

Esdras Nehemias de la Cruz Vasquez

PROPUESTA PARA MINIMIZAR EL CONSUMO DE CARBÓN EN CALDERA  
NUEVE DE TERMO ELÉCTRICA MEDIANTE CALENTADORES DE AGUA  
DE ALIMENTACIÓN EN INGENIO PALO GORDO S.A., SAN ANTONIO,  
SUCHITEPÉQUEZ.



Asesor General Metodológico

MSc. Daniel Humberto González Pereira

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, julio de 2020

Informe final de graduación

PROPUESTA PARA MINIMIZAR EL CONSUMO DE CARBÓN EN CALDERA  
NUEVE DE TERMO ELÉCTRICA MEDIANTE CALENTADORES DE AGUA  
DE ALIMENTACIÓN EN INGENIO PALO GORDO S.A., SAN ANTONIO,  
SUCHITEPÉQUEZ.



Presentado al honorable tribunal examinador por:

Esdras Nehmias de la Cruz Vasquez

En el acto de investidura previo a su graduación de Licenciado en Ingeniería  
Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables.

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, julio de 2020

Informe final de graduación

PROPUESTA PARA MINIMIZAR EL CONSUMO DE CARBÓN EN CALDERA  
NUEVE DE TERMO ELÉCTRICA MEDIANTE CALENTADORES DE AGUA  
DE ALIMENTACIÓN EN INGENIO PALO GORDO S.A., SAN ANTONIO,  
SUCHITEPÉQUEZ.



Rector de la universidad:

Doctor Fidel Reyes Lee

Secretaria de la Universidad:

Licenciada Lesbia Tevalán Castellanos

Decano de la Facultad de Ingeniería:

Ingeniero Luis Adolfo Martínez Díaz

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, julio de 2020

Esta tesis fue presentada por el autor  
previo a obtener el título universitario de Licenciado en  
Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales  
Renovables.

## **Presentación**

Estudio de tesis titulado, “Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez”, fue realizada durante los meses de febrero a julio del año dos mil veinte, como requisito previo a optar el título universitario de Licenciado en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables de conformidad con los estatutos de la Universidad Rural de Guatemala.

Se determinó que el problema central es: Inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, en área de caldera nueve en Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

De la investigación surgió una propuesta para solucionar el problema, formada por tres resultados que son: a) Se cuenta con una Unidad Ejecutora. b) Se cuenta con una propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez. c) Se cuenta con un Programa de sensibilización y capacitación para la correcta operación de calentadores de agua del área Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

## **Prólogo**

De acuerdo al reglamento del programa de graduación de Universidad Rural de Guatemala y previo a obtener el título universitario de Licenciado en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables, se llevó a cabo el estudio denominado: Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez., se llevó a cabo para proponer las posibles soluciones a la problemática.

Esta investigación tiene como finalidad ser útil a futuros estudiantes de diferentes universidades del país como fuente de consulta, incluyen a los resultados obtenidos en la investigación y que puedan aplicarse en diferentes áreas de trabajo similares a los que se realizan en área Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez.

Con el fin de solucionar la problemática planteada se presenta como aporte a dicha solución, tres resultados.

Estos resultados permitirán reducir incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

## Índice general

I.	INTRODUCCION.....	01
I.1.	Planteamiento del problema.....	02
I.2.	Hipótesis.....	03
I.3.	Objetivos.....	03
I.3.1	Objetivo general.....	03
I.3.2	Objetivo específico.....	03
I.4.	Justificación.....	03
I.5.	Metodología.....	04
I.5.1	Métodos.....	05
I.5.1	Técnicas.....	06
II.	MARCO TEÓRICO.....	08
III.	COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	64
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
	Bibliografía	
	Anexos	

## Índice de cuadros

No.	Contenido	Página
1	Incremento de consumo de carbón en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez, en los últimos 5 años.....	65
2	El incremento de uso de carbón en caldera nueve de termo eléctrica ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez, tiene solución.....	66
3	Es necesaria la implementación de calentadores de agua de alimentación para reducir el consumo de carbón en caldera nueve de termo eléctrica ingenio palo gordo San Antonio Suchitepéquez.....	67
4	El incremento en el consumo de carbón se debe a la falta de capacitación del personal operativo del área de caldera nueve de termo eléctrica.....	68
5	el incremento en el consumo de carbón en caldera nueve de termo eléctrica de ingenio palo gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez, se debe a la inexistencia de una Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación.....	69
6	Falta de una Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez.....	70

## Índice de figuras

No.	Contenido	Página
1	Proceso de prácticas de ingenio azucarero.....	10
2	Tabla nivel de producción de energía ingenio Palo Gordo.....	13
3	Mapa de ubicación de ingenio Palo Gordo.....	14
4	Nivel de venta de energía eléctrica.....	20
5	Diagrama de una central térmica de carbón..... □ □ .....	21
6	Caldera acuotubular.....	32
7	Caldera pirotubular horizontal.....	33
8	Control y protección de turbinas.....	47
9	Bodega de carbón Ingenio Palo Gordo.....	52
10	Trituradora de carbón.....	53
11	Conductores de carbón ingenio Palo Gordo.....	54
12	Generación de energía eléctrica (% por tipo de combustible).....	56
13	Organigrama de transformación de energía eléctrica.....	58
14	Transformación de energía eléctrica contrapresión y condensación.....	59

## Índice de gráficas

No.	Contenido	Página
1	Incremento de consumo de carbón en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez, en los últimos 5 años.....	65
2	El incremento de uso de carbón en caldera nueve de termo eléctrica ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez, tiene solución.....	66
3	Es necesaria la implementación de calentadores de agua de alimentación para reducir el consumo de carbón en caldera nueve de termo eléctrica ingenio palo gordo San Antonio Suchitepéquez.....	67
4	El incremento en el consumo de carbón se debe a la falta de capacitación del personal operativo del área de caldera nueve de termo eléctrica.....	68
5	el incremento en el consumo de carbón en caldera nueve de termo eléctrica de ingenio palo gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez, se debe a la inexistencia de una Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación.....	69
6	Falta de una Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez.....	70

Índice de tablas

No.	Contenido	Página
1	Tabla de combustión.....	30

## I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se elaboró como uno de los requisitos establecidos por la Universidad Rural de Guatemala, previo a obtener el título universitario de Licenciado en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables, que es llevar a cabo una investigación, por lo tanto, se optó el estudio de: Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez.

El estudio identifica la problemática existente, Incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

El estudio fue realizado durante los meses de febrero a julio del año dos mil veinte.

Al terminar el trabajo de graduación, se comprobó la hipótesis: “El incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez en los últimos 5 años, por inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, es debido a la falta de procedimientos para minimizar el uso del mismo”.

El informe final de graduación o tesis está integrado de la siguiente forma: Prólogo y Presentación, además los siguientes capítulos:

I: Compuesto por: Introducción, planteamiento del problema, hipótesis, objetivo general y objetivos específicos, justificación, metodología conformada por métodos y técnicas tanto para la formulación como para la comprobación de la hipótesis.

II: Compuesto por: Marco teórico, que comprende aspectos conceptuales formados por aspectos doctrinarios y legales.

III: Compuesto por: Presentación, y análisis de resultados. Formado por cuadros y gráficas de los resultados obtenidos de las encuestas relacionados a la variable dependiente “Y” e independiente “X” con su respectivo análisis.

IV: Compuesto por: Conclusiones y recomendaciones, luego bibliografía y anexos principales.

La propuesta la conforman tres resultados que son los siguientes:

Resultado uno: Se cuenta con una Unidad Ejecutora. Resultado dos: Se cuenta con una propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez; Resultado tres: Se cuenta con un Programa de sensibilización y capacitación para la correcta operación de calentadores de agua del área Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez. Los tres resultados juntos forman la propuesta para proporcionar una solución integral al problema.

### **I.1. Planteamiento del problema**

Para el año 2020 se ha logrado determinar que siempre existirá Incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

El problema principal de la investigación es la Inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón. El efecto es el incremento de consumo de carbón en los últimos cinco años, y su causa principal es la Falta de procedimientos para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en área de Termo eléctrica.

Al resolver el problema con esta propuesta, ya no habrá Incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

## **I.2. Hipótesis**

A través del Método del Marco Lógico, se elaboró el árbol de problemas, y se determinó la Variable Dependiente: Incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez. en los últimos 5 años, Además, la Variable Independiente: Falta de procedimientos para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

Con estas variables se elaboró la hipótesis siguiente: “El incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez en los últimos 5 años, por inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, es debido a la falta de procedimientos para minimizar el uso del mismo”.

## **I.3. Objetivos**

Con la finalidad de poder darle una solución a la problemática estudiada y contribuir a la solución de los problemas encontrados, se trazaron los siguientes objetivos:

### **I.3.1. Objetivo general**

Evitar el incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

### **I.3.2. Objetivo específico**

Lograr existencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, en área de caldera nueve en Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez

## **I.4. Justificación**

El desarrollo de la presente investigación y estudio que se realizó refleja la necesidad de implementar medidas sobre el incremento de consumo de carbón, en área de

caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez. en los últimos 5 años, ante la falta de procedimientos para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación.

La investigación se realizó basada en fuentes de información primaria que ofrecen datos fidedignos; así mismo de otras fuentes constituyentes, el trabajo de campo que se desarrolló con las personas que se encuentran dentro del área Termo eléctrica, sin dejar de tomar en cuenta la documentación existente sobre el tema.

La razón por la cual se realizó la investigación es porque en los últimos 5 años ha existido incremento de consumo de carbón en área de caldera nueve de Termo eléctrica, por la falta de procedimientos para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación

Como aproximación y solución del problema expuesto, se hace necesario realizar una propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación

Si se aplica la propuesta se reduce el incremento de consumo de carbón. Por lo contrario, si no se aplica la propuesta existirán incremento de consumo de carbón, ya que no hay una propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación.

## **I.5. Metodología**

Según Pérez (2008): “La metodología es una pieza esencial de toda investigación (método científico) que sigue a la propedéutica ya que permite sistematizar los procedimientos y técnicas que se requieren para concretar el desafío”.

Para poder comprobar la hipótesis planteada “El incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez en los últimos 5 años, por inexistencia de un proceso para optimizar el

uso de carbón, es debido a la falta de procedimientos para minimizar el uso del mismo”se elaboró la siguiente metodología:

### **I.5.1. Métodos**

Se dividen en utilizados para la formulación de la hipótesis y para la comprobación de la hipótesis.

La metodología utilizada para la elaboración de la hipótesis y su comprobación se compone de métodos y técnicas.

#### **I.5.1.1. Métodos utilizados en la formulación de la hipótesis**

Los métodos utilizados en la formulación de la hipótesis fueron: El Método Deductivo y el Método del Marco Lógico.

##### **a) Método Deductivo**

Este se utilizó para identificar la problemática, que inicia con la observación de fenómenos naturales y de esta manera definir la investigación planteada, por lo que fue necesario visitar el área Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

##### **b) Método del Marco Lógico o la Estructura Lógica**

Es una herramienta para facilitar el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos. Su énfasis está centrado en la orientación por objetivos, la orientación hacia grupos beneficiarios y el facilitar la participación y la comunicación entre las partes interesadas.

El Método del Marco Lógico o la Estructura Lógica, sirvió para la estructura y elaboración de los árboles de problemas y objetivos, para establecer los resultados deseados y esperados dentro de la investigación, así mismo para fijar y establecer los insumos y tiempos por cada resultado. También para comprobar la hipótesis.

### I.5.1.2. Métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis

Los métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis fueron los siguientes: Inductivo, de Síntesis y Estadístico.

#### a) Método Inductivo

Se estudian los fenómenos particulares, que darán soluciones generales.

Con este método se obtuvieron los resultados de la problemática, se utilizó para realizar encuestas y para diseñar conclusiones, de esta forma poder llegar a la hipótesis planteada.

#### b) Método de Síntesis

Una vez interpretada la información, se utilizó la síntesis para obtener conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación; la que sirvió para hacer congruente la totalidad de la investigación.

#### c) Método Estadístico

Con este método se determinaron los parámetros necesarios, que ayudaron a la comprobación de la hipótesis.

Al hacer uso de este método, se tabularon los resultados de la encuesta, en los cuadros y gráficas, para comprobar la variable “Y” y la variable “X”, así mismo para comprobar el problema.

### **I.5.2. Técnicas**

Las técnicas empleadas en la formulación y comprobación de la hipótesis fueron las siguientes:

#### I.5.2.1. Técnicas de investigación para la formulación de hipótesis

Las técnicas que se utilizaron para la formulación de la hipótesis, son las herramientas que se detallan a continuación:

##### a) Lluvia de Ideas

Se utilizó esta técnica para recopilar ideas de la problemática de todos los colaboradores de área Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

##### b) Observación Directa

Por medio de esta técnica se observa el problema directo que se encontraba en área Termo eléctrica y se recolectó dicha información.

##### c) Investigación Documental

Se utilizó, con el fin de no duplicar documentos, así mismo para obtener aportes y puntos de vista de otros investigadores sobre la problemática

#### I.5.2.2. Técnicas empleadas para la comprobación de la hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se aplicaron las siguientes herramientas:

##### a) Cuestionario

Se elaboró un cuestionario para investigar el efecto (variable dependiente “Y”) y otro cuestionario para investigar la causa (variable independiente “X”) .y para el problema, se distribuyó el mismo a la muestra.

##### b) Entrevista

Para la entrevista se diseñaron boletas de investigación, para comprobar la variable dependiente “X” (Causa) e independiente “Y” (Efecto) de la hipótesis, esto fue

realizado con el mismo personal que trabaja dentro del área Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

c) Análisis

Esta técnica se aplicó al interpretar los datos tabulados en valores absolutos y relativos, obtenidos después de la aplicación de las boletas de investigación, “Y” y “X”, que tuvieron como objeto la comprobación de la hipótesis.

## **II. MARCO TEÓRICO**

El marco teórico consiste en desarrollar la teoría que va a fundamentar el proyecto de investigación. En su elaboración fue necesario acudir a la recopilación de datos e información documental.

Está integrado por aspectos doctrinarios, que incluyen toda la teoría que se ha escrito anteriormente sobre el tema, además los aspectos legales.

### **II. 1 Temas**

Los temas son los siguientes: Ingenio azucarero, Termoeléctrica, Combustión, Calderas, Agua de alimentación, Turbo generación, Calentador, Agua mineral, Energía eléctrica y Legislación nacional.

#### **II.1.1 Ingenio azucarero**

Actualmente la agroindustria azucarera guatemalteca se sitúa como la quinta potencia exportadora de azúcar a nivel mundial y el segundo lugar a nivel mundial en productividad (ASAZGUA, 2015), lo que significa que es una industria en constante desarrollo, investigación e innovación de sus procesos productivos.

Las prácticas agrícolas desarrolladas e implementadas en los 12 ingenios de Guatemala, son el resultado de años de investigación y el esfuerzo de muchos técnicos azucareros, esto con el objetivo de cada año ser más eficientes, competitivos, rentables, y así transformarse y adaptarse a los precios del mercado y otros factores que afectan la rentabilidad del proceso. La mayoría de prácticas en los últimos 10 años se han enfocado a ser eficientes y más rentables, esto debido a que en los últimos 5 años los precios del azúcar en el mercado internacional han variado.

Dentro de estas prácticas agrícolas se encuentra la cosecha del cultivo de Caña, denominada comúnmente CAT (corte, alce y transporte de Caña de azúcar). La cosecha es una de las etapas de mayor importancia en la producción de Caña de

azúcar. Su objetivo es recolectar la materia prima disponible en el campo con mínimas pérdidas y una alta eficiencia, y así garantizar el suministro de caña oportuno y en cantidad suficiente a la fábrica, con el menor tiempo entre cosecha y molienda, con bajos niveles de materias extrañas (especialmente de hojas, puntas y tierra) y con los menores costos, todo esto con el propósito de obtener azúcar de alta calidad y a precios competitivos.

### **Figura 1**

Proceso de prácticas de un ingenio azucarero.



Fuente: Campos (2016)



Fuente: (Pánuco) 2019



Fuente: Mendoza (2016)



Fuente: Cenergia (2016)

Un ingenio azucarero aprovecha las propiedades de la materia prima, transformándola y adquirir así el valor agregado del producto, ya que se toma en cuenta la mano de obra y el proceso que se conlleva durante el corte, alce y transporte del producto.

La cosecha de Caña de azúcar, y producción de azúcar cada día, cobra mayor importancia dentro de la economía nacional, esto ha llevado a los ingenios azucareros a expandir sus cultivos y operaciones a lo largo de la costa sur, tal implicación conlleva a elevar la dificultad de la logística de abastecimiento de materia prima, desde los campos de cosecha hasta el ingenio.

La Caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*), es el segundo cultivo de importancia social y económica en Guatemala, únicamente superado por el café. En el año 2007 generó el ingreso de US\$371 millones por exportaciones de azúcar y melaza. El 27% de azúcar producida fue para atender la demanda nacional, como un producto de la canasta básica, representa así el 13.65% de las exportaciones del país y un 3% del producto interno bruto (PIB), su importancia se debe a la gran extensión cultivada de forma intensiva en aproximadamente 213,000 hectáreas, genera 60,000 empleos directos y 300,000 indirectos. (ASAZGUA, 2007).

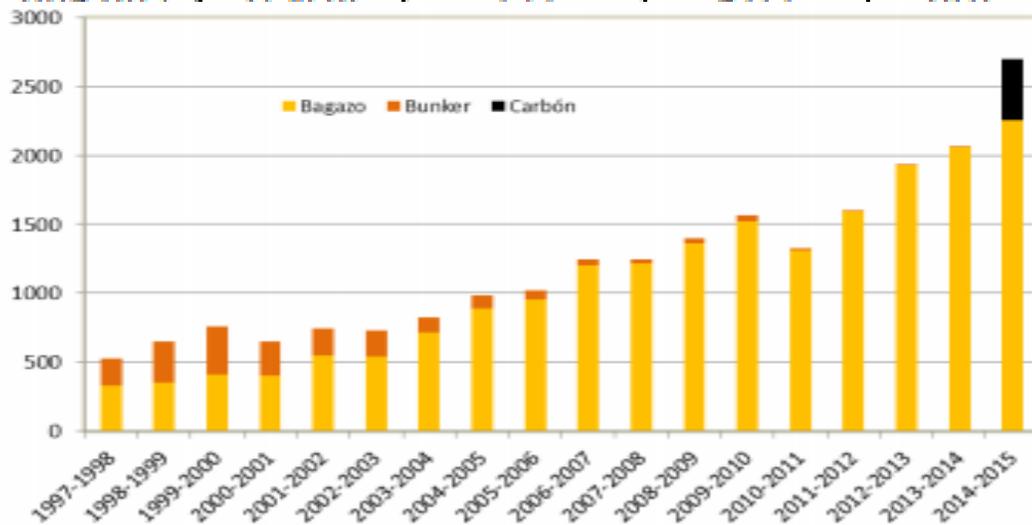
La economía de Guatemala se sustenta principalmente por la agroindustria azucarera.

Es de resaltar que además de la generación de producción agrícola, los ingenios conocidos como “azucareros” actualmente se dedican a la producción de energía eléctrica por medio de diversos métodos de carbonización para la generación de la misma, acrecienta el capital por medio de esta nueva tecnología implementada. Como lo plasma la siguiente imagen.

**Figura2**

Tabla de nivel de producción de energía de ingenio Palo Gordo

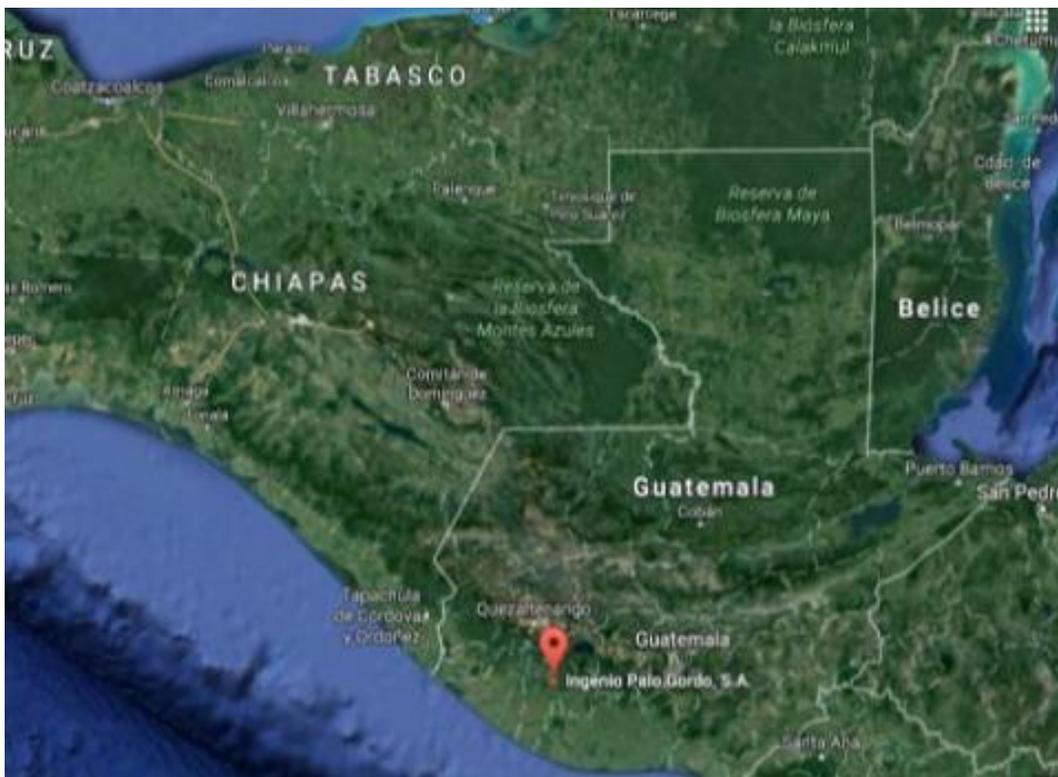
Zafra	Energía Total generada			Total
	Bagazo	Bunker	Carbón	
1997-1998	332.55	192.25		525
1998-1999	351.79	296.17		648
1999-2000	411.51	347.61		759
2000-2001	403.70	245.65		649
2001-2002	547.61	195.00		743
2002-2003	541.99	189.92		732
2003-2004	718.48	105.53		824
2004-2005	886.60	98.71		985
2005-2006	957.00	62.80		1020
2006-2007	1199.95	46.14		1246
2007-2008	1215.23	34.23		1249
2008-2009	1363.52	38.34		1402
2009-2010	1522.18	40.29		1562
2010-2011	1310.09	13.52		1324
2011-2012	1591.94	13.07		1605
2012-2013	1928.46	5.07		1934
2013-2014	2056.89	3.69		2061
2014-2015	2256.70	1.19	439.1	2697



Fuente: CENGICANA (2015)

**Figura 3**

Mapa de ubicación Ingenio Palo Gordo



Fuente: Mapa Google.com.gt (2016)

Palo Gordo, una hacienda ubicada en Guatemala, cerca del municipio de San Antonio, Suchitepéquez, adquirida en 1929 por la Central American Plantations Corporation – CAPCO-. Iniciaron el cultivo de Caña de azúcar en Palo Gordo con un ingenio para moler mil toneladas de caña diaria, que inició operaciones en 1930 (ASAZGUA, 2015),

Fue adquirido por el Estado de Guatemala y bajo administración del Departamento de Fincas Rústicas Nacionales e Intervenidas. En la cosecha de 1961/62 molió 20,000 toneladas de caña propia y 162,957 toneladas de particulares, produjo así 342,820 quintales de azúcar de diferentes clases.

El 12 de julio de 1962, el Crédito Hipotecario Nacional puso en remate el ingenio Palo Gordo, fue adquirido en subasta pública por un grupo de 186 agricultores cañeros y empresarios, organizados en la Cooperativa Agrícola Industrial Ingenio Palo Gordo, S.A., que daban su caña al ingenio.

Los nuevos propietarios ampliaron la capacidad de molienda a 4,000 toneladas diarias.

En 1973 la empresa adquirió cinco molinos de mazas de 72 pulgadas y se amplió la capacidad de molienda a 7,000 toneladas diarias. También adquirió taller de fundición y pailería con herramienta pesada.

En el año 1988, se inició trabajo de cosecha con sistema de corte, alce y transporte general (CAT), se introdujo tecnología en el control de plagas y enfermedades con la prohibición de uso de insecticidas químicos en el cultivo, se incrementó el uso de riego, se analizó los suelos del área de influencia para aplicar fertilizantes específicos. (ASAZGUA, 2015),

2000-2002

Se instala un sistema de clarificación de meladura Tate & Lyle para producir mejor calidad de azúcar y, gradualmente, se procedió a la automatización del ingenio, se obtuvieron dos molinos nuevos, para moler con seis molinos movidos por turbinas, así se aumentó la capacidad de molienda a 11, 000 toneladas al día. El notable aumento en la producción logró un desarrollo agrícola de la zona.

2008-2009

Se realiza una zafra con récord en la producción de azúcar con 2,000,000 en tan solo 149 días de zafra, recibió en ese momento 925,000 toneladas de caña y así se incrementó la buena calidad en la obtención de azúcar.

2011-2012

En su proceso de mejorar continuamente se superó las expectativas en la producción de azúcar a 2,773,000 quintales, se mejora en un 40% la producción, luego se obtuvo una mejora en los departamentos de engranaje.

Actualmente el Ingenio Palo Gordo efectúa una cosecha anual de 11,784,000 toneladas de caña, las cuales son cosechadas con 4 sistemas; cada uno de los cuales, de acuerdo a su estructura, tienen sus particularidades logísticas, operativas, mano de obra, maquinaria, índices de gestión, costos y resultados.

Durante los últimos 5 periodos de zafra, ha evaluado diferentes sistemas de cosecha con el objetivo de determinar cuál es el sistema más rentable y que reporte los mejores resultados en los parámetros de calidad establecidos, de acuerdo a las características particulares (topografía, tipo de suelo, rutas, variedades, condiciones climáticas, mano de obra, etc.); Ingenio Palo Gordo, es la empresa en la que se desarrolla la presente investigación, al saber la importancia que tiene en este sistema de la agroindustria los procesos de la cosecha y su repercusión en los costos de producción y la alta incidencia que tiene en la calidad de la materia prima obtenida.

Desde su fundación, IPG ha experimentado diferentes transformaciones, a pesar de ello, se conservan valores que han trascendido por generaciones y que hoy se confirman adaptándose a las condiciones cambiantes del presente.

#### Misión

Transformar Recursos Naturales en Energía para el Desarrollo en beneficio de aliados estratégicos (Clientes, Accionistas, Colaboradores, Proveedores y las comunidades vecinas), y respetar el ambiente.

#### Visión

Ser la mejor opción en Centro América para crear valor a los aliados estratégicos.

## Valores

- Rentabilidad con Responsabilidad Social Empresarial y sostenibilidad
- Se guían por principios de ética.
- Actitud optimista y proactiva.
- Ser innovadores.
- Lograrun entorno de trabajo agradable, seguro y eficaz.
- Estar comprometidos con la buena calidad de los productos y servicios prestados.
- Tener compromiso con la creación de valor para los accionistas.

## Industria Azucarera Guatemalteca:

Análisis de Sostenibilidad según José Manuel Pérez y Lawrence Pratt Julio, en su informe análisis de sostenibilidad del año 1997 los preparativos del suelo para la siembra de la Caña de azúcar se caracterizan por un alto grado de mecanización de las tierras para formar los surcos que recibirán la semilla de caña. Esto contribuye a una acción de la capa vegetal que queda al descubierto sin ningún tipo de cobertura vegetal.

La mecanización está enlazada a la compactación de suelos que disminuye los rendimientos del cultivo, por la dificultad de las raíces al ser penetradas profundamente en los suelos y así disminuye la filtración del aire, agua y capacidad de retención de humedad.

Todo en cuanto a la siembra de la Caña de azúcar cuenta, todo lleva un alto grado de preparación inclusive de la tierra que es primordial puesto que si la tierra se encuentra en un mal estado, esta no producirá la caña como se espera, la tierra ya debe está preparada para con ello recibir las estacas de caña para poder avanzar con el proceso,

el sol y el agua juegan un papel muy importante dentro de este proceso también como toda planta las siembras de caña necesitan abundante sol y agua, por ello muchos de los cultivos cuentan con regado de agua para abastecer al cultivo (ASAZGUA, 2015),

El proceso y transformación de la Caña en Azúcar tiene muchos pasos los cuales son:

La recepción y lavado; la Caña es descargada en el patio de recepción, y se quita el exceso de tierra y piedras por medio del lavado de caña. Este proceso en específico es intensivo al momento del consumo de agua y uno de los puntos de contaminación, para poder tener un ahorro de agua ya usada.

Se lava la caña de azúcar para eliminar las impurezas y materiales extraños como tierra que le resta pureza y color al azúcar refinado, el bajo rendimiento que existe por tonelada de caña molida. Luego la caña lavada pasa a cuchillos picadores que reducen el tamaño de la estaca, luego pasas por los molinos que separa el bagazo del jugo o guarapo de caña.

Hoy en día el bagazo es aprovechado por ingenios como fuente de combustible para calderas y suplen las necesidades energéticas del proceso para lograr energía. El color verde oscuro del jugo, es ácido con grado de turbidez, en el clarificador se remueven las impurezas solubles e insolubles.

En la preparación se calienta y al mismo tiempo se coagulan las albúminas, grasas, ceras y gomas, atrapa los sólidos que pasan a formar parte de la cachaza que se usa como abono orgánico. Pasa un proceso de evaporación, el jugo clarificado donde pierde parte de su agua, y genera un vacío progresivo.

En la última torre pasa a un condensador donde se recupera agua para las necesidades del procesamiento pasa a un tacho donde se evapora al vacío hasta alcanzar un punto de saturación, los pequeños granos de azúcar sirven de semilla para la formación de los cristales a base de azúcar.

### 2.3.6. Centrífugas

Entre los cristales y siropes de azúcar es conocido como “*massecuite*”, la mezcla de ellos pasa a las centrífugas donde se separa la melaza cruda por medio de esa fuerza. A los tanques de almacenamiento pasa la melaza y tiene diversos usos finales (alcoholes, licores, sacros químicos y pienso animal).

El azúcar ya centrifugado pasa a los secadores donde se elimina la humedad que resta y se almacena en sacos para la exportación. Al siguiente proceso pasa el azúcar crudo, se almacena y exporta en ese estado. Por último, el azúcar se separa y clasifica según su calidad y granulometría, antes de poder salir al consumo nacional familiar. En Guatemala por ley el azúcar destinado para consumo humano tiene que ser suplementada con Vitamina A. Esta exigencia es igual para toda azúcar sea nacional o extranjera destinada al consumo de mesa (ASAZGUA, 2015),

**Figura 4**

Nivel de venta de energía eléctrica ingenio

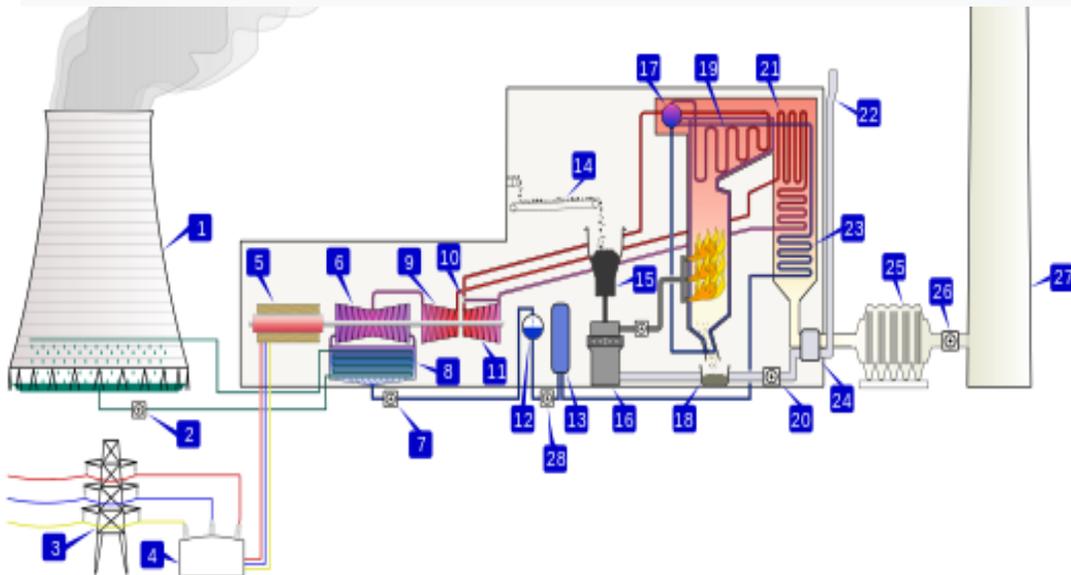
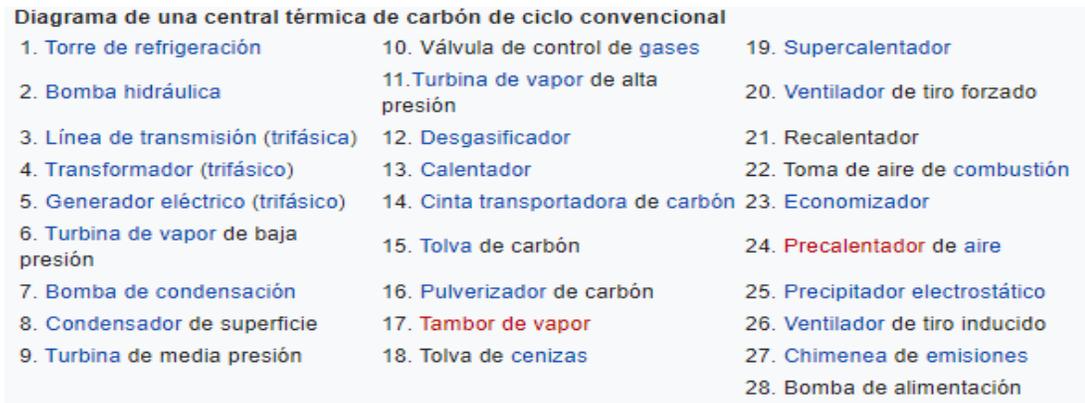
No.	Variables	Unidad	2012-2013	2013-2014	2014-2015
1	Ventas al S.N.I	GWh	29.91	90.79	118.2
2	Consumo interno	GWh	30.07	48.71	55.2
3	Otros consumos auxiliares/ventas	GWh	2.32	0	0
4	Producción total de energía	GWh	62.29	139.47	173.5
5	Producción con TGC	GWh	0	0	0
6	Producción con TGE	GWh	62.29	139.1	173.5
7	Producción con bunker	GWh	0	0	0
8	Producción con bagazo	GWh	62.29	139.1	146.2
9	Caña molida	Mt	1.37	1.46	1.74
10	Producción de bagazo	t	N	0	476062
11	Combustible utilizado (bunker)	MGal	0	0	0
17	Rendimiento bagazo (+ comprado)	kWh/t	45.52	95.43	84.15
18	Rendimiento utilización en proceso	kWh/t	21.98	62.28	68.03
19	Rendimiento de ventas	kWh/t	21.86	95.68	99.86
20	Ventas de EE por bagazo TGE	%	100.00	N	N
21	Ventas de EE por bagazo TGC	%	0.00	N	N
22	Ventas de EE por bunker TGC	%	0.00	N	N

Fuente: CENGICAÑA (2015)

## II .1.2. Termoeléctrica

Una central Termoeléctrica es una instalación empleada en energía eléctrica, a partir de la energía liberada por los combustibles fósiles como petróleo, gas natural, carbón, madera y núcleos de uranio. El calor es utilizado por un ciclo Termodinámico convencional que ayuda a mover un alternador y producir energía eléctrica como en el caso de los combustibles fósiles, que liberan dióxido de carbono.

**Figura 5**



Fuente: Informes públicos AMM (2018)

Cuando el calor se obtiene mediante la fisión controlada de núcleos de uranio la central se llama central nuclear, no contribuye al efecto invernadero pero si al de los residuos radioactivos que se guardan por miles de años que pueden llegar a causar accidentes graves.

Según Fundación ENDESA (2020), señala “que las Termoeléctricas utilizan combustibles fósiles para generar energía eléctrica mediante un ciclo Termodinámico de agua- vapor.” Y así se logra que el agua- vapor se ejecute en un circuito cerrado”.

Las Termoeléctricas para cumplir tal función se compone de varios elementos que posibilitan la transformación de los combustibles fósiles en energía eléctrica.

Los principales componentes son:

**Caldera:** es el espacio donde el agua es transformada a vapor debido a la quema de combustible, en este proceso la energía llega a ser térmica.

**Serpentines:** son cañerías donde pasa el agua para transformarse en vapor. En estos se da el intercambio de calor entre los gases de agua y combustión.

**Turbina de vapor:** es una máquina que recolecta el vapor de agua, por medio de un sistema de presiones y temperaturas, así se consigue que se mueva el eje que la atraviesa.

**Generador:** es la encargada de recoger la energía mecánica generada y la transforma en eléctrica por medio de inducción electromagnética.

En otras palabras, estos componentes son indispensables para el proceso de transformación de energía ya que cada uno cumple con una función fundamental para completar el proceso.

Para Medellín (2001) los pasos básicos para la transformación de energía son:

- Se quema el combustible fósil para la producción de vapores.

- Este vapor elevado se usa para mover la turbina, tipo de motor eléctrico al revés.
- La turbina genera la energía eléctrica que se quiere.
- El vapor “gastado” que sale de la turbina después de hacerla girar, tiene que ser condensado, y para esto hay que enfriarlo hasta que se transforme en agua otra vez.
- Para condensar este vapor hay que usar grandes cantidades de agua fría en un condensador. Al condensar el vapor esta agua de enfriamiento se calienta.
- Para hacerse de agua fría para el siguiente ciclo de condensación. (p. 2)

La termoeléctrica tiene como funcionamiento el independiente del combustible utilizado. Sin embargo, sí que existen en el tratamiento diferencias que se hacen del combustible y en el diseño de los quemadores de calderas.

Actualmente en el ingenio Palo Gordo se cuenta con una planta de cogeneración, que sirve para generar 33MW, los cuales son utilizados proporcionalmente un 27%, para consumos propios del ingenio durante la zafra y el restante 73% es entregado a la red eléctrica nacional, para aportar energía a la demanda del país, a un voltaje de 230KV.

Al quedar demostrado que la construcción de una central de estas características es viable también se analizan los beneficios sociales (creación de puestos de trabajo), económicos (creación de un tejido industrial-forestal) y ambientales (limpieza y mantenimiento de bosques). También se analiza el impacto ambiental que se generaría con una instalación de estas características y se proponen medidas para su corrección.

Por otra parte, las Termoeléctricas inciden en el medioambiente principalmente de dos maneras: “emite residuos a la atmosfera y mediante la transferencia térmica” (F. ENDESA, 2020)

La quemade combustibles fósilesprovoca partículas que van desde la atmosfera, esto perjudica el entorno del planeta, por ello estas centrales poseen chimeneas de gran alcance para poder dispersar y reducir localmente la mala influencia en el aire, pueden provocar el calentamiento de ríos y mares, sin embargo, este impacto se ha tratado de

solucionar al utilizar sistemas de refrigeración que enfrían el agua hasta dejarla a una temperatura adecuada para el medio ambiente.

La creación de un proyecto como estos, es una fuente de trabajo para muchas personas, otros benéficos como: Las centrales no dependen del clima, generan mayor energía y menor emisión de contaminantes, La electricidad generada aumenta con el mismo combustible. La construcción de una planta es más barata, es más fácil transportar el combustible orgánico desde el lugar de su extracción hasta la central térmica.

La Termoelectricidad se ha desarrollado desde hace años y se encuentra madura con costos y plazos de construcción, la implementación posee un alto grado de independencia debido al lugar desde donde se desarrolle, lo que ayuda al buen estándar de las instalaciones.

La unidad de potencia sube el precio de instalación, además de una ventaja en base a la seguridad del suministro, esto es remunerado por medio de Potencia Firme, exceptúa la biomasa, la geotermia y la generación de hidroeléctrica de embalse.

Las Termoeléctricas clásicas son aquellas térmicas que emplean la combustión del carbón, petróleo o gas natural para poder generar la energía eléctrica, son consideradas las más económicas, lo que conlleva a la utilización extendida en el mundo hablando económicamente a pesar de que sean criticadas por el elevado impacto ambiental.

El funcionamiento de estas centrales es el mismo independientemente, del consumo del combustible. Así, este se quema en la caldera, al liberar el calor que se usa para calentar agua. Se transforma el agua caliente en vapor con presión elevada, y esto hace girar la turbina lo que conlleva a la transformación de la energía del vapor en energía mecánica. Es generada la producción de electricidad en el alternador, por medio de la inducción electromagnética.

Por un transformador pasa la electricidad donde aumenta la tensión del transporte. Se envía el vapor hacia un condensador para transformarlo en líquido y empezar de nuevo el ciclo de producción de vapor.

En el modelo de sociedad en que se vive resulta inevitable afrontar una transición energética debido a los problemas ambientales derivados del uso de combustibles fósiles. Por este motivo resulta necesario explorar otros medios de producción de energía eléctrica, adaptándonos en cada caso a las oportunidades que nos ofrecen los diferentes territorios. (Informe Termoeléctrica, p. 6)

Para la mayor parte de personas un cambio significa temor, los cambios son innovadores y necesarios se debe correr el riesgo y enfrentarlos.

Adoptar otras maquinarias es complicado, a las Termoeléctricas se les denomina centrales clásicas o de ciclo convencional, las que emplean combustión del carbón, petróleo, o gas natural generan energía eléctrica. Las centrales son consideradas las más económicas, por ello su utilización esta extendida por todo el mundo.

Se destaca que las fuentes de energía son una necesidad del hombre, sin ellas la vida en el planeta no habría podido concebirse. Estas garantizan la subsistencia del hombre y por ello se ha tenido una relación estrecha. La civilización moderna resulta sin suministros de calidad y cantidad de diversas formas.

La finalidad del desarrollo productivo del país y el mejoramiento de las condiciones de la población, mejorar la calidad del servicio eléctrico y así mejorar la oferta. Se promueve el desarrollo integral y ordenado del sector energético. En 1996 se estableció un marco regulatorio para el sector de electricidad, por ello se emitió la Ley General de Electricidad.

El nuevo marco legal del subsector eléctrico, establecido en la Ley General de Electricidad, Decreto número 93-96, contiene disposiciones que obligan a la creación de nuevas estructuras organizacionales, más abiertas y más competitivas, asociadas a

las actividades de generación, transporte y distribución (Del Águila, aproximación al marco Jurídico, p. 3)

En Guatemala se tiene una alta dependencia energética de los recursos no renovables para el desarrollo de su actividad productiva. Esta dependencia, en principio provoca que el país tenga la necesidad de importar grandes cantidades de combustibles fósiles para su uso en el transporte y en la generación de electricidad, en los años 86 Guatemala se vio en la necesidad de crear una Ley que promoviera e incentivara el uso y aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.

Prácticamente todas las centrales eléctricas son de carbón, nucleares, geotérmicas, energía solar térmica o de combustión de biomasa, así como hay algunas centrales de gas natural, son centrales Termo eléctricas. El calor residual de una turbina de gas puede usarse para producir vapor y a su vez producir electricidad, en lo que se conoce como un ciclo combinado, lo cual mejora la eficiencia.

Las centrales Termoeléctricas no nucleares, particularmente las de combustibles fósiles, se conocen también como centrales térmicas o centrales Termoeléctricas convencionales.

Las centrales térmicas convencionales pueden emplear fuentes de energía no renovables, como el carbón, el petróleo y el gas, o fuentes de energía renovables, como la biomasa. Las centrales que utilizan combustibles fósiles generan mucha energía en un espacio reducido, pero pueden agotar los yacimientos y emiten gases muy contaminantes. En cuanto a las que emplean biomasa, si su consumo supera la capacidad de regeneración de la vegetación de la que se nutre, pueden producir deforestación.

Por otro lado, las plantas Termoeléctricas juegan un papel muy importante para la generación de electricidad en nuestro país, ya que este tipo de plantas son las más usadas en México y en el Mundo.

Pero a pesar de traernos beneficios, también suelen traernos consecuencias muy graves. Algunas de las consecuencias son la liberación de gases tóxicos a la atmósfera, estos gases son expulsados de manera directa a la atmósfera pueden causar daños irreversibles en el ambiente como el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono, cambio climático, calentamiento global y la lluvia ácida. Este tipo de plantas utilizan la reacción química de combustión y es lo que hace que estos gases se expulsen de manera inconsciente.

Estos gases son omitidos de forma directa a la atmósfera, llegan a ser dañinos para los seres vivos porque pueden llegar a ser tóxicos, y provocan problemas respiratorios, asfixia o en grados altos la muerte instantánea.

Esto es un gran gasto que se debe de hacer para la compra del combustible, porque al día se consumen toneladas o kilos de combustible para así generar electricidad, se considera un gasto innecesario por las fuentes que permiten reutilizar el medio por el cual se produce la electricidad.

El término geotérmico viene del griego *geo* Tierra, y *thermos* calor; literalmente «calor de la Tierra». El interior de la Tierra está caliente y la temperatura aumenta con la profundidad. Las capas profundas están a temperaturas elevadas y, a menudo, a esa profundidad hay capas freáticas en las que se calienta el agua: al ascender, el agua caliente o el vapor producen manifestaciones en la superficie, como los géiseres o las fuentes termales, utilizadas para baños desde la antigüedad.

### **II .1.3. Combustión**

La mayor parte de las actividades de nuestra sociedad se basan en el uso de la energía en sus distintas expresiones, desde el uso de un vector energético como es la electricidad para la iluminación, motores eléctricos y equipos electrónicos, hasta el uso de fuentes de energía como son los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos en la cobertura de nuestras demandas térmicas.

La combustión es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor, que se producen entre dos elementos: el COMBUSTIBLE, que puede ser un sólido (Carbón, Madera, etc.), un líquido (Gasóleo, Fuel-Oil, etc.) o un gas (Natural, Propano, etc.) y el COMBURENTE, Oxígeno. (García, 2001, p. 3)

La combustión se distingue de otros procesos de oxidación lenta, por ser un proceso de oxidación muy rápida y con presencia de llama; a su vez también se diferencia de otros procesos de oxidación muy rápida por obtenerse el mantenimiento de una llama estable. Dicha llama es una masa gaseosa incandescente que emite luz y calor.

#### II .1.2.1. Triángulo de la combustión

Para que se produzca la combustión, deben encontrarse en el espacio y en el tiempo tres elementos:

- Combustible
  
- Comburente
  
- Fuente de ignición

El combustible y el comburente se deben encontrar en unas proporciones adecuadas. El comburente hace que el combustible se oxide, al liberar energía química que puede aprovecharse como energía mecánica.

Según Domínguez (2012, p. 15), “es precisa una fuente de energía que produzca el inicio de la combustión, lo que se denomina fuente de ignición, y que después mantenga esta combustión”. Cabe destacar que la reacción entre el combustible y el comburente se manifiesta a través de las llamas.

Estos tres elementos forman el conjunto, por eso se les denomina triángulo de combustión.

**Tabla 1**

Combustible	Unidad	HI	Hs
Gas natural	(kWh/kg)	13,05	14,43
Propano comercial	(kWh/kg)	12,82	13,92
Butano comercial	(kWh/kg)	12,69	13,74
Gasóleo C	(kWh/kg)	11,56	12,23

Fuente: Guías básicas de calderas industriales (2012)

#### II .1.2.1. Tipos de combustión

De acuerdo al nivel de combustión alcanzado y la cantidad de comburente, se pueden dar los siguientes tipos:

Combustión completa: es la reacción en la que el combustible se quema hasta lo máximo, por ello no habrán sustancias en los humos.

Combustión incompleta: es la reacción en la que el combustible no se oxida completamente, las sustancias se llaman inquemados, son las responsables de los gases de combustión.

Combustión teórica o estequiométrica: es la realizada concantidad teórica de oxígenosolamentenecesaria para producir la oxidación del combustible sin que se produzcan inquemados.

Combustión con exceso de aire: es el proceso que se lleva a cabo con una cantidad de aire superior a la estequiométrica, permite evitar la combustión incompleta y la

formación de inquemados, trae la pérdida de calor en los productos y se reduce la temperatura, la eficiencia y la longitud de llama.

Combustión con defecto de aire: el aire es menor al necesario para que se produzca la oxidación de combustible, se producen inquemados. (Domínguez, 2012, p. 15).

El término de caldera hace referencia al generador de calor, es un equipo capaz de generar vapor, transmitiéndolo como fluido que mayormente es agua.

Según el departamento de Instalación y Mantenimiento CIFP (2014) define caldera como: “un elemento en el que el calor que se produce al quemar un combustible, se transmite posteriormente al agua que circula por su interior y que luego, una vez caliente, pasa hacia el circuito de radiadores, de suelo radiante, etc.” (p, 7)

Sin embargo, su proceso no finaliza ahí, porque el calor se transfiere al agua no solo por el contacto directo entre la llama y el cuerpo de la caldera que contiene el agua, es decir por conducción, sino que se produce también un intercambio por radiación desde la llama a las paredes del hogar y otro por convección, ya que los humos producidos en la combustión y que poseen altas temperaturas calientan las partes metálicas bañadas por el agua. (Dpto. de Instalación CIFP, 2014, p. 7)

La caldera forma la parte central de la Termoeléctrica, es donde se produce el mayor trabajo por la descomposición y transformación que realiza.

Las calderas se clasifican en función del paso del fluido calo-portador a través de los tubos de intercambio.

#### II .1.4.1. Calderas acuotubulares

Son las calderas en las que los fluidos de trabajo se desplazan por el interior de tubos durante su calentamiento y gases de combustión.

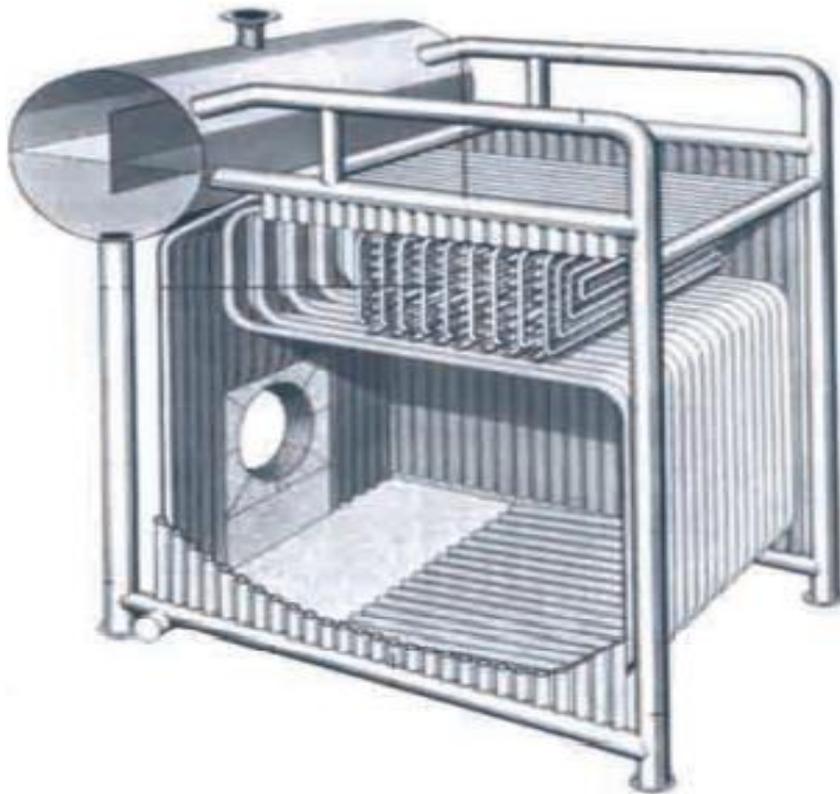
Por su diseño constructivo, lógicamente tienen un bajo volumen de agua y, por lo tanto, pueden ser clasificadas como clase primera gran número de ellas.

En el caso de calderas de vapor, el título de vapor es muy bajo, es decir, que el contenido de agua por unidad de masa es muy alto si no se les añaden subconjuntos secadores del vapor, tales como recalentadores o sobre calentadores.

Los generadores instantáneos también forman parte de la familia de calderas acuotubulares.

**Figura 6**

caldera acuotubular



Fuente: Guía Básica Calderas Industriales Eficientes(2015)

#### II .1.4.1 Calderas pirotubulares.

Son aquellas donde los gases de la combustión circulan en los tubos y el líquido se encuentra en un recipiente atravesado por esos tubos.

Tienen un gran volumen de agua, el volumen del agua les permite adaptarse a las variaciones de la instalación de las calderas acuotubulares.

**Figura 7**

Detalle de caldera pirotubular horizontal



Fuente: Guía Básica Calderas Industriales Eficientes (2015)

Los parámetros principales que se tienen en cuenta son la selección de caldera:

- Potencia útil (para las calderas de agua caliente, agua sobrecalentada y fluido térmico) según el requerimiento térmico de la instalación a la cual van a alimentar.
- Producción de vapor (para las calderas de vapor) según el consumo de vapor necesario en el proceso.
- Presión de trabajo en continuo (para todos los tipos) de acuerdo con la presión necesaria en el consumidor más alejado del centrodeproducción.
- Temperatura de trabajo continuo, según el requerimiento constante de la instalación.

### **II .1.5. Agua de alimentación**

Son las aguas de cualquier procedencia que se utilizan con ventaja y seguridad para alimentar calderas.

El agua de alimentación de la caldera se utiliza para producir vapor. La presión del vapor (0.5 - 100 bar) determina la temperatura y la capacidad energética, pero también la calidad del agua de alimentación. La regla general expone que cuanto más alta sea la presión, más estricta deberá ser la calidad del agua de alimentación de la caldera.

Algunos problemas causados por las impurezas en el agua de alimentación son: Formación de costras, Corrosión, Priming, Adherencia del vapor al cilindro.

Algunos parámetros importantes del agua de alimentación son: pH, Dureza, Concentración de oxígeno y del dióxido de carbono, Silicatos, Sólidos disueltos, Sólidos suspendidos, Concentración de materia orgánica.

Las instalaciones que producen el agua de alimentación de la caldera usan un surtido de tratamientos de agua tales como:

Ósmosis inversa, que es el proceso de la osmosis inversa el agua es forzada a cruzar una membrana, y deja las impurezas detrás. La permeabilidad de la membrana puede ser tan pequeña, que prácticamente todas las impurezas, moléculas de la sal, bacterias y los virus son separados del agua.

Intercambioiónico que se refiere a Los intercambiadores iónicos son usados para la separación de sales (cationes y aniones) del agua. Dosificación química Para el tratamiento químico del agua una gran variedad de productos químicos está disponibles.

El agua procede de los ríos, lagos, pozos y agua de lluvia, los efectos de alimentación y fines industriales tienen primordial importancia los ríos y pozos. (Abarca, 2017, p. 3)

Por la misma índole de su procedencia no se puede evitar que ella arrastre y disuelva impurezas que la hacen inapta para el consumo humano y también industrial.

Según Abarca (2017) las condiciones que debe cumplir son:

- Clara, con turbidez inferior a 10 ppm.
- Debe de estar exenta de dureza.
- No debe de exceder de 35 ppm.
- Exenta de aceites.
- No debe de contener oxígeno.
- Bajo contenido de sílice.

Estas condiciones se plantean con el fin del que el proceso se lleve con eficacia y no haya alteraciones o daños en la maquinaria. No obstante, cuando existen impurezas

en el agua esta es sometida previa a una serie de tratamientos para que pueda ser utilizada

#### II.1.5.1. Clasificación de las impurezas

Las impurezas que suele traer consigo el agua sin tratamiento proveniente de las fuentes descritas se pueden clasificar en la siguiente forma según Abarca (2017):

- Sólidos en suspensión:
- Barro (arcilla).
- Materias orgánicas (madera y bacterias).
- Arena (sílice).
- Sales disueltas:
- Sales de calcio y magnesio.
- Cloruros de sulfatos alcalinos.
- Gases disueltos:
- Aire (oxígeno-nitrógeno).
- Anhídrido carbónico.

#### II .1.5.1. Efecto de las impurezas

Las consecuencias que pueden ocasionar tales impurezas van desde la disminución de vida de los equipos que lleva el vapor, a daños físicos en la maquinaria. Es por ello que es importante mencionar los efectos más significativos.

- Obstrucción en las redes de distribución de los circuitos de refrigeración, por la proliferación de algas y bacterias.
- Incrustaciones que generan obstrucción en las redes de distribución, en los circuitos de calentamiento, de refrigeración y de manera particular en los intercambiadores de

temperatura, así como una reducción de la cantidad de calor transmitido en las superficies de calderas.

- Averías en tubos y planchas por la disminución de la cantidad de calor transmitido.

- Corrosión y fragilidad en el acero.

- Ataque de picado por presencia de oxígeno disuelto.

- Arrastre de aguas y minerales por el vapor.

- Costos elevados de limpieza, reparaciones e inspecciones, entrenamiento y equipos de reserva.

- Pérdidas caloríficas por purgas frecuentes.

- Mal rendimiento de los equipos que usan vapor contaminado.

Lo ideal es eliminar estas impurezas antes que el agua ingrese a la caldera, ya sea a través de una filtración o decantación. Es por ello que recibe un tratamiento químico a base de sulfatos, cloruros y sedimentador de lodos, para que las condiciones de esta sean aceptables para el uso en la caldera.

Los fines principales perseguido con el tratamiento del agua de alimentación son:

Quitar las materias solubles, y eliminar los gases. Así se evita la formación de incrustaciones sobre la superficie de calentamiento de agua, y protección de corrosión los metales de las calderas, recuperadores y tuberías (Valle, 2003, p. 13)

Generalmente las industrias controlan la cantidad del agua de sus calderas por análisis de muestras que realizan en sus propios laboratorios y/o a través de la asesoría

externade alguna firma especializada. Sin embargo, algunas empresas, además de estos métodos, poseen un equipo portátil que maneja el propio operador de la caldera para controlar diariamente tanto la dureza (salinidad) como el pH (alcalinidad y acidez) del agua.

Los envases en que se toman las muestras de agua deben estar totalmente limpios y enjuagarse con la misma agua que se analizará. La muestra de agua debe tomarse del interior de la caldera (del tubo de nivel o del fondo), se tiene la precaución de purgar bien, hasta que salga el agua que represente realmente la que contiene la caldera. Con el fin de evitar la corrosión de las partes metálicas de la caldera debido a la presencia de oxígeno y anhídrido carbónico en el agua, se recurre a la medición del grado de alcalinidad o acidez.

El rendimiento de la caldera es la relación que existe entre el calor total entregado por el combustible al quemarse y el calor contenido en el vapor.

Las incrustaciones producen una capa aislante que se adhiere a las superficies de calefacción de la caldera y que dificultan la transmisión del calor entregado por el combustible. Por esta razón los gases no transmiten todo su calor al agua, perdiéndose combustible y disminuye el rendimiento. Por otra parte, cuando a causa del trabajo propio de la caldera, la incrustación se rompe parcial o totalmente, pone en contacto repentino el agua a presión con la plancha recalentada, ya debilitada se produce un aumento de presión interna tal, que provoca la explosión

## **II .1.6. Turbogenerador**

El turbogenerador es un aparato utilizado para la transformación de la energía térmica de un fluido, en energía eléctrica de corriente alterna. Está compuesto por una turbina de vapor acoplada a un generador eléctrico y equipos secundarios.

Estos equipos secundarios o auxiliares son: cojinetes radiales para sostener el eje, cojinetes de empuje o axiales para mantener la posición axial del eje, un sistema de lubricación de los mismos, un sistema de obturación que impide que el vapor salga de la turbina y que el aire entre en ella. También, se debe de contar con diversas válvulas para el control de velocidad de rotación, la admisión y la extracción de vapor, de la turbina.

El turbogenerador cuenta con “dispositivos de regulación, un sistema de abastecimiento de aceite junto con sus componentes, un sistema de condensado, dispositivos de vigilancia, dispositivos de protección y una serie de accesorios” (Martínez, 2010, p. 25) estos en conjunto hacen posible el funcionamiento óptimo del turbogenerador.

El buen funcionamiento de un turbogenerador se debe a los diferentes dispositivos tanto de seguridad como de vigilancia que permiten detectar inmediatamente anomalías en el momento de la operación.

A diferencia de las turbinas hidráulicas que generalmente operan a velocidades más bajas (100 a 600 rpm), la eficiencia de una turbina de vapor es más alta a velocidades más altas y por lo tanto un generador turbo se utiliza para turbinas de vapor. El rotor de un generador turbo es un polo no saliente tipo por lo general con dos polos.

La velocidad normal de un generador turbo es 1.500 o 3.000 rpm con cuatro o dos polos en 50 Hz (1.800 o 3.600 rpm con cuatro o dos polos a 60 Hz). Rotores sobresalientes serán muy ruidoso y con una gran cantidad de pérdida de resistencia al viento.

Las piezas giratorias de un generador turbo son sometidos a altas tensiones mecánicas debido a la alta velocidad de operación. Para hacer que el rotor mecánicamente resistente en grandes turbo-alternadores, el rotor es normalmente forjada a partir de sólido de acero y aleaciones como el cromo-níquel-acero o cromo-níquel-molibdeno se utilizan.

El voladizo de devanados en la periferia será asegurado por anillos de retención de acero. Cuñas de metal no magnético pesados encima de las ranuras tienen los devanados de campo contra las fuerzas centrífugas. Composición aislante materiales duros, como mica y asbestos, se utilizan normalmente en las ranuras del rotor. Estos materiales pueden soportar altas temperaturas y altas fuerzas de aplastamiento.

El estator de grandes turbogeneradores se puede construir de dos o más partes más pequeñas, mientras que en los turbogeneradores que está construido en una sola pieza completa.

Turbo eléctrico Compounding (ETC) es una solución de tecnología para el reto de mejorar la eficiencia energética para la industria de generación de energía estacionaria.

La generación de energía a base de combustibles fósiles se prevé que continúe durante décadas, especialmente en las economías en desarrollo. Esto está en contra de la necesidad mundial polémica reivindicado por reducir las emisiones de carbono, de los cuales, un alto porcentaje es producido por el sector de la energía en todo el mundo.

ETC funciona al hacer gas y grupos electrógenos diesel (generadores eléctricos) funcionan más eficazmente y más limpia, mediante la recuperación de energía residual de los gases de escape para mejorar la densidad de potencia y la eficiencia del combustible.

Ventajas del uso de ETC

- Ayuda a las economías en desarrollo con infraestructura de energía poco fiable o insuficiente.
- Ofrece a los proveedores independientes de energía (PIE), empresas de alquiler de energía y generador de los OEM (fabricantes de equipos originales) una ventaja competitiva y el potencial aumento de la cuota de mercado.

- Mejora la eficiencia global del grupo electrógeno, incluye los costos de entrada de combustible y ayudar a los usuarios finales reducen cantidad de combustible quemado.
- Típicamente 4-7% menor consumo de combustible para los dos grupos electrógenos diesel y de gas.
- Menor emisión de carbono.
- Densidad en aumento
- Genera una buena capacidad para aumentar la potencia, mejora la eficiencia del combustible.
- Ofrece un cambio radical en los requisitos de servicio o mantenimiento.
- La energía recupera el calor residual menor a quemar el combustible, con menores precios bajos de diésel. (Martínez, 2010, p. 25).

La selección del turbogenerador conlleva un proceso exhaustivo de comparación y toma de decisiones a lo largo de sus etapas.

Cabe destacar que las normas API 611 y 612 son regulaciones que se establecieron para turbinas con un aplicaciones petroleras, estas normas lo que establecen son responsabilidades por parte del dueño como del fabricante, al consultar por acreditación de las normas API en sus equipos se determinó que solo una empresa provee turbinas con estas normas, sin embargo, al consultar las ventajas de las normas en los equipos, esta empresa aclaró que los equipos certificados por lo general solo los compran para aplicaciones petroleras y en el caso de ingenios no se toma en cuenta, debido al incremento del precio en lo equipos. (Informe de práctica de especialidad de ingeniería y mantenimiento industria (Martínez, 2010, p. 25).

Los turbogeneradores modernos de alta capacidad deben enfriarse de manera eficiente. El hidrógeno, con una conductividad térmica de alrededor de siete veces la del aire, se usa en general como refrigerante.

Cualquier caída en la pureza del hidrógeno durante el funcionamiento de la máquina tiene dos efectos adversos:

- Lo primero, y lo más importante, es comprometer la operación segura del generador. La medición precisa de la pureza del hidrógeno es esencial para proporcionar una alerta temprana de una mezcla potencialmente explosiva de hidrógeno y aire.

- El segundo es el impacto económico de la eficiencia reducida. Para aumentar el rendimiento de la planta y controlar el costo de generación por megavatio, los generadores de turbina deben funcionar con una eficiencia óptima. Una caída en la pureza del hidrógeno provoca pérdidas de venteo adicionales y, en consecuencia, reduce la eficiencia del generador.

La alternativa que más se adapta a las necesidades y exigencias de la empresa; es la de instalar un equipo acorde a la generación de vapor y el turbogenerador actual como respaldo ante cualquier eventualidad. Una vez seleccionada dicha opción se realizó el proceso de cotización de los equipos con los fabricantes, de las propuestas recibidas se realizó un cuadro comparativo en el cual se muestran las especificaciones de cada equipo (Informe de ingeniero en mantenimiento industrial, p. 103)

Un turbo generador, es la combinación de una turbina directamente conectado a un generador eléctrico para la generación de energía eléctrica. Grandes a vapor turbo generadores proporcionan la mayor parte de la electricidad del mundo y también son utilizados por a vapor turboeléctrico barcos.

Más pequeños turbogeneradores con turbinas de gas se utilizan a menudo como unidades de potencia auxiliar, son preferidos porque ofrecen una mejor eficiencia de combustible, en cambio los diésel poseen más espacio.

La eficiencia de las plantas de turbinas de gas más grandes se puede mejorar mediante el uso de un ciclo combinado , donde los calientes gases de escape se utilizan para generar vapor que impulsa otro generador turbo.

Las turbinas de agua fueron los primeros turbogeneradores que impulsaron a los generadores eléctricos. El ingeniero Irlandés Charles Algernon Parsons comprobó que un turbogenerador de vapor sirve como fuente de energía para la iluminación de entrenador y sistemas de calefacción (Martínez, 2010, p. 26).

A diferencia de las turbinas hidráulicas que generalmente operan a velocidades más bajas (100 a 600 rpm), la eficiencia de una turbina de vapor es más alta a velocidades más altas y por lo tanto un generador turbo se utiliza para turbinas de vapor. El rotor de un generador turbo es un polo no saliente tipo por lo general con dos polos.

La velocidad normal de un generador turbo es 1.500 o 3.000 rpm con cuatro o dos polos en 50 Hz (1.800 o 3.600 rpm con cuatro o dos polos a 60 Hz).

Rotores sobresalientes serán muy ruidoso y con una gran cantidad de pérdida de resistencia al viento. Las piezas giratorias de un generador turbo son sometidos a altas tensiones mecánicas debido a la alta velocidad de operación. Para hacer que el rotor mecánicamente resistente en grandes turbo-alternadores, el rotor es normalmente forjada a partir de sólido de acero y aleaciones como el cromo, níquel, acero o cromo, níquel, molibdeno se utilizan.

El voladizo de devanados en la periferia será asegurado por anillos de retención de acero. Cuñas de metal no magnético pesados encima de las ranuras tienen los devanados de campo contra las fuerzas centrífugas. Composición aislante materiales duros, como mica y asbestos , se utilizan normalmente en las ranuras del rotor. Estos materiales pueden soportar altas temperaturas y altas fuerzas de aplastamiento.

El estator de grandes turbogeneradores se puede construir de dos o más partes más pequeñas, mientras que en los turbogeneradores que está construido en una sola pieza

completa. Un turbogenerador es una máquina de grandes dimensiones compuesta por varios elementos, debido a eso hay que realizar una cimentación adecuada que tolere tanto el peso como las fuerzas de la operación, además debe de contar con el espacio suficiente para todos los elementos auxiliares.

En el proceso del montaje de equipo hay que asegurarse de que este sea adecuado en términos de espacio, accesibilidad y además de que, el terreno reúna las condiciones necesarias para soportar el peso de la máquina y sus respectivas vibraciones en operación, de no ser así es necesario reforzar el suelo para que llene los requisitos mínimos para el montaje.

El lugar seleccionado para la cimentación se localiza en uno de los extremos de la casa de máquinas, en la antigua área de carga y descarga de la misma, debido a que en dicho sitio se encuentran relativamente cerca y con fácil acceso las líneas de vapor de admisión que proceden de las calderas y la línea de vapor de escape que se dirige hacia la fábrica y refinería.

Además de proporcionar las condiciones para su fácil modificación y reacondicionamiento, tanto en el techo como al nivel del piso 54. Otra de las razones es que allí se encuentra espacio suficiente para que el equipo sea montado con seguridad por medio de una grúa automóvil hidráulica con la capacidad adecuada para soportar el peso de los equipos. Para garantizar así la integridad física de los seres humanos a su alrededor y así poder evitar los daños en los mismos equipos (Martínez, 2010, p. 27).

#### II .1.6.1. Turbina

Es una maquina motriz de flujo constante, que da origen a un trabajo mecánico por medio de un sistema de paletas curvas a las cuales se les denomina alabes. En otras palabras, es un motor que transforma en energía mecánica, aquella energía procedida de una corriente de gas, agua o vapor de agua.

Según Xiloj (2015, p.34), la turbina es una máquina que logra convertir la energía térmica almacenada en el vapor en trabajo mecánico, se convierte en energía cinética o de velocidad para expandir el vapor desde una presión alta o baja. El chorro de vapor y su conversión ocurren en una combinación de pasadizos o conductos estacionarios, toberas o álabes impulsores o los elementos giratorios llamados álabes o paletas móviles.

El trabajo mecánico en la turbina se produce al dirigir los chorros de vapor contra los álabes curvados móviles que constituyen la corona montada en un rodete de rotor, a esto también contribuye la reacción dinámica del chorro al salir de los álabes giratorios (Xiloj, 2015, p. 34). El turbogenerador siendo el corazón o la parte central de la Termoeléctrica no solo se compone de las turbinas que como se hacía mención cumplen con un rol bastante importante sin embargo también depende de otros mecanismos como lo son:

**Las toberas:** son el órgano básico que convierte la energía de presión en vapor de energía cinética, se encuentra instalada en la cámara de vapor, el vapor pasa a una tobera en donde se expande, así se obtiene un chorro de vapor de gran velocidad.

**Rotor:** es un eje de acero y discos giratorios con álabes montados sobre su circunferencia exterior, ensamblados en el eje con ajustes y cuñas de contracción pesada.

**Carcaza:** su principal función es soportar el conjunto y contener el vapor dentro de la turbina, pasando por las toberas, por último se guía el vapor hacia el condensador.

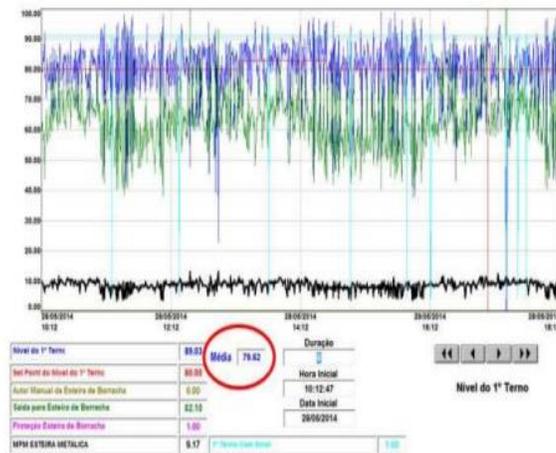
**Sellos de vapor:** los sellos de vapor son utilizados para eliminar fugas de vapor en el lado de alta presión y entre etapas de la turbina, también para evitar que el aire se introduzca en la sección de baja presión de la turbina; los sellos generalmente son de tipo mecánico.

Sellos de aceite: son utilizados para evitar o minimizar las fugas de aceite entre el eje de la turbina y chumaceras, cada sello es un anillo partido, atornillado a la caja de chumaceras, estas se ajustan en la turbina con tolerancia mínima.

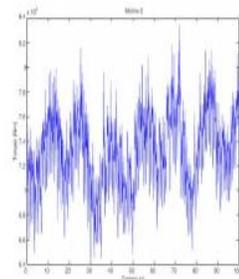
Chumaceras o cojinetes: una chumacera es un elementodemaquinadiseñadopara soportar cargas a un eje que tiene movimiento relativo y deslizante, el cual consiste de un casco de acero hecho en mitades, partido en el plano horizontal y revestido con un material para embotellarlo o protegerlo, a base de estaño.

**Figura 8**

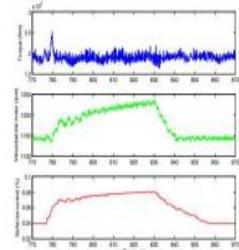
Control y protección de turbinas



Sensores Capacitivos



Molino Sin Control



Molino Com Control

CONTROL DE NÍVEL DEL CHUTE DONELLY (TOLVA)

- Maximizar la extracción y tener confiabilidad de operación minimizando las pérdidas de sacarosa en bagazo
- Medición de Nivel con Sensores Capacitivos
- Set-Point Remoto para control de velocidad de turbina / motor
- Sistema de control con PLC
- Reguladores de velocidad: Turbina - actuadores hidráulicos / Motores - inversores de frecuencia



Fuente: Veloni (2019)

## **II .1.7. Calentador**

Es el elemento principal en un sistema de fluido térmico. Según Mendoza 2009, “está compuesto por un cuerpo de intercambio de calor, un quemador o fuente de calor, un sistema de control y un sistema de seguridad” (p. 7).

### **II .1.7.1. Tipos**

Entre los principales calentadores se encuentran:

Eléctricos: La fuente de calor son resistencias eléctricas distribuidas dentro del cuerpo del calentador.

El cuerpo o cámara de presión de estos calentadores está formada por un cilindro de acero con sus respectivas tapaderas.

Algunas de las características de estos calentadores son:

- Pequeñas capacidades: 75,000 Btu/h a 1, 720,000 Btu/h
- Aplicaciones donde no puede haber combustión, como por ejemplo ambientes explosivos, minas, laboratorios, etc.

Con serpentín: Es el diseño de calentador más utilizado. La fuente de calor es estos calentadores son los hidrocarburos, pueden ser GLP, gas natural, búnquer y diésel.

En estos calentadores, el aceite circula adentro de un serpentín helicoidal colocado dentro del cuerpo del calentador. La llama fluye por el centro de este serpentín para chocar en el refractario ubicado en el fondo del calentador, para luego subir y hacer los 4 pasos de flujo de gases.

Los calentadores de serpentín son los calentadores más eficientes del mercado en la categoría de los que funcionan con hidrocarburos. Las capacidades de estos equipos alcanzan los 20, 000,000 Btu/h.

Tipo vertical anular: La fuente de calor en estos calentadores son los hidrocarburos, pueden ser GLP, gas natural o diésel.

El cuerpo o cámara de presión de estos calentadores está formada por dos cilindros de acero concéntricos de diferentes diámetros con sus respectivas tapaderas.

### **II .1.8. Carbón mineral**

El carbón es una masa estratificada compacta, que se origina por la descomposición de vegetales terrestres, hojas, maderas, cortezas y esporas que se acumulan. En la actualidad ha sido llevada a varios pasos de perfección y ha sido combinado en sus propiedades químicas y físicas.

La revista del Instituto de Investigación FIGMMG (2006. p. 92) describe este proceso de la siguiente manera:

Los restos de los vegetales sufrirán un proceso de degradación al aumentar la presión y temperatura. Estos cambios incluyen complejas alteraciones en los compuestos que forman la estructura de las plantas para producir el carbón, con desprendimiento de bióxido de carbono y metano. Los cambios físicos incluyen obscurecimiento en el color, incremento en la dureza, solidez en la consistencia mineral y cambio en la fractura.

Al retomar la idea principal se puede decir que el carbón es una roca sedimentaria combustible, sólida, no cristalina, opaca, con coloración de café o negro.

Para fines de clasificación de carbón mineral, generalmente se emplean los parámetros establecidos por la Sociedad Americana para Pruebas de Materiales (A.S.P.M.), los cuales se basan en la relación entre carbón fijo (CF) y material volátil (MV), así como en el factor de expansión o aglomerado (FSI).

En base seca para los carbones de alto rango se utiliza el CF, MV y libre de cenizas (C), así como el poder calorífico base húmeda y libre de cenizas para los de rango bajo (Consejo de Recursos Minerales, p. 23).

Sedescriben a continuación las características de cada uno de los rangos del carbón mineral:

**ANTRACITA:** Contiene un alto contenido de carbono, poca humedad, es mucho más sólido que el resto de los carbones, por eso el nombre de carbón duro. Se enciende lentamente, pero arde a una temperatura alta con flama corta de color azul, no produce humo, así puede ser usado como combustible para uso doméstico. Posee un gran poder calorífico de aproximadamente 8,000 a 9,000 Kcal/Kg. Es homogénea y negra. La antracita es el más puro y escaso de los carbonos.

En ciertos países al lignito lo nombran como carbón café. Se encuentran impregnados de agua, se evaporan al aire libre y al sol, depende de la evaporación del grado de porosidad y la temperatura ambiental.

**CARBÓN BITUMINOSO:** También llamado carbón suave, es negro oscuro, quebradizo con apariencia aceitosa y poco estable, contiene un elevado porcentaje de aceites y alquitranes.

Contiene un poder calorífico elevado, de 5,000 a 8,500 Cal/Kg, arde con una flama amarilla y brillante, contiene bajo contenido en materiales volátiles pero elevados en carbono.

La característica principal es la propiedad de convertirse al ser calentado en ausencia de aire, si el carbón se funde, solidifica y forma una masa sólida, y así se puede clasificar como carbón coquizable, y si es inestable se clasifica como no coquizable. Es la hulla más útil y usada en el mundo, produce vapor en las calderas, genera electricidad y obtención de gas. Se usa en gran manera en la industria siderúrgica para reducir el oxígeno contenido en el hierro y dar origen al hierro de primera fusión al ser afinado, pasa a ser acero. Deriva de su destilación un amplio número de productos que se usan en la industria química y fertilizante.

**CARBÓN SUB-BITUMINOSO:** es de color negro obscuro, con estructura y textura no leñosa, apariencia aceitosa y se desmorona con poca presión, tiene contenido pobre en madera, fragmentación es de dirección paralela a su estratificación y en alto poder calorífico, es un combustible y se emplea en la generación de gas y vapor.

**LIGNITO:** Corresponde a la primera etapa de metamorfosis, se trata del carbón más joven, es imperfecta su formación, muestra una estructura similar a la de madera, el color varía de café a negro obscuro brillante.

#### II .1.2.1 Logística para la generación de energía eléctrica con carbón

Se basará los siguientes elementos al modelo que manejó a través del proyecto denominado Cogeneración-Generación del Ingenio Palo Gordo ubicado en el Km. 142.5 CA-2 San Antonio Suchitepéquez, Mazatenango Guatemala Centro América.

- Bodega de carbón: El proyecto inicio en el año 2,014 con el montaje de una bodega cerrada y techada para almacenar 15,000 toneladas métricas de carbón mineral con un área de 3,000 mts<sup>2</sup>.

## Figura 9

### Bodega de Carbón Ingenio Palo Gordo



Fuente: Cogeneración-generación ampliaciones (2014)

- Conductores de carbón: Se cuenta con 5 conductores de banda para transportar 150 toneladas/hr de carbón de la Bodega hacia las Tolvas de Carbón. Aprox. 350 mts. de recorrido.
- Trituradora de Carbón: Se cuenta con una trituradora de carbón para alcanzar la granulometría especificada por el fabricante de la caldera.

**Figura 10**

Trituradora de Carbon Ingenio Palo Gordo



Fuente: cogeneración-generación ampliaciones (2014)

- **Básculas de Carbón:** El sistema de alimentación de carbón, consiste en dos básculas de Bach, para pesar el carbón que se alimenta a la caldera.
- **Alimentadores de Carbón** Después de haberse pesado el carbón en las básculas, continua su recorrido por ocho chutes alimentadores, hacia ocho alimentadores dosificadores y ocho impulsores, que son los que introducen el carbón hacia el centro de la parrilla viajera adentro del horno de la caldera.
- **Ventilador del Sistema de Carbón:** El sistema cuenta con un ventilador de 40 hp, para inyectar aire de atomización para garantizar que el carbón sea esparcido adecuadamente dentro del horno de la caldera.
- **Torre de Enfriamiento** En el año 2,015, se realiza el montaje de una torre de enfriamiento tipo evaporativa en contra-flujo marca Marley, de dos celdas con

capacidad de enfriamiento de 35,000 galones por minuto, con un diferencial de temperatura de 9°C. y un bacín de concreto con capacidad de almacenar 180,000 galones de agua.

El uso del carbón mineral es uno de los más importantes en especial para dichas industrias que lo utilizan para la generación de electricidad es decir como combustible en las centrales térmicas o como se le conoce comúnmente Termoeléctricas.

### **Figura 11**

Conductores de carbón Ingenio Palo Gordo



Fuente: Cogeneración-generacion ampliaciones (2014)



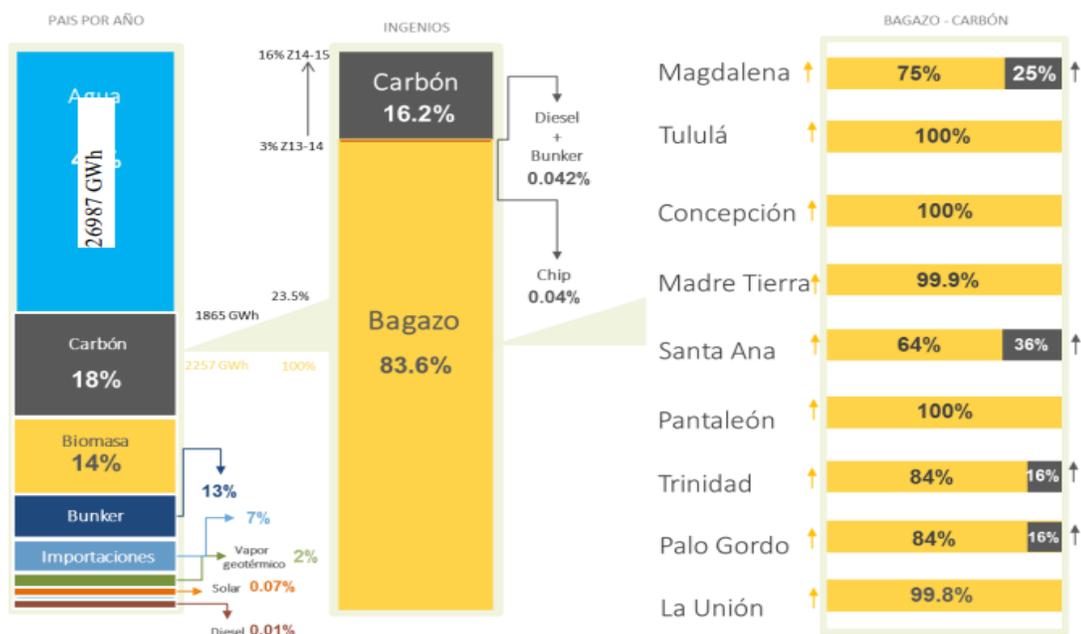
Fuente: Cogeneración-generacion ampliaciones (2014)

En relación al uso de carbón como alternativa para disminuir las pérdidas de bagazo, muchos ingenios ya lo han implementado en los diversos procesos productivos.

Según la siguiente grafica toda la generación eléctrica de los ingenios en las últimas zafras, la generación con bagazo fue del 83.6% y con carbón de un 16.2%. Los demás combustibles no representaron un consumo importante. El 100% de la generación con biomasa de Guatemala fue producida por los ingenios. Mientras que la producción con carbón representa ya el 23.5% de la generación anual total con carbón en el país.

**Figura 12**

Generación total de energía eléctrica (% por tipo de combustible)



Fuente: CENGICAÑA (2015)

## II .1.9. Energía eléctrica

La energía eléctrica es causada por el movimiento de las cargas eléctricas en el interior de materiales conductores. La energía eléctrica es una forma de energía de transición extremadamente difundida actualmente y cómoda debido a sus posibilidades de conversión y de transporte. Proviene, en general, de la conversión, en centrales, de energía mecánica por medio de generadores.

La generación de electricidad, en términos generales consiste en transformar alguna clase de energía, no eléctrica, sea esta química, mecánica, térmica, luminosa entre otras, en energía eléctrica.

Para su generación la electricidad se produce en centrales capaces de obtener energía eléctrica a partir de energías primarias. Estas energías primarias pueden ser renovables (el carbón, el gas natural, el petróleo...). Las empresas que son propietarias de las diferentes centrales venden la energía generada a las compañías comercializadoras.

Para José Gómez Quiñones la generación de energía eléctrica se divide en tres etapas:

- La primera etapa es la quema de combustible fósil (carbón, óleo, gas) y transformarlo en agua de vapor desde la caldera.
- La segunda etapa consiste en la utilización de este vapor, a alta presión, girar la turbina y accionar el generador eléctrico.
- En la tercera etapa el vapor, es condensado, transferido el residuo de su energía térmica a un circuito independiente de refrigeración, retorna el agua a la caldera para completar el ciclo. (p. 6)

Seguidamente sigue la transmisión, una vez tratada la energía y convertida en electricidad, se envía por vías elevadas (torres de sustentación) o subterráneas desde las centrales hasta las subestaciones. “Allí los transformadores se encargan de garantizar una tensión eléctrica adecuada. Las subestaciones suelen estar al aire libre cerca de las centrales” (Endesa, 2020).

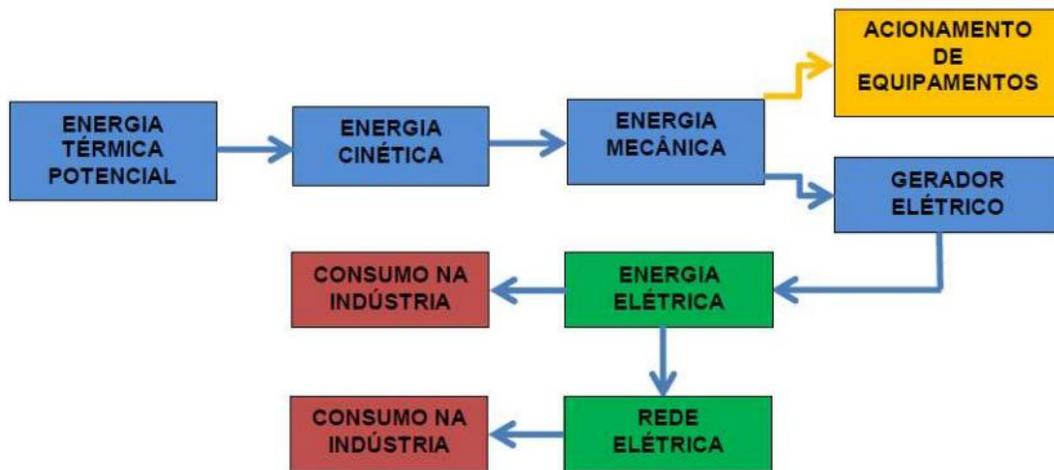
Desde las subestaciones la electricidad se envía a los hogares de la zona más próxima, a esto se le conoce como la distribución. El último paso será la comercialización.

La electricidad se produce para satisfacer el consumo de la demanda de una red eléctrica.

La misma es producida en centros llamados centrales eléctricas. Estas se encargan de transformar una fuente primaria de energía en energía eléctrica de características bien definidas. En concreto se genera un sistema trifásico sinusoidal de tensiones, con frecuencia de 60 Hz, y amplitud de onda estrictamente estandarizada y controlada. (Cerón, 2005, p. 3)

**Figura 13**

Organigrama de transformación de energía eléctrica



Fuente: Veloni (2019)

Existen diversas tecnologías de generación, normalmente asociadas al tipo de combustible que utilizan.

Al contextualizar un poco hacia nuestro país es importante mencionar que el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de azúcar en el año de 2015, los ingenios generaron 2697.7 GWh/zafra, lo que represento un importante aumento, esta generación fue esencialmente con bagazo y carbón mineral.

Las Termoeléctricas en el país garantizan, precios competitivos y el suministro de la energía las 24 horas de los 365 días del año, siendo la base de la matriz energética. Contar con el suministro de energía garantizado le permite al país operar sin interrupciones y proveer los servicios más importantes para la población.

La generación de energía de la industria azucarera abastece a los genios y logra cubrir la demanda de un porcentaje de la red nacional. Los azucareros dicen que este tipo de feneración se convirtió en una alternativa natural 100% renovable y de origen nacional.

**Figura 14**

transformación de energía contrapresión y condensación.



Fuente: Veloni (2019)

## **II .1.10. Legislación ambiental**

Se entiende por legislación ambiental aquella normativa que regula todo lo relacionado con el conjunto de circunstancias o elementos que acompañan y rodean a la persona y son necesarios para que ésta ejerza todas sus funciones orgánicas y espirituales. Se trata de aquella normativa que se refiere al desarrollo integral de la

persona en sociedad y en equilibrio y armonía con la naturaleza. (Manual de legislación ambiental de Guatemala, 1999, p.17)

El sector azucarero cree que la competitividad se basa en el desarrollo sostenible y por eso busca un balance entre lo económico y ambiental.

El Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de azúcar (CENGICAÑA), es uno de los seis centros a nivel mundial de investigación científica sobre azúcar de caña. El Manejo Ambiental es el eje central en todo el proceso productivo del azúcar que tiene un departamento, específicamente que se dedican a la formulación de normas y técnicas relacionadas a la conservación, y el uso ecológico de los recursos naturales, y los adversos al medio ambiente.

Es necesario que las industrias y las fuentes de empleo crezcan, pero lo deben hacer en una forma armoniosa con la comunidad y con la ecología. Muchas empresas se encuentran con problemas de contaminación y ahora se debe llegar a un consenso, para poder realizar una limpieza ecológica y corregir las dificultades sin llegar al extremo de hacer desaparecer las fuentes de trabajo. (Solórzano, 2005, p. 27)

En el Tratado de Libre Comercio (TLC) entre Centroamérica y Estados Unidos, contempla medidas que garantizan los derechos ambientales, para que contribuyan a un intercambio comercial sostenible y no se den daños irreversibles a la naturaleza, en este sentido las compañías exportadoras que contaminen el medio ambiente podrían dejar de hacerlo.

Se hará mención de los artículos de las distintas leyes de la legislación nacional.

- Constitución Política de la República de Guatemala.

“Artículo 97.-Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra, del agua, se realicen racionalmente, evita su depredación” -

- Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. (Decreto No. 68-86 del Congreso de la República de Guatemala)

Objeto de la ley: “Artículo 11.-La presente ley tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y localidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país”.

Ámbito de aplicación de la ley: “Artículo 1.-El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, propiciarán el desarrollo social y económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Por lo tanto, la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, suelo, subsuelo y el agua, deberán realizarse racionalmente”.

Obligatoriedad y sanción: “Artículo 8.-Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación de impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión del Medio Ambiente.

El funcionario que omitiere exigir el estudio de Impacto Ambiental de conformidad con este artículo será responsable personalmente por incumplimiento de deberes,

así como el particular que omitiere cumplir con dicho estudio de Impacto Ambiental será sancionado con una multa de Q.5,000.00 a Q.100,000.00. En caso de no cumplir con este requisito en el término de seis meses de haber sido multado el negocio será clausurado en tanto no cumpla”.

- Código Penal (Decreto No. 17-73 del Congreso de la República de Guatemala)

“Artículo 347 A.- Contaminación. Será sancionado con prisión de uno a dos años, y multa de trescientos a cinco mil quetzales el que contamine el aire, el suelo o las aguas mediante emanaciones tóxicas, ruidos excesivos, al esparcir sustancias peligrosas o al desechar productos que puedan perjudicar a las personas, a los animales, bosques o plantaciones. Si la contaminación se produce en forma culposa se impondrá multa de doscientos a mil quinientos quetzales”.

“Artículo 347 B.- Contaminación Industrial. Se impondrá prisión de dos a diez años y multa de tres mil a diez mil quetzales, al Director, Administrador, Gerente, Titular o Beneficiario de una explotación industrial o actividad comercial que permitiere o autorizare, en el ejercicio de la actividad comercial o industrial, la contaminación del aire, el suelo o de las aguas, mediante emanaciones tóxicas, ruidos excesivos, dispersar sustancias peligrosas o desechar productos que puedan perjudicar a las personas, a los animales, bosques o plantaciones.

Si la contaminación fuere realizada en una población, o en sus inmediaciones, o afectare plantaciones o aguas destinadas al servicio público, se aumentará el doble del mínimo y un tercio del máximo de la pena de prisión. Si la contaminación se produjere por culpa, se impondrá prisión de uno a cinco años y multa de mil a cinco mil quetzales. Se aumentará en un tercio a consecuencia de la contaminación resultante. (9:123).

“Artículo 347 C.- Responsabilidad del funcionario. Las mismas penas indicadas en el artículo anterior se aplicarán al funcionario público que aprobare la instalación de la explotación industrial o comercial, o consintiere su funcionamiento. Si lo hiciere por culpa, se impondrán prisión de seis meses a un año y multa de mil a cinco mil quetzales” (9:123).

### **III. COMPROBACION DE LA HIPÓTESIS**

Se presenta a continuación los cuadros y las gráficas obtenidas en el trabajo de campo realizado por el investigador; las que se clasifican de la manera siguiente:

Del cuadro y gráfica del 1 a la 5, se refiere a la comprobación de la variable dependiente; en el cuadro y gráfica 6, se obtienen los datos para comprobar la variable independiente o causa principal.

Se hace la observación que con el cuadro y gráfica 1 se comprueba la variable dependiente; y, con el cuadro y gráfica 6 se comprueba la variable independiente contenida en la hipótesis de trabajo formulada.

**Cuadros y gráficas para la comprobación del efecto o variable dependiente (y)**

### Cuadro 1

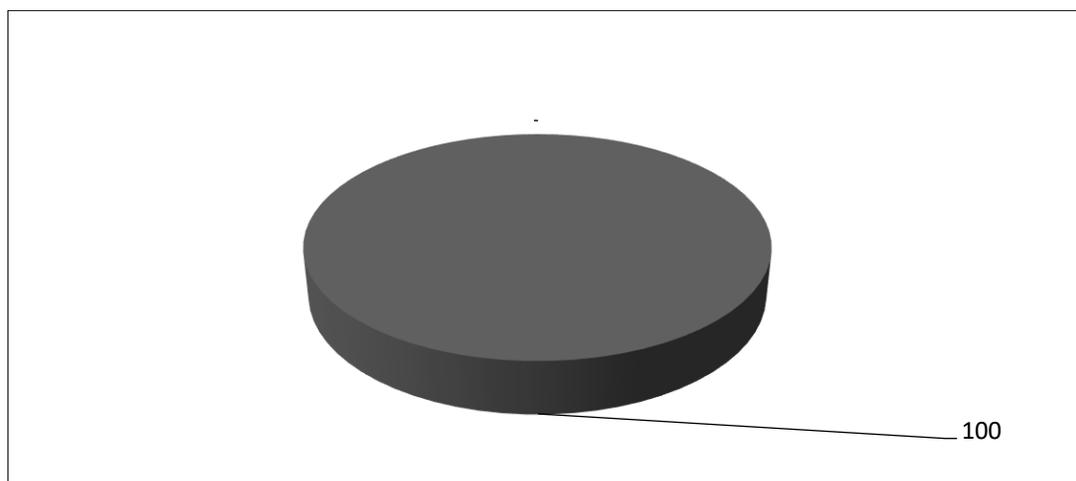
Incremento de consumo de carbón en área de caldera nueva de termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez en los últimos 5 años

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	20	100
No	0	0
Total	20	100

Fuente: Información obtenida del personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez 2020

### Gráfica 1

Incremento de consumo de carbón en área de caldera nueva de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez en los últimos 5 años.



Fuente: Información obtenida del personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez 2020

### Análisis

Se puede apreciar en el cuadro y gráfica anteriores, que el total (100%), de los encuestados, consideran que existe incremento de consumo de carbón en área de caldera nueva de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez en los últimos 5 años. Con esto se comprueba la variable dependiente.

### Cuadro 2

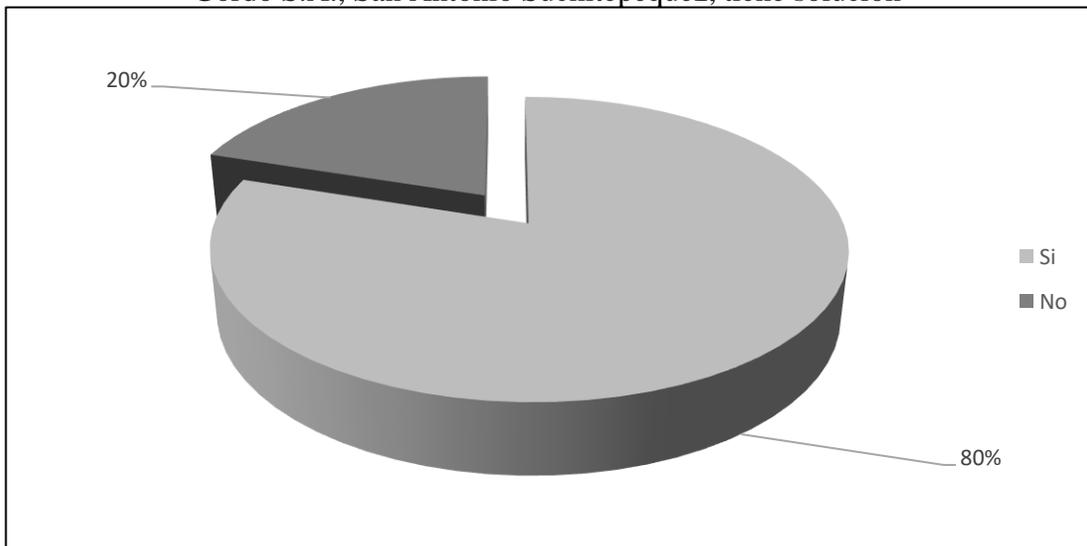
El incremento de uso de carbón en caldera nueva de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez, tiene solución.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	16	80
No	4	20
Total	20	100

Fuente: Información obtenida del personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez 2020

**Gráfica 2**

El incremento de uso de carbón en caldera nueva de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez, tiene solución



Fuente: Información obtenida del personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez 2020

### Análisis

Se puede apreciar en el cuadro y gráfica anteriores, que el 80%, de los encuestados, consideran que El incremento de uso de carbón en caldera nueva de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez, tiene solución. A diferencia del 20%, consideran que no.

**Cuadro 3**

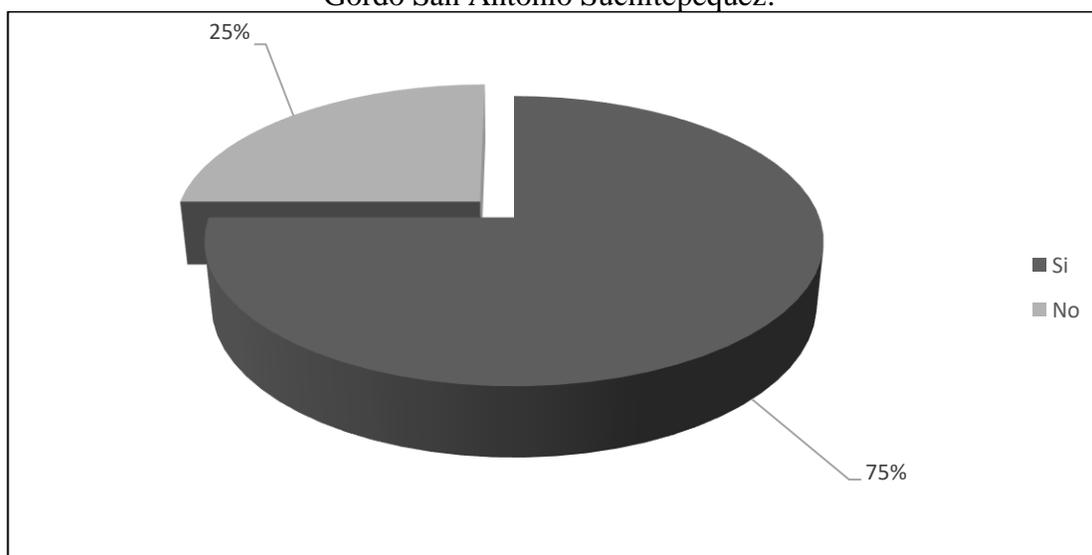
Es necesaria la implementación de calentadores de agua de alimentación para reducir el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo San Antonio Suchitepéquez.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	15	75
No	5	25
Total	20	100

Fuente: Información obtenida del personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez 2020

### Gráfica 3

Es necesaria la implementación de calentadores de agua de alimentación para reducir el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo San Antonio Suchitepéquez.



Fuente: Información obtenida del personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez 2020.

### Análisis

Se puede apreciar en el cuadro y gráfica anteriores, que el 75%, de los encuestados, consideran que es necesaria la implementación de calentadores de agua de alimentación para reducir el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo San Antonio Suchitepéquez. A diferencia del 25%, consideran que no.

### Cuadro 4

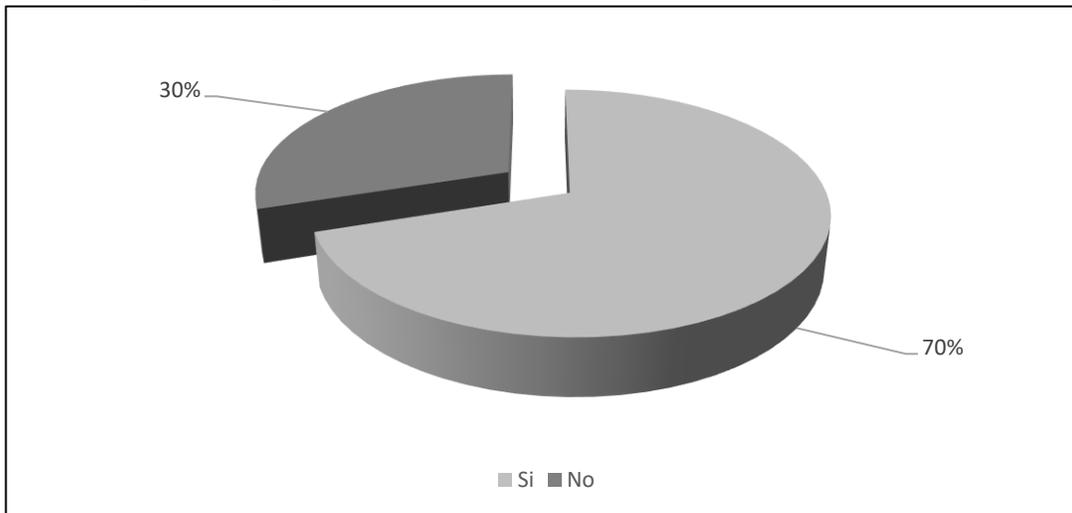
El incremento en el consumo de carbón se debe a la falta de capacitación del personal operativo del área de caldera nueva de Termo eléctrica

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	14	70
No	6	30
Total	20	100

Fuente: Información obtenida del personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez 2020

**Gráfica 4**

El incremento en el consumo de carbón se debe a la falta de capacitación del personal operativo del área de caldera nueva de Termo eléctrica



Fuente: Información obtenida del personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez 2020

**Análisis**

Se puede apreciar en el cuadro y gráfica anteriores, que el 70%, de los encuestados, consideran que el incremento en el consumo de carbón se debe a la falta de capacitación del personal operativo del área de caldera nueva de Termo eléctrica. A diferencia del 30%, consideran que no.

**Cuadro 5**

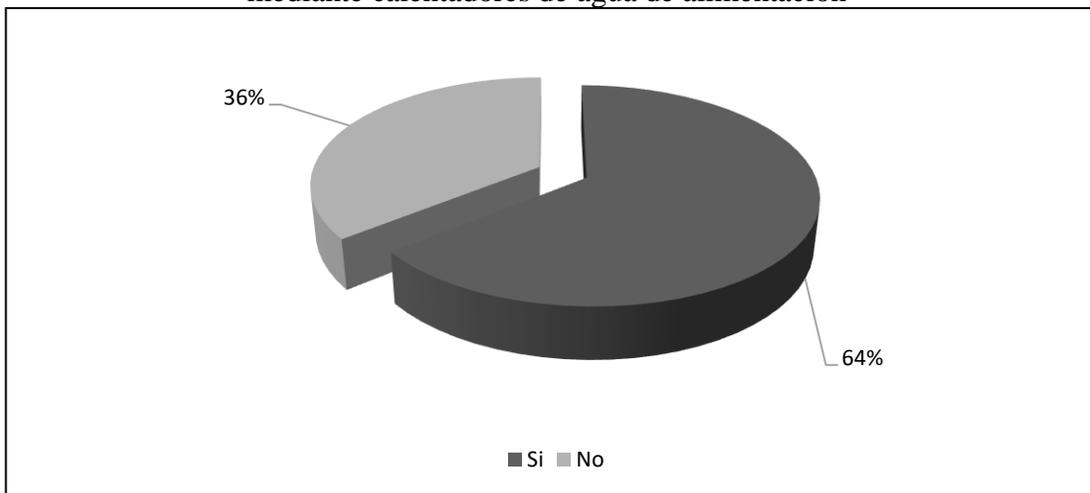
El incremento en el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez, se debe a la inexistencia de una Propuesta para minimizar el consumo de carbón mediante calentadores de agua de alimentación

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	18	90
No	2	10
Total	20	100

Fuente: Información obtenida del personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez 2020

### Gráfica 5

El incremento en el consumo de carbón en caldera nueve de termo eléctrica de ingenio palo gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez, se debe a la inexistencia de una Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación



Fuente: Información obtenida del personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez 2020

### Análisis

Se puede apreciar en el cuadro y gráfica anteriores, que el 65%, de los encuestados, consideran el incremento en el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez, se debe a la inexistencia de una Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación. A diferencia del 35%, consideran que no.

### Cuadros y gráficas para la comprobación de la causa principal o variable independiente (x)

### Cuadro 6

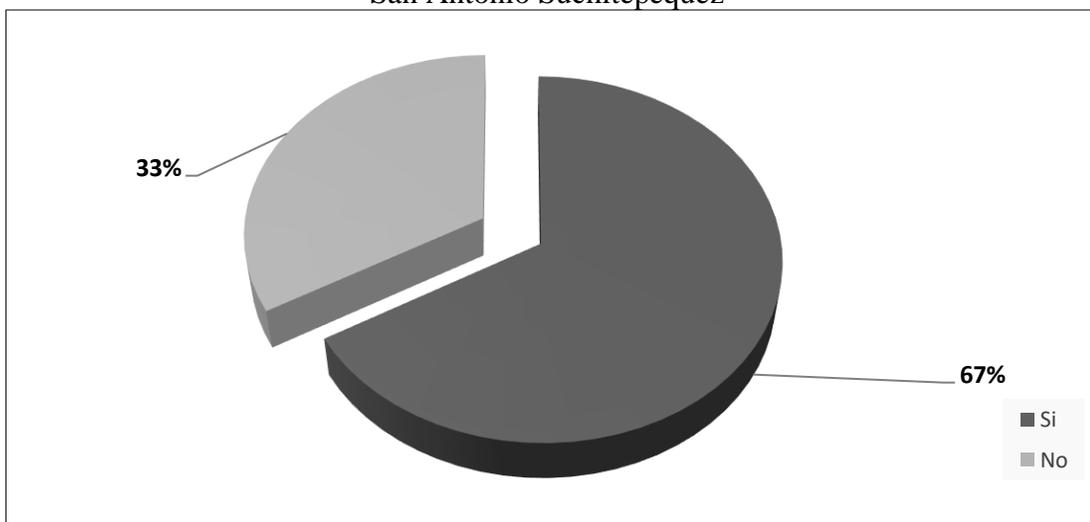
Falta de Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	4	67
No	2	33
Total	6	100

Fuente: Investigación propia, dirigida al Gerente General, dueño de proceso y coordinadores de turno de Caldera Nueve de Termo eléctrica de ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez,

### Gráfica 6

Falta de Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en ingenio palo gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez



Fuente: Investigación propia, dirigida al Gerente General, dueño de proceso y coordinadores de turno de Caldera Nueve de Termo eléctrica de ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez,

### Análisis

Se puede apreciar en el cuadro y gráfica anteriores, que el 67 %, de los encuestados, consideran que falta una Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez. A diferencia del 33%, consideran que no. Con esto se comprueba, la variable independiente

## IV. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

### IV.1. CONCLUSIONES

1. Se comprueba la hipótesis: “El incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez en los últimos 5 años, por inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, es debido a la falta de procedimientos para minimizar el uso del mismo.”
2. No existen procedimientos para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez
3. No existen calentadores de agua de alimentación para reducir el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo San Antonio Suchitepéquez.
4. No existe un proceso para optimizar el uso de carbón, en área de caldera nueve en Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.
5. No hay capacitación del personal operativo del área de caldera nueve de Termo eléctrica por lo que existe incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A.

#### IV1.2. RECOMENDACIONES

1. Operativar la Propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.
2. Utilizar procedimientos para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.
3. Utilizar calentadores de agua de alimentación para reducir el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo San Antonio Suchitepéquez.
4. Ejecutar el proceso para optimizar el uso de carbón, en área de caldera nueve en Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez
5. Capacitar al personal operativo del área de caldera nueve de Termo eléctrica para evitar el incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A.

## BIBLIOGRAFÍA

### Textos

1. Albarca, P. (2017). ACHS, *Agua de Alimentación de Calderas*.
1. Dpto. de Instalación y Mantenimiento CIEFP (2014) *Calderas: funcionamiento, partes y tipos*.
2. Endesa Energía (2020). *Cómo se genera la energía eléctrica*.
3. Fundación ENDESA. (2020). *Central térmica convencional*.
4. García, R. (2001) *Combustión y combustibles*.
5. Gómez, J. *Producción y generación de energía eléctrica*.
6. Ingenio Palo Gordo (2014-2015). *Cogeneración-Generación*.
7. León, E. F. (2006). *La importancia del carbón mineral en el desarrollo*. Revista del Instituto de investigación FIGMMG, vol. 9 (18). pp. 91-97.
8. Martínez, J. U. (2012). Guía básica, *Calderas Industriales Eficientes*. Madrid, España: Arias Montano.
9. Medellín, P. (2001). *Termoeléctricas una propuesta para darle viabilidad a la ciudad: agua y atmosfera*, Diario de San Luis, México.

## **Tesis**

Andrade, A. A. (2005). *Mantenimiento preventivo para calderas y circuitos de refrigeración en función del tratamiento del agua de alimentación*. (Tesis inédita de Ingeniería). Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala.

Guadiana, D. L. (1999). *Sistema productivo del carbón mineral y sus residuos*. (Tesis inédita de ingeniería). Universidad autónoma de nuevo león, facultad de ingeniería mecánica y eléctrica, México.

Mendoza, R. A. (2009). *Guía de utilización del aceite térmico en un sistema de transferencia de calor*. (Tesis inédita de ingeniería). Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.

Martínez, J. C. (2010). *Elaboración de un programa de mantenimiento para un turbogenerador de vapor, de 25 MW TG-1*. (Tesis inédita de ingeniería). Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica, México.

Solórzano, E. R. (2005). *Auditoria medio ambiental en la industria azucarera guatemalteca*. (Tesis inédita de licenciatura). Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias económicas, Guatemala.

Xiloj, T. E. (2015). *Análisis técnicoeconómico del incremento de la cogeneración mediante la optimización del uso de vapor con biomasa cañera y la instalación de un turbogenerador en un ingenio azucarero*. (Tesis inédita de ingeniería). Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.

**e-grafías**

11. <https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/agua-de-alimentacion-de-calderas.pdf>

12. <http://www.imacifp.com/wp-content/uploads/2014/10/4.-Generadores-de-calor..pdf>

13. <https://www.endesa.com/es/conoce-la-energia/energia-y-mas/como-se-genera-electricidad#>

15. <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-electricas-convencionales/a201908-central-termica-convencional>

16. <file:///C:/Users/Admin/Downloads/Combusti%C3%B3n%20y%20combustibles.pdf>

17. <https://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/jgomez/ie/prodgen.pdf>

18. <file:///C:/Users/Admin/Downloads/Esdras%20Marco%20teorico%20tesis/Turbo%20Condensing.pdf>

19. <http://ambiental.uaslp.mx/docs/PMM-AP011122-Termoelectricas.pdf>

## **Anexos**

## Índice de anexos

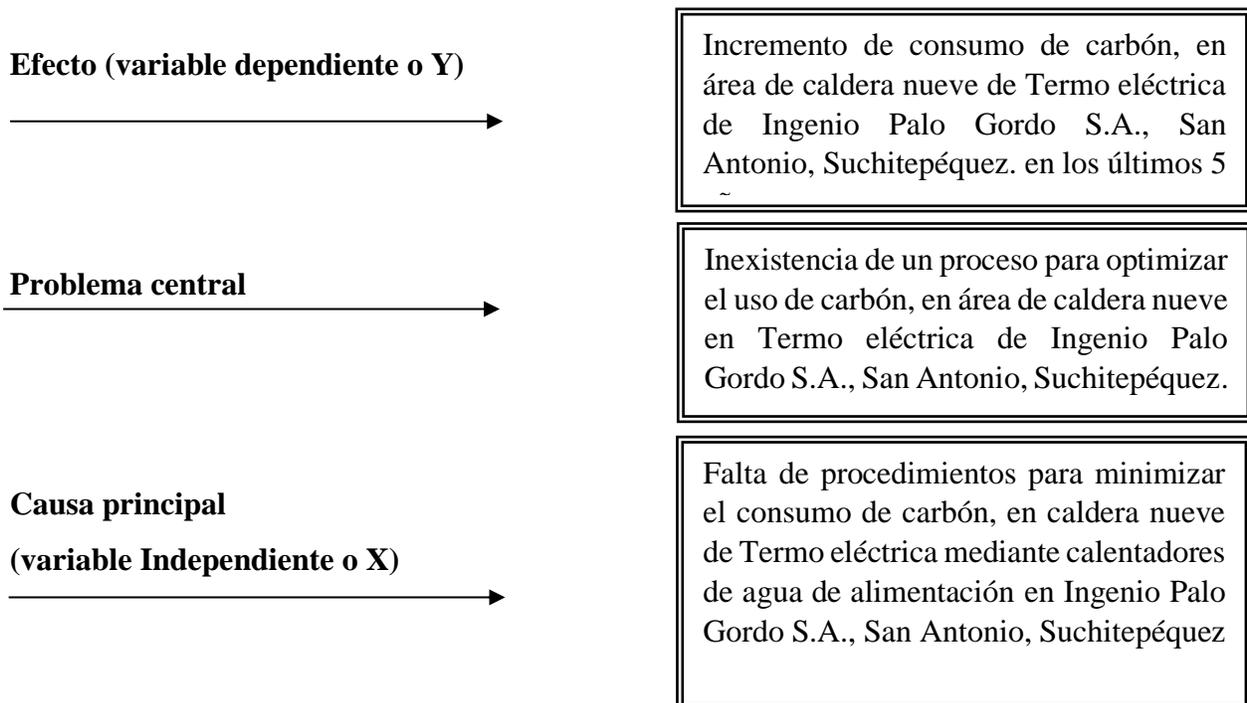
No.	Contenido	Página
1	Árbol de problemas, hipótesis y árbol de objetivos.....	01
2	Diagrama del medio de solución de la problemática.....	03
3	Boleta de investigación para comprobación del efecto general.....	04
4	Boleta de investigación para la comprobación de la causa principal.....	05
5	Metodológico comentado sobre el cálculo de muestra.....	07
6	Metodológico comentado sobre el cálculo del coeficiente de correlación.....	08
7	Metodológico de la proyección lineal.....	10

## Anexo 1. Árbol de Problemas, hipótesis y árbol de objetivos

### 1.1. Árbol de problemas e hipótesis

Tópico: Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueva de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez.

De acuerdo a la investigación realizada en el Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez y con la ayuda del método científico y del marco lógico fue posible identificar el siguiente problema, así como causa y efecto general:



### Hipótesis

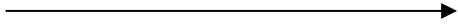
“El incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueva de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez en los últimos 5 años, por inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, es debido a la falta de procedimientos para minimizar el uso del mismo.”

¿Es la Falta de procedimientos para minimizar el consumo de carbón, y la inexistencia del proceso para optimizar el uso del mismo, la causa del incremento en el área de caldera nueva de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez?

## 1.2.Árbol de objetivos

De acuerdo con la problemática, causa y efecto planteados en el árbol de problemas, fue posible la determinación y diagramación de los objetivos del trabajo de graduación.

### **Fin u objetivo general**



Evitar el incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez

### **Objetivo específico**

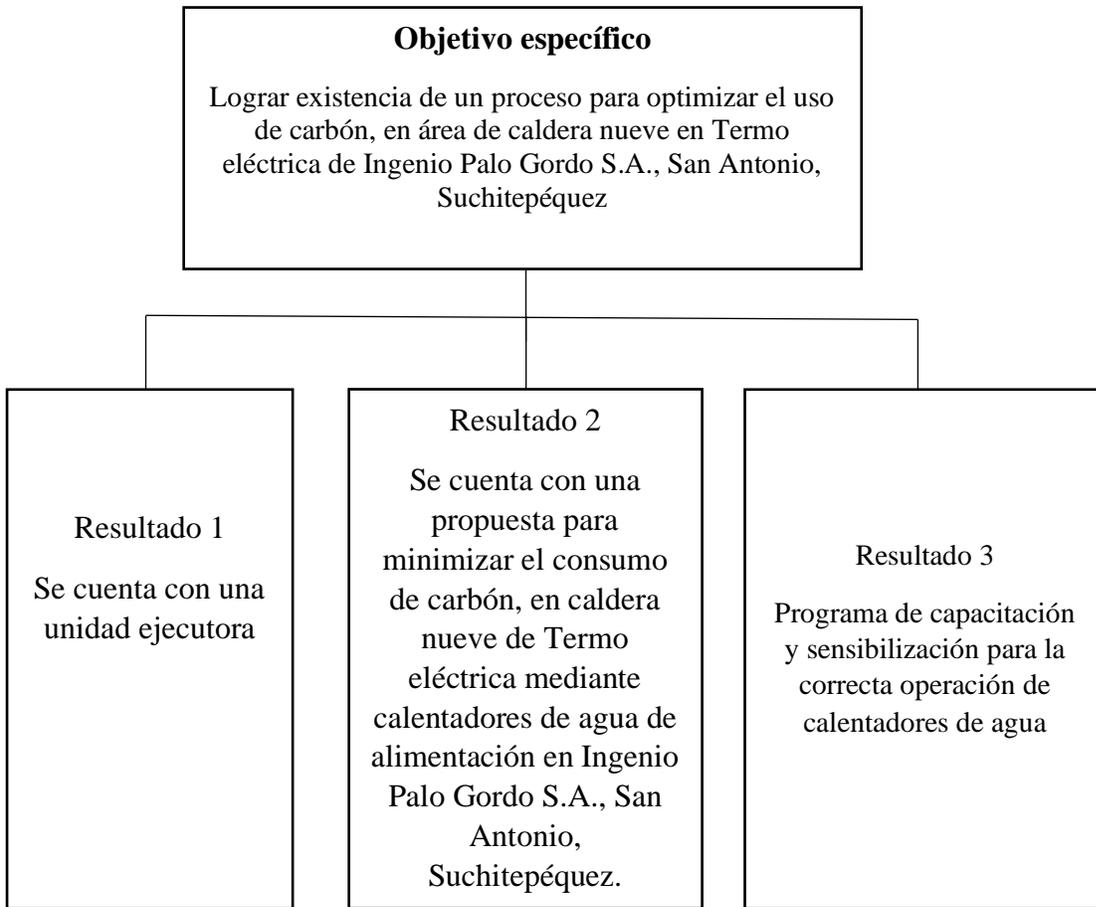


Lograr existencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, en área de caldera nueve en Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez

### **Medio de Solución**



Propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.



Universidad Rural de Guatemala  
Programa de Graduación  
Boleta de investigación  
Variable dependiente

**Objetivo:** Esta boleta censal de investigación tiene como finalidad comprobar la variable dependiente: Incremento de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez, en los últimos 5 años.

Esta boleta está dirigida a personal operativo de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez (20 personas), mediante un censo.

**Instrucciones:** A continuación, se le presentan varios cuestionamientos, a los que deberá responder marcando con una "X" la respuesta que considere correcta y razónela cuando se le indique.

1. ¿Considera que existe incremento de consumo de carbón en área de caldera nueve de termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez en los últimos 5 años?

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ ¿Por qué? \_\_\_\_\_

2. ¿Cree que el incremento de uso de carbón en caldera nueve de termo eléctrica ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez, tiene solución?

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ ¿Por qué? \_\_\_\_\_

3. ¿Considera necesaria la implementación de calentadores de agua de alimentación para reducir el consumo de carbón en caldera nueve de termo eléctrica ingenio Palo Gordo San Antonio Suchitepéquez?

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ ¿Por qué? \_\_\_\_\_

4. ¿Cree que el incremento en el consumo de carbón se debe a la falta de capacitación del personal operativo del área de caldera nueve de termo eléctrica?

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ ¿Por qué? \_\_\_\_\_

5. ¿Considera que el incremento en el consumo de carbón en caldera nueve de termo el □ □ctrica de ingenio Palo Gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez, se debe a la inexistencia de una Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación?

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ ¿Por qué? \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

Lugar y fecha: \_\_\_\_\_

Universidad Rural de Guatemala  
Programa de Graduación  
Boleta de Investigación  
Variable independiente

Objetivo: Esta boleta de investigación tiene como finalidad comprobar la variable independiente: Falta de propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueva de termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en ingenio palo gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez.

Esta boleta se aplicará al Gerente General dueño de proceso y coordinadores de turno de Caldera Nueva de Termo eléctrica de ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio Suchitepéquez, mediante un censo poblacional, ya que son únicamente 6 personas.

**Instrucciones:** A continuación, se le presentan varios cuestionamientos, a los que deberá responder y al marcar con una "X" la respuesta que considere correcta y razónela cuando se le indique.

1. ¿Considera que falta una Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueva de termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en ingenio palo gordo S.A. San Antonio Suchitepéquez?

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ ¿Por qué? \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

Lugar y fecha: \_\_\_\_\_

Universidad Rural de Guatemala  
 Programa de Graduación  
 Anexo metodológico para el cálculo de la muestra  
 Población finita y cualitativa

A continuación, se desarrolla el anexo del cálculo de la muestra al 90 % del nivel de confianza y al 10 % de error de muestreo por el método aleatorio de población finita cualitativa, que fue dirigida a los colaboradores de área Termo eléctrica en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez. El nivel de confianza considerado (Z) según la curva de Lorenz corresponde al valor de 1.645. Se aclara que se utilizó el 50 % del valor “p”, debido a que no se contaban con investigaciones previas.

La población actual es de 32

$$n = \frac{NZ^2pq}{Nd^2 + Z^2pq}$$

N=Población

Z=valor Z en la tabla

P=% de éxito (50%)

q=% de fracaso (50%)

d=error de muestreo (10%)

Z=valor de la tabla del nivel de confianza

N =	32
Z =	1.645
Z <sup>2</sup> =	2.70603
p =	0.5
q =	0.5
d =	0.10
d <sup>2</sup> =	0.01
NZ <sup>2</sup> pq =	21.65
Nd <sup>2</sup> =	0.32
Z <sup>2</sup> pq =	0.68
Nd <sup>2</sup> + Z <sup>2</sup> pq =	1.00
<b>n =</b>	<b>21.72</b>

El tamaño de la muestra que representará es de 22 personas.

Este coeficiente es un indicador estadístico que nos indica el grado de correlación de dos variables; es decir el comportamiento gráfico de las mismas, para trazar la ruta para proyectar dichas variables. En este caso el coeficiente de correlación es igual a 1, lo que indica que el comportamiento de estas variables obedece a la ecuación de la línea recta; cuya fórmula simplificada es la siguiente:  $y = a + bx$ .

Los datos utilizados en las variables X y Y, representan la condición actual e histórica del efecto. A continuación, se presenta los cálculos y fórmulas utilizadas para obtener dicho coeficiente.

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN**

Año	X (años)	Y (Efecto) Incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez, en los últimos 5 años.	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
2015	1	110000	110000	1	12100000000.00
2016	2	110400	220800	4	12188160000.00
2017	3	110700	332100	9	12254490000.00
2018	4	111000	444000	16	12321000000.00
2019	5	111500	557500	25	12432250000.00
Totales	15	553600	1664400	55	61295900000.00

n= 5  
 $\sum X = 15$   
 $\sum XY = 1664400$   
 $\sum X^2 = 55$   
 $\sum Y^2 = 61295900000.00$   
 $\sum Y = 553600$   
 $n \sum XY = 8322000$   
 $\sum X * \sum Y = 8304000$   
 NUMERADOR 18000

FORMULA:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X * \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2) * (n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

$n \sum X^2 = 275$   
 $(\sum X)^2 = 225$   
 $n \sum Y^2 = 306479500000.00$   
 $(\sum Y)^2 = 306472960000.00$   
 $n \sum X^2 - (\sum X)^2 = 50$   
 $n \sum Y^2 - (\sum Y)^2 = 6540000$   
 $(n \sum X^2 - (\sum X)^2) * (n \sum Y^2 - (\sum Y)^2) = 327000000.00$   
 Denominador: 18083.14132  
 r= 0.995402274

**Análisis:** El resultado del cálculo de correlación dio un valor 0.99; y por estar dentro del rango  $\geq \pm 0.80$  y  $\pm \leq 1$ , se pudo verificar la relación que existe entre las dos variables y su comportamiento lineal.

## Anexo 7. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo de la proyección

Para proyectar el impacto que genera la problemática estudiada, se procedió a utilizar la proyección lineal del fenómeno estudiado.

Previo a ello se procedió determinar el comportamiento de la variable tiempo respecto a casos sujetos de estudio en el tiempo con forme a una serie histórica dada, la que se encuentra dentro de los parámetros aceptables para considerarse como un comportamiento lineal, que se resume con la ecuación siguiente  $y = a + bx$

Es importante destacar que para que se considere el comportamiento lineal de dos variables el coeficiente de correlación debe oscilar de  $\geq 0.80$  y  $\leq 1$ ; cuyo cálculo es parte integrante de este documento

A continuación, se presenta los cálculos y tabla de análisis de varianza para proyectar los datos correspondientes. Proyección lineal  $Y = a + bx$

$$y = a + bx$$

AÑO	X (años)	Y (Efecto) Incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueva de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitépéquez. en los últimos 5 años.	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
2015	1	110000	110000	1	12100000000.00
2016	2	110400	220800	4	12188160000.00
2017	3	110700	332100	9	12254490000.00
2018	4	111000	444000	16	12321000000.00
2019	5	111500	557500	25	12432250000.00
Totales	15	553600	1664400	55	61295900000.00

n=	5
$\sum X =$	15
$\sum XY =$	1664400
$\sum X^2 =$	55
$\sum Y^2 =$	61295900000.00
$\sum Y =$	553600
$n \sum XY =$	8322000
$\sum X * \sum Y =$	8304000
NUMERADOR	18000
Denominador de b:	
$n \sum X^2 =$	275
$(\sum X)^2 =$	225
$n \sum X^2 - (\sum X)^2$	50
b=	360
Numerador de a:	
$\sum Y =$	553600
$b * \sum X =$	5400
Numerador de a:	
a:	548200
a=	109640

FORMULAS:

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X * \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

FORMULAS:

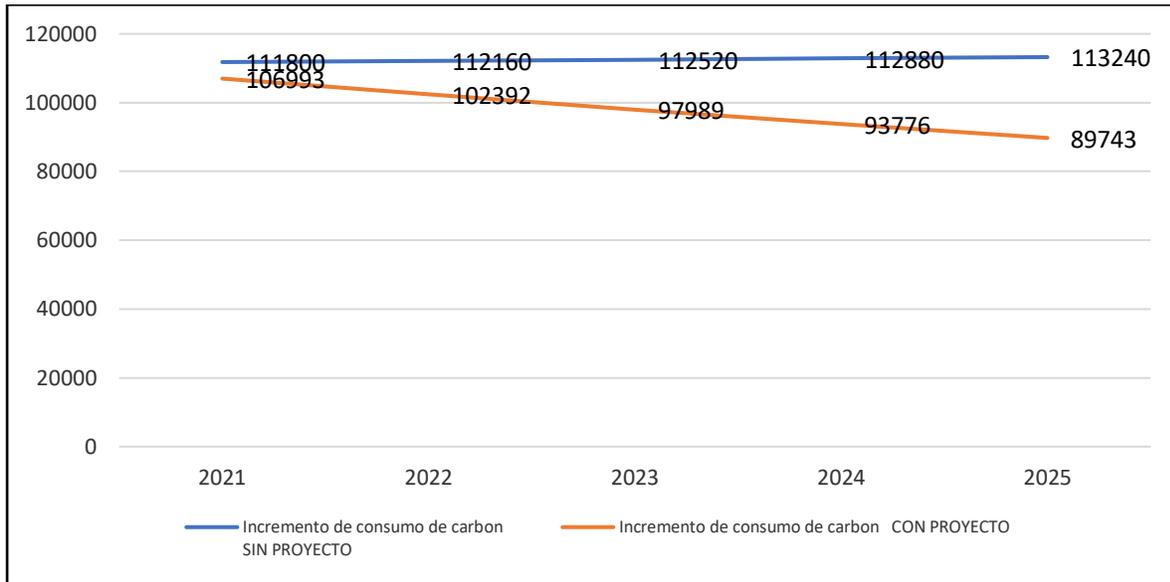
$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n}$$

ECUACION DE LA RECTA $Y = a + (b * x)$			
Y=	a	+	(b * X)
Y=	109640	+	360 X
Y=	109640	+	360 10
Y=	113240		

Años	Y (Efecto) Incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueva de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez. en tonelada
2021	111800
2022	112160
2023	112520
2024	112880
2025	113240

#### Analisis comparativo con y sin proyecto

Años	Incremento de consumo de carbon SIN PROYECTO	Incremento de consumo de carbon CON PROYECTO	Diferencial
2021	111800	106993	4807
2022	112160	102392	9768
2023	112520	97989	14531
2024	112880	93776	19104
2025	113240	89743	23497
Sumatoria			71708



Análisis: De no aplicarse la propuesta el incremento de consumo de carbón para el año 2025 será de 113240 toneladas, pero con proyecto será de 89743 toneladas.

Esdras Nehemias de la Cruz Vásquez

PROPUESTA PARA MINIMIZAR EL CONSUMO DE CARBÓN EN CALDERA  
NUEVE DE TERMO ELÉCTRICA MEDIANTE CALENTADORES DE AGUA  
DE ALIMENTACIÓN EN INGENIO PALO GORDO S.A. SAN ANTONIO,  
SUCHITEPÉQUEZ.

**TOMO II**



Asesor General Metodológico

MSc. Daniel Humberto González Pereira

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, julio de 2020

## Informe final de graduación

Esta tesis fue presentada por el autor  
previo a obtener el título universitario en Ingeniería  
Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables  
en el grado académico de Licenciados.

## Índice

No.	Contenido	Página
I	RESUMEN.....	1
II	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN .....	8
	Anexos	

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación, “Propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez”, es una propuesta de solución a la problemática de Inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, en área de caldera nueve en Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

El planteamiento del problema refleja que desde hace cinco años el área de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo, presenta indicadores que demuestran inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, en área de caldera nueve en Termo eléctrica, al tener como efecto, incremento de consumo de carbón en área de caldera nueve en Termo eléctrica, en los últimos 5 años. Al ser la causa la falta de procedimientos para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación

La hipótesis es: “El incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez en los últimos 5 años, por inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, es debido a la falta de procedimientos para minimizar el uso del mismo.”.

Se tienen como objetivos de la investigación los siguientes:

- Objetivo general: Evitar el incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.
- Objetivo específico: Lograr existencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, en área de caldera nueve en Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

La investigación se justifica porque en los últimos 5 años ha existido Incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica, por la falta de plan de falta de procedimientos para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación

La metodología utilizada reunió un conjunto de métodos y técnicas para la obtención de los resultados y la comprobación de las variables dependiente e independiente, así como la formulación y comprobación de la hipótesis.

Si se aplica la propuesta se evitará el incremento de consumo de carbón en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

Por lo contrario, si no se aplica la propuesta continuará el incremento de consumo de carbón, ya que no hay un proceso para optimizar el uso del mismo.

Para poder comprobar la hipótesis planteada “El incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez en los últimos 5 años, por inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, es debido a la falta de procedimientos para minimizar el uso del mismo.”, se realizó la siguiente metodología.

Los métodos utilizados en la formulación de la hipótesis fueron: El Método Deductivo y el Método del Marco Lógico. El primero se utilizó para identificar la problemática, que inicia con la observación de fenómenos naturales y de esta manera definir la investigación planteada, por lo que fue necesario visitar el ingenio.

El método del Marco Lógico o la Estructura Lógica, sirvió para la elaboración de los árboles de problemas y objetivos, para establecer los resultados deseados y esperados dentro de la investigación, así mismo para fijar y establecer los insumos y tiempos por cada resultado. También para comprobar la hipótesis.

Métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis

Los métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis fueron los siguientes: Inductivo, de Síntesis y Estadístico.

Las técnicas empleadas en la formulación y comprobación de la hipótesis fueron las siguientes: Lluvia de ideas, Observación Directa, Investigación Documental, Cuestionario, Entrevista y Análisis.

Para la entrevista se diseñaron boletas de investigación, para comprobar la variable dependiente “X” (Causa) e independiente “Y” (Efecto) de la hipótesis, esto fue realizado con el mismo personal que trabaja dentro del Ingenio Palo Gordo S.A. San Antonio, Suchitepéquez.

La técnica de Análisis se aplicó al interpretar los datos tabulados en valores absolutos y relativos, obtenidos después de la aplicación de las boletas de investigación, “Y” y “X”, que tuvieron como objeto la comprobación de la hipótesis.

El Marco Teórico que constituyó una base que sustenta la propuesta con aspectos doctrinarios acorde a la investigación que ayudaron a la comprensión de la temática en relación.

Los aspectos doctrinarios incluyen los aspectos legales. Comprenden:

- a) Ingenio azucarero,
- b) Termo eléctrica,
- c) Combustión
- d) Caldera,
- e) Agua de alimentación
- f) Turbo generador,

- g) Turbina,
- h) Calentador,
- i) Carbón mineral,
- j) Energía eléctrica,
- h) Legislación ambiental.

Los anexos son:

#### Anexo 1. Árbol de problemas, hipótesis y árbol de objetivos

El diagrama del problema, el efecto (variable o dependiente Y) la causa (variable independiente “X”) y propuesta de solución. Así como la hipótesis identificada u objetivo de la investigación con el diagnóstico esquematizado para su posterior comprobación. En el diagrama de los objetivos de trabajo de acuerdo con la problemática causa y efecto incluidos en el árbol de problemas. Los cuales son el objetivo general, el objetivo específico y el medio de solución o nombre del trabajo.

#### Anexo 2. Diagrama del medio de solución de la problemática

El que corresponde al objetivo específico “Lograr existencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, en área de caldera nueve en Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.” esquematizado en tres resultados, que serán desarrollados en su orden.

#### Anexo 3. Boleta de investigación para la comprobación del efecto general

Variable dependiente “Y”, Incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez. en los últimos 5 años.

Aplicada a colaboradores del área Termo eléctrica, quienes están involucrados directa e indirectamente en el proceso de generación de vapor para diferentes subprocesos del ingenio. Su objetivo es comprobar el incremento de consumo de carbón de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., en los últimos cinco años.

#### Anexo 4. Boleta de investigación para la comprobación de la causa principal

Variable independiente“X Falta de procedimientos para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez., Su objetivo es determinar si hacen falta procedimientos para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez

#### Anexo 6. Metodológico comentado sobre el cálculo de muestra

Los sujetos de esta investigación y estudio son los empleados que laboran en el área Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez. Para recibir toda la información se tomó una muestra del total de los 58 empleados, así poder realizar el cálculo de muestra cuantitativa. La muestra la conforman 20 trabajadores del Ingenio.

#### Anexo 7. Metodológico comentado sobre el cálculo del coeficiente de correlación

Indicador estadístico que nos indica el grado de correlación de dos variables; es decir el comportamiento gráfico de las mismas, para trazar la ruta para proyectar dichas variables. El Coeficiente de correlación debe oscilar de  $\geq + - 0.80$  a  $\leq + - 1$ .

#### Anexo 8. Metodológico de la proyección lineal

Para proyectar el impacto que genera la problemática estudiada, se procedió a utilizar la proyección lineal del fenómeno estudiado.

Previo a ello se procedió determinar el comportamiento de la variable tiempo respecto a casos sujetos de estudio en el tiempo con forme a una serie histórica dada, la que se encuentra dentro de los parámetros aceptables para considerarse como un comportamiento lineal, que se resume con la ecuación siguiente  $y=a+bx$ . Es importante destacar que para que se considere el comportamiento lineal de dos variables el coeficiente de correlación debe oscilar de  $\geq + - 0.80$  a  $\leq + - 1$ .

- Propuesta de solución.

La propuesta pretende que el área en área de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez, por medio de una propuesta para minimizar el consumo de carbón mediante calentadores de agua de alimentación está integrada por tres resultados.

1) Se cuenta con una Unidad Ejecutora.

Formada por el dueño de proceso y coordinador de turno de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A.; y es el encargado de proveer de los recursos necesarios para el cumplimiento y ejecución de la propuesta de solución a la problemática, siendo estos; recursos humanos, como la contratación de dos soldadores industriales, un mecánico industrial para que realicen la implementación de calentadores de agua de alimentación. Materiales, en cuanto a lo requerido según la propuesta de esta investigación, así como recursos tecnológicos para la capacitación del personal de operación.

2). Se cuenta con una Propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

Entre ellas cabe mencionar:

2.1. Los encargados de la implementación deberán conocer acerca de la operación de los equipos que se encuentran el área de Termo eléctrica, en Ingenio Palo Gordo.

2.2. Los operadores deben mantener al día las bitácoras de temperatura y presión de cada equipo calentador

2.3. El mecánico y operadores deben estar familiarizado con cualquier ruido extraño o anormal, debe de informar al jefe de turno de cualquier anomalía.

2.4. El jefe de turno en conjunto con el mecánico y los operadores basados en la interpretación de datos proporcionados por los medidores analógicos decidirán si es necesario sacar de línea algún calentador o si continúan.

Este plan permite reducir incremento de consumo de carbón y obtener una eficiente operación por medio de la propuesta.

2.6. El plan está formado por:

Componentes de la propuesta: Carbón, calentadores de agua de alimentación.

Los componentes del consumo de carbón, de la propuesta son mediante calentadores de agua de alimentación.

A) Carbón: se utiliza para combustible alternativo para la generación de vapor en caldera nueva de Termo eléctrica, se almacena en bodega, y se transporta mediante conductores, para su traslado hacia el horno, se mide el peso mediante basculas instaladas.

B) Calentadores de agua de alimentación: consiste en un equipo que aprovechara el vapor de escape de la turbina para calentar el agua de alimentación de la caldera que servirá para eficientizar el consumo de carbón, se trata de un equipo que internamente

consta de mamparas que sirven para separar el vapor del agua, así que el agua fría mediante el vapor se calienta nunca chocándose directamente porque podría causar un choque térmico que es perjudicial para las tuberías.

3. Se cuenta con una capacitación de personal operativo para lograr un desempeño óptimo y así reducir el incremento de consumo de carbón

## **2. CONCLUSIÓN**

Se comprobó la hipótesis. “El incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez en los últimos 5 años, por inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, es debido a la falta de procedimientos para minimizar el uso del mismo”, con el 90% de confianza y el 10% de error muestral.

## **3. RECOMENDACIÓN**

Implementar la propuesta de la investigación, “Propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez”.

Anexos

## **Anexo 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA**

### **1. INTRODUCCIÓN**

El presente estudio se elaboró como uno de los requisitos establecidos por la Universidad Rural de Guatemala, previo a obtener el título universitario Licenciado en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables, que es llevar a cabo una investigación, por lo tanto, se optó el estudio de “Propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.”.

La hipótesis que se comprobó fue: “El incremento de consumo de carbón, en área de caldera nueve de Termo eléctrica Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez en los últimos 5 años, por inexistencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, es debido a la falta de procedimientos para minimizar el uso del mismo”.

El objetivo general es evitar el incremento de consumo de carbón. El objetivo específico es Lograr existencia de un proceso para optimizar el uso de carbón, El medio de solución está formado por tres resultados que son: Resultado uno: Se cuenta con una Unidad Ejecutora. Resultado dos: Se cuenta con una propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez. Resultado tres: Se cuenta con un Programa de capacitación y sensibilización para la correcta operación de calentadores de agua al personal del área de Termo eléctrica, de Ingenio Palo Gordo SA., San Antonio, Suchitepéquez. Los tres resultados juntos forman la propuesta para proporcionar una solución integral al problema.

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS**

La propuesta pretende que la empresa Ingenio Palo Gordo, S.A., San Antonio Suchitepéquez, cuente con una propuesta para minimizar el consumo de carbón, en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación, la misma está integrada por tres

resultados, cada uno de ellos compuesto por actividades, con estos se soluciona el problema. Los resultados se desarrollan a continuación:

### **Resultado 1. Se cuenta con una Unidad Ejecutora**

La Unidad Ejecutora está formada por el dueño de proceso y coordinadores de turno de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A.; y es la encargada de proveer de los recursos necesarios para el cumplimiento y ejecución de la propuesta de solución a la problemática, siendo estos; recursos humanos, materiales y tecnológicos.

Para el desarrollo del resultado se llevaron a cabo las siguientes actividades:

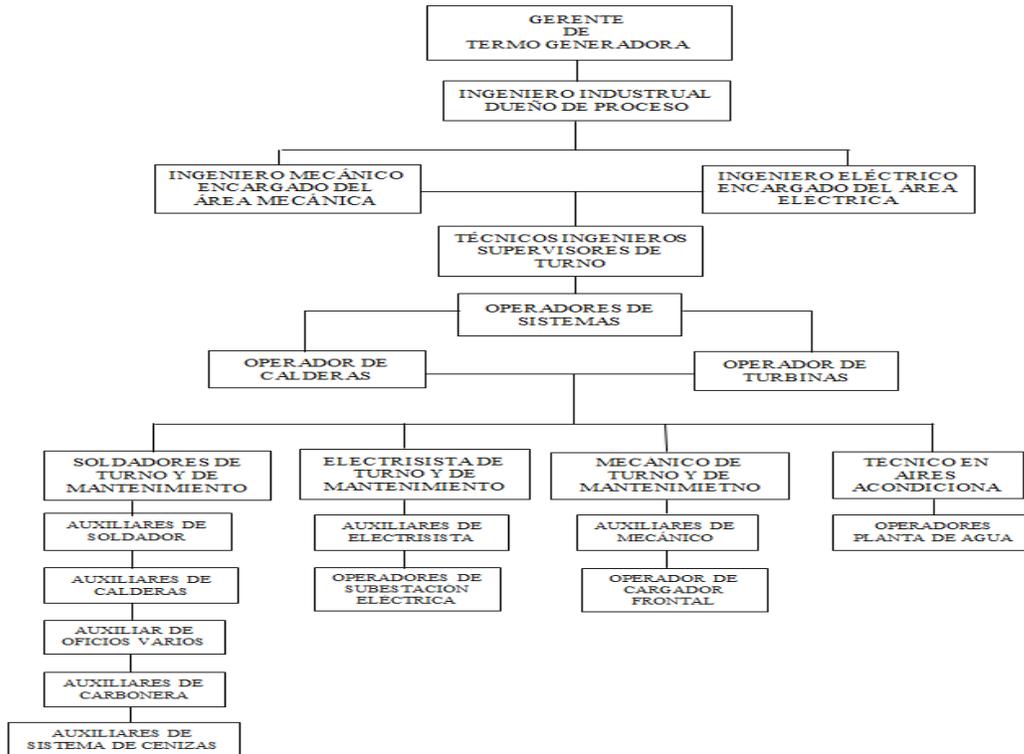
Actividad 1. Reclutamiento, selección, contratación e inducción de personal.

El personal necesario es: dos soldadores industriales y un mecánico industrial. Se realizó la convocatoria por medio electrónico y un medio de mayor circulación en el país, solicita personal que cumplieran con los perfiles establecidos. Para el proceso de selección, se llevaron a cabo entrevistas y revisión de documentos presentados. Se contrató al personal seleccionado, los cuales deberán cumplir con los aspectos legales contemplados en el Código de Trabajo, el que firmaron el patrono y los trabajadores. El encargado de inducir al personal fue el Departamento de Recursos Humanos.

Actividad 2. Compra de materiales y accesorios necesarios: Se realizó la compra de cuatro calentadores de agua, con 25” de diámetro y 4 metros de largo, con soporte de 20 bares de presión y 300 grados de temperatura, cuatro válvulas de 10“ de diámetro por 30 centímetros de altura con capacidad de presión de 25 bares de presión y 300 grados de temperatura, cuatro válvulas automáticas de 5” de diámetro con soporte para 30 bares de presión y 300 grados de temperatura, ocho válvulas de 7” de diámetro por 22 centímetros de altura, 16 válvulas de 3” de diámetro que servirán para drenar, 2 tubos de hierro negro de 10” de diámetro por 5 metros de largo, 5 tubos de hierro negro de 7” de diámetro por 5 metros de largo, 25 metros de manguera de 3/8 de grosor, 25 cajas de fibra cerámica para tratamiento térmico, 3 rollos de lámina para alta temperatura de 30 metros cada uno.

## Organigrama 1.

Área termo eléctrica (termogeneradora), de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio  
Suchitepéquez.



### 1.1. Perfil de los profesionales en implementación de calentadores

Controlar la ejecución de las actividades de instalación, coordinar y supervisar los trabajos del personal a su cargo para garantizar el buen funcionamiento y conservación de los bienes muebles e inmuebles.

**Resultado 2.** Se definen políticas para la Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

**Las políticas son las siguientes:**

- a) El operador de Turbo generador debe conocer la operación de cada uno de los calentadores, y la relación que tendrán con la caldera.
- b) El operador de Turbo generador debe monitorear e inspecciona la correcta operación de los calentadores mediante toma de datos.
- c) El operador de Turbo generador debe informar a su jefe de turno los resultados de los monitoreos realizados a cada calentador de agua de alimentación.
- d) El operador de Turbo generador debe informar a su jefe de turno cualquier inconveniente en la operación de los calentadores de agua de alimentación.
- e) El jefe de turno en base a la necesidad de consumo de carbón, y al tener en cuenta el flujo de la caldera informara al operador de turbina habilitar o deshabilitar calentadores de agua alimentación.
- f) El jefe de turno deberá tomar decisiones en darle prioridad a la venta de energía para la hora pico y no limitar el flujo de caldera, por lo tanto, deberá en esas horas dar instrucciones de deshabilitar calentadores de agua de alimentación.
- g) El dueño de procesos del área de cogeneración en base a un previo análisis y su criterio velará por que este plan se cumpla como está detallado.

**Resultado 2. Se cuenta con una Propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.**

	<p align="center"><b>PROPUESTA PARA MINIMIZAR EL CONSUMO DE CARBÓN EN CALDERA NUEVE DE TERMO ELÉCTRICA MEDIANTE CALENTADORES DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE INGENIO PALO GORDO S.A., SAN ANTONIO, SUCHITEPÉQUEZ.</b></p>	<p align="center"><b>Código: PCO – 001</b></p>
<p align="center"><b>Departamento de Cogeneración</b></p>		<p align="center"><b>Versión: 01</b></p>

### **1. Introducción**

La presente propuesta, indica los pasos a seguir de una forma descriptiva para lograr la máxima eficiencia en el consumo de carbón de caldera nueve de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., por medio de calentadores de agua de alimentación, que servirá para mejorar la temperatura del agua, y por ende reducirá el consumo de carbón.

### **2. Objetivo**

Elaborar una propuesta de forma explicativa y descriptiva para minimizar el consumo de carbón mediante calentadores de agua de alimentación.

### **3. Responsable**

De la realización de la propuesta

a) Estudiantes de tesis:

b) De la autorización y aval de la propuesta estratégica:

- Propietario y Gerente del Ingenio Palo Gordo.

c) Del control y monitoreo de aplicación de la propuesta:

- Gerente de la empresa y encargados de planta Termo eléctrica.

d) De la aplicación de la propuesta:

Especialista encargado de aplicar la propuesta y los trabajadores de la planta de Termo eléctrica.

#### **4. Alcance**

El definir cuál será el alcance de la propuesta de implementación de calentadores de agua de alimentación, priorizar equipos críticos, o iniciar por una línea o departamento. En el mejor de los casos sería tomar toda la planta

También se debe considerar el alcance de su proyecto y definir el presupuesto, sea cuidadoso y tenga en cuenta que posiblemente requiera autorización de algún recurso que no considero. Una buena idea es presupuestar en varias partidas departamentales.

Durante la preparación e implementación de su propuesta de implementación de calentadores no puede presentar resultados de mejoramiento en la maquinaria y equipo.

#### **5. Contenido**

Esta propuesta permite aprovechar el vapor de escape de la turbina y utilizarlo por medio de los calentadores para aumentar la temperatura del agua de alimentación para poder eficientizar la caldera y poder reducir el consumo de carbón.

La propuesta está conformada por:

1. Implementación de calentadores de agua de alimentación.

Servirá para tomar decisiones de cambios que se puedan hacer en la operación de turbo generador.

### 1.1. Operación de turbo generador:

El operador de turbo generador bajo la supervisión del jefe de turno habilitara y deshabilitara calentadores, tomara datos de presiones y temperatura y monitoreara que no hallan fugas tanto de vapor como de agua.

### 2. Descripción de precios del proyecto de propuesta para minimizar consumo de carbón en área de caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.

CANTIDAD	DESCRIPCION	SUBTOTAL	TOTAL
4	calentadores de agua, con 25" de diámetro y 4 metros de largo	\$ 20,000.00	\$ 80,000.00
4	válvulas de 10" de diámetro por 30 centímetros de altura	\$ 2,000.00	\$ 8,000.00
4	válvulas automáticas de 5" de diámetro	\$ 1,500.00	\$ 6,000.00
8	válvulas de 7" de diámetro por 22 centímetros de altura,	\$ 1,000.00	\$ 8,000.00
16	válvulas de 3" de diámetro que servirán para drenar	\$ 500.00	\$ 8,000.00
2	tubos de hierro negro de 10" de diámetro por 5 metros de largo	\$ 3,000.00	\$ 6,000.00
5	tubos de hierro negro de 7" de diámetro por 5 metros de largo,	\$ 2,000.00	\$ 10,000.00
25	metros de manguera de 3/8 de grosor	\$ 50.00	\$ 1,250.00
25	cajas de fibra cerámica para tratamiento térmico,	\$ 500.00	\$ 12,500.00
3	rollos de lámina para alta temperatura de 30 metros cada uno.	\$ 1,000.00	\$ 3,000.00
	mano de obra	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
	TOTAL		\$145,750.00

**3. Relación costo-beneficio de la propuesta propuesta para minimizar consumo de carbón en área de caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.**

Se muestra la relación costo beneficio en un periodo de cinco años. Por cada dólar invertido dará una rentabilidad de veintiún dólares con dieciséis centavos de dólar.

<b>Análisis costo/beneficio de proyecto</b>		
<b>Costos</b>		<b>Beneficios</b>
Accesorios \$142,750.00		Reducción de consumo de carbón en cantidad de dinero en un periodo de cinco años.
Mano de obra \$ 3,000.00		
<b>Costos Totales</b> \$145,750.00	<b>Beneficios Totales</b>	\$3,083,401.00
Relación costo beneficio=		Beneficios/Costos
Relación costo beneficio=		\$21.16

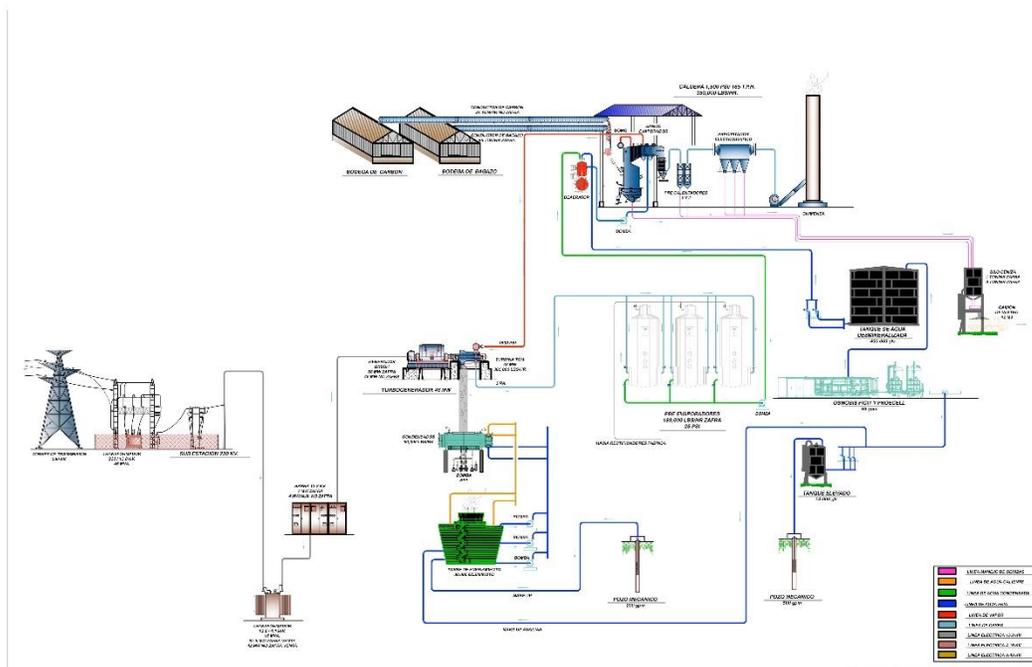
**4. VAN y TIR de la propuesta propuesta para minimizar consumo de carbón en área de caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.**

VAN Y TIR DEL PROYECTO							
		PERIODO 0	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5
	inversion inicial	\$ 145,750.00					
	Flujo de caja	\$-145,750.00	\$206,701.00	\$ 420,024.00	\$624,833.00	\$821,472.00	\$1,010,371.00
	porcentaje	4.30%					
			VAN	\$ 2,501,959.35			
			TIR	208%			

año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
4807	9768	14531	19104	23497
	costo ton.	\$	43.00	

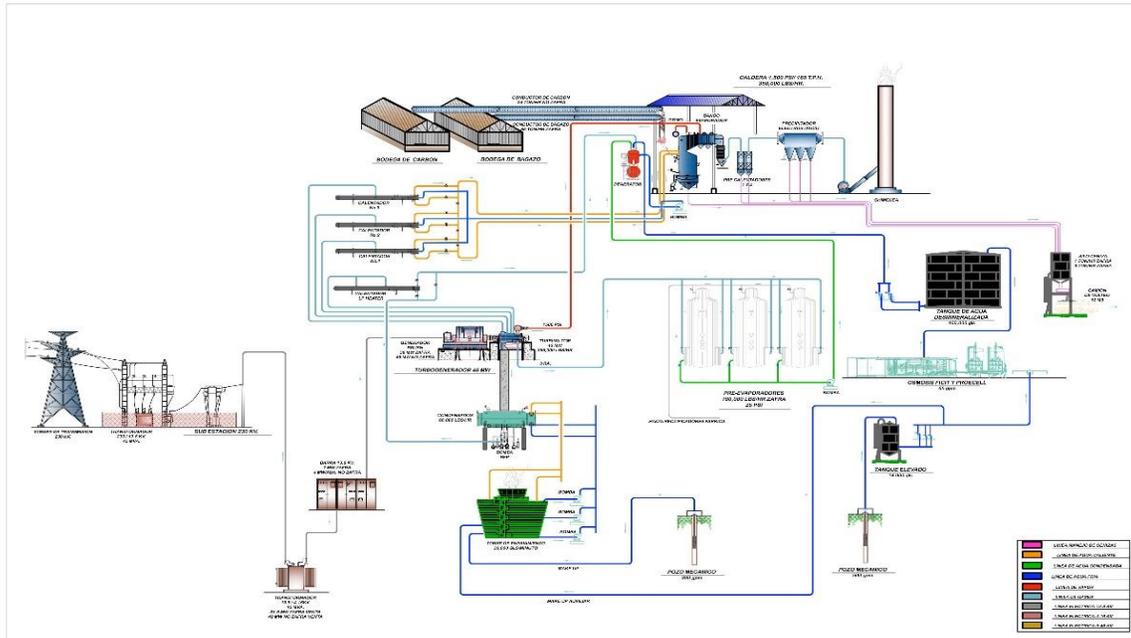
Los costos del periodo 1, 2, 3, 4 y 5 salieron de multiplicar el ahorro de consumo de carbón en toneladas por año multiplicado por los \$ 43.00 del costo de la tonelada, luego se procedió a realizar la operación se obtuvo como resultado un van positivo que quiere decir que el proyecto es recomendable, y una tir del 208%, es decir, demasiado rentable, al primer año de ejecutada la propuesta se recuperaría la inversión.

### 5. Diagrama de proceso de cogeneración sin proyecto.



Fuente: (el autor 2020)

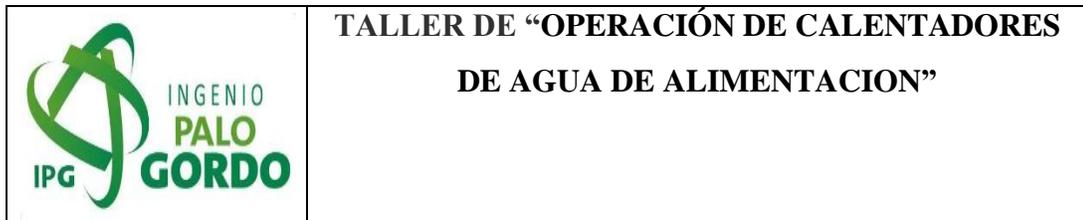
## 6. Diagrama de proceso de cogeneración con proyecto.



Fuente: (el autor 2020)

### **Resultado 3. Capacitación.**

#### **TALLER DE “OPERACIÓN DE CALENTADORES DE AGUA DE ALIMENTACION”**



#### **1. Introducción:**

En base a la necesidad de fortalecer el área Termo eléctrica del Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez, se capacitará al personal para lograr el conocimiento de nueva tecnología para implementar los calentadores de agua de alimentación.

#### **2. Dirigido a:**

El programa está dirigido a personal de la planta Termo eléctrica del Ingenio Palo Gordo, San Antonio, Suchitepéquez.

#### **3. Objetivo.**

- Reducir pérdidas económicas por paros no programados en la planta Termo eléctrica.
- Evitar interrupciones de la línea producción de azúcar por problemas de operación de turbo generador y calentadores.

#### **4. Duración:**

9 horas

#### **5. Fecha y Horario:**

- Fecha: 10/07/2020.

- Horario: De 7:00 a.m. a. 18:00 p.m. con una hora de almuerzo de por medio.

#### **6. Recursos materiales y humanos necesarios**

##### **6.1 Equipo para implementación.**

Existe una gran variedad de alternativas y cada fabricante incorpora cada día más y más ventajas de operación, incluye software que permiten una operación amigable, fáciles de operar y manuales para interpretación de datos. Se describe a continuación los equipos más relevantes.

##### **- Calentadores.**

Existen varios tipos de calentadores cerrados de agua de alimentación, pero para este espacio únicamente comentaré sobre el calentador cerrado de tres zonas, es un diseño que cuenta con la capacidad de soportar una presión de entrada de agua de 142 kg/cm<sup>2</sup> por esta razón, es que este calentador puede utilizarse para poder soportar la presión de entrada de agua que viene desde la bomba de alimentación de agua, cuyas condiciones de operación podrían generar temperaturas fuera de diseño.

##### **- Medidor de presiones y temperatura.**

Por medio de la tecnología se puede monitorear las presiones y temperaturas establecidas en el manual de operación.

Es un aparato que puede montarse con facilidad, este instrumento emite una señal a la computadora donde se puede ver lo que se ha establecido en la automatización del sistema de calentadores.

#### **- Automatización**

La implementación de la tecnología es imprescindible para una eficiente operación, por medio de ella se puede ahorrar tiempo de monitoreo en campo, y haciéndola desde la computadora sin descuidar la correcta operación para así evitar fallas que puedan causar una parada no programada.

### **7. Capacitación**

#### **7.1. Actividades de la capacitación:**

**7.2.** Programa de capacitación de propuesta para minimizar consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo.



**PROPUESTA PARA MINIMIZAR EL CONSUMO DE CARBON EN  
AREA DE CALDERA NUEVE DE TERMO ELECTRICA  
MEDIANTE CALENTADODRES DE AGUA DE ALIMENTACION  
EN INGENIO PALO GORDO S.A., SAN ANTONIO,  
SUCHITEPEQUEZ**

<b>FECHA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>HORA</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>RESPONSABLE</b>
10/07/2020	Bienvenida y presentación	7.00 a.m.- 7.30 a.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Estudiante de tesis y autoridades del ingenio Palo Gordo
10/07/2020	Determinación de las metas y objetivos	7.30 a.m. - 8.00 a.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Profesional especialista en operación de turbo generadores y calentadores de agua de alimentación.
10/07/2020	Establecer los requerimientos para la correcta operación de los calentadores de agua de alimentación.	8.00 a.m.- 9.00 a.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Profesional especialista en operación de turbo generadores y calentadores de agua de alimentación.
10/07/2020	Pasos para el Establecimiento de programa operación de los calentadores de agua de alimentación.	9.00 a.m.- 10.00 a.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Profesional especialista en operación de turbo generadores y calentadores de agua de alimentación.
10/07/2020	Procedimientos para la correcta operación de los calentadores de agua de alimentación. (Listados de rutinas.)	10.00 a.m. 11.00 a.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Profesional especialista en operación de turbo generadores y calentadores de agua de alimentación.
	<b>REFACCIÓN</b>			
10/07/2020	Propuesta de implementación de los calentadores de agua de alimentación.	11.00 a.m. 12.00 a.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Profesional especialista en operación de turbo generadores y calentadores de agua de alimentación.
10/07/2020	Medición de resultados y establecimiento de nuevas metas	12.00 a.m. 13.00 p.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Profesional especialista en operación de turbo generadores y calentadores de agua de alimentación.

	ALMUERZO	13.00 a 14.00 p.m		
10/07/2020	Revisión de la propuesta	14.00 a.m. 14.30 a.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Profesional especialista en operación de turbo generadores y calentadores de agua de alimentación.
10/07/2020	Video explicativo del proceso de cogeneración mediante calentadores	14.30 - 16.30 p.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Profesional especialista en operación de turbo generadores y calentadores de agua de alimentación.
10/07/2020	Resolución de dudas surgidas	16.30 a 17.30 p.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Profesional especialista en operación de turbo generadores y calentadores de agua de alimentación.
10/07/2020	Evaluación del curso	15.30 a 16.00 p.m.	Salón de conferencias del ingenio Palo Gordo	Profesional especialista en operación de turbo generadores y calentadores de agua de alimentación.

## Anexo 2. Matriz de la estructura lógica

COMPONENTES	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACION	SUPUESTOS
Objetivo general. Evitar el incremento de consumo de carbón en área de caldera nueve de Termo eléctrica en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.	Se disminuye el 4.3% de incremento de consumo de carbón al primer año de ejecutada la propuesta.	Reporte de consumo de carbón diario.	La empresa implementa el programa de capacitación constante al personal encargado de los calentadores de agua de alimentación.
Objetivo específico. Lograr existencia de un proceso para optimizar el uso de carbón en área de caldera nueve en Termo eléctrica en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez	Al primer año de implementada la propuesta se cuenta con un proceso definido para la disminución de carbón.	Reporte de consumo de carbón por hora.	Operadores de caldera,
Resultado 1: Se cuenta con una Unidad Ejecutora			
Resultado 2: Se cuenta con una propuesta para minimizar el consumo de carbón en caldera nueve de Termo eléctrica mediante calentadores de agua de alimentación en Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.			
Resultado 3: Se cuenta con un Programa de sensibilización y capacitación para la correcta operación de calentadores de agua al personal del Área de Termo eléctrica de Ingenio Palo Gordo S.A., San Antonio, Suchitepéquez.			

