MEDIO kJ/kg
Bagazo húmedo	10500
Bagazo seco	19200
Cáscara de cacahuete	17800
Cascarilla de arroz	13800
Celulosa	16500
Corteza escurrida	5900
Cosetas de caña	4600
Madera seca	19000
Madera verde (*)	14400
COMBUSTIBLE	PODER C. SUPERIOR kJ/kg
Cáscara de almendras	36800
Cáscara de nueces	32000
Cáscara de arroz	15300
Cáscara de pipa de girasol	17500
Cáscara de trigo	15800
Corteza de pino	20400
Corcho	20930
Orujillo de aceituna	17900
Orujo de uva	19126
Papel	17500

Fuente: Tablas de Termodinámica

ANEXO # 003: Tabla de Vapor de Agua

TABLAS DE VAPOR DE AGUA							
pabs.	Tsat	v''	ρ''	h'	h''	lv	cp
(bar)	(°C)	(m ³ /kg)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg*°C)
1	99.63	1.694	0.59	417.51	2,675.4	2,257.9	2.0267
1.1	102.3	1.549	0.645	428.84	2,679.6	2,250.8	2.0373
1.2	104.8	1.428	0.7	439.36	2,683.4	2,244.1	2.0476
1.3	107.1	1.325	0.755	449.19	2,687	2,237.8	2.0576
1.4	109.3	1.236	0.809	458.42	2,690.3	2,231.9	2.0673
1.5	111.4	1.159	0.863	467.13	2,693.4	2,226.2	2.0768
1.5	111.4	1.159	0.863	467.13	2,693.4	2,226.2	2.0768
1.6	113.3	1.091	0.916	475.38	2,696.3	2,220.9	2.086
1.7	115.2	1.031	0.97	483.22	2,699	2,215.8	2.095
1.8	116.9	0.977	1.023	490.7	2,701.5	2,210.8	2.1037
1.9	118.6	0.929	1.076	497.85	2,704	2,206.1	2.1124
2	120.2	0.885	1.129	504.71	2,706.3	2,201.6	2.1208
2.2	123.3	0.81	1.235	517.63	2,710.6	2,193	2.1372
2.4	126.1	0.746	1.34	529.64	2,714.6	2,184.9	2.1531
2.6	128.7	0.693	1.444	540.88	2,718.2	2,177.3	2.1685
2.8	131.2	0.646	1.548	551.45	2,721.5	2,170.1	2.1835
3	133.5	0.606	1.651	561.44	2,724.7	2,163.2	2.1981
3.5	138.9	0.524	1.908	584.28	2,731.6	2,147.4	2.2331
4	143.6	0.462	2.163	604.68	2,737.6	2,133	2.2664
4.5	147.9	0.414	2.417	623.17	2,742.9	2,119.7	2.2983
5	151.9	0.375	2.669	640.12	2,747.5	2,107.4	2.3289
5.5	155.5	0.342	2.92	655.81	2,751.7	2,095.9	2.3585
6	158.8	0.315	3.17	670.43	2,755.5	2,085	2.3873
6.5	162	0.292	3.419	684.14	2,758.9	2,074.7	2.4152
7	165	0.273	3.667	697.07	2,762	2,064.9	2.4424
7.5	167.8	0.255	3.915	709.3	2,764.8	2,055.5	2.469
8	170.4	0.24	4.162	720.94	2,767.5	2,046.5	2.4951
8.5	172.9	0.227	4.409	732.03	2,769.9	2,037.9	2.5206
9	175.4	0.215	4.655	742.64	2,772.1	2,029.5	2.5456
9.5	177.7	0.204	4.901	752.82	2,774.2	2,021.4	2.5702
10	179.9	0.194	5.147	762.6	2,776.2	2,013.6	2.5944
11	184.1	0.177	5.638	781.11	2,779.7	1,998.6	2.6418
12	188	0.163	6.127	798.42	2,782.7	1,984.3	2.6878
13	191.6	0.151	6.617	814.68	2,785.4	1,970.7	2.7327
14	195	0.141	7.106	830.05	2,787.8	1,957.7	2.7767
15	198.3	0.132	7.596	844.64	2,789.9	1,945.2	2.8197

Fuente: Ing. Raúl Paredes Rosario.