



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA CALDERA
ACUATUBULAR DE 200,000 LB-VAPOR/HORA, INSTALADA EN EL INGENIO PALO
GORDO S. A.**

Delvin Ariel Hernández Puzul

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, abril de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA CALDERA
ACUATUBULAR DE 200,000 LB-VAPOR/HORA, INSTALADA EN EL INGENIO PALO
GORDO S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DELVIN ARIEL HERNÁNDEZ PUZUL
ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA CALDERA
ACUATUBULAR DE 200,000 LB-VAPOR/HORA, INSTALADA EN EL INGENIO PALO
GORDO S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 15 de julio de 2015.

Delvin Ariel Hernández Puzul



Guatemala, 23 de septiembre de 2016
Ref.EPS.DOC.685.09.16.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Delvin Ariel Hernández Puzul** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200831541, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA CALDERA ACUATUBULAR DE 200,000 LB-VAPOR/HR, INSTALADA EN EL INGENIO PALO GORDO S. A.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Edwin Estuardo Surceño Zepeda
ASesor-SUPERVISOR DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Área Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
EESZ/ra



Guatemala, 23 de septiembre de 2016
REF.EPS.D.383.08.16

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

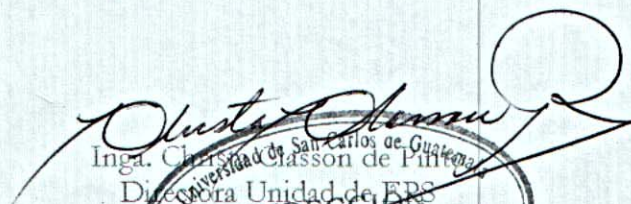
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA CALDERA ACUATUBULAR DE 200.000 LB-VAPOR/HR, INSTALADA EN EL INGENIO PALO GORDO S. A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Delvin Ariel Hernández Puzul** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christiana Clason de Pineda
Directora Unidad de EPS
DIRECCIÓN
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

CCdP/ra



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.041.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA CALDERA ACUATUBULAR DE 200,000 LB-VAPOR/HORA, INSTALADA EN EL INGENIO PALO GORDO S. A.** del estudiante **Delvin Ariel Hernández Puzul, CUI No. 1879-32131-1214**, registro académico No. **200831541**, procede a la autorización del mismo para su revisión.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzman Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, enero de 2017

/aej



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.150.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA CALDERA ACUATUBULAR DE 200,000 LB-VAPOR/HORA, INSTALADA EN EL INGENIO PALO GORDO S. A.** del estudiante **Delvin Ariel Hernández Puzul, CUI No. 1879-32131-1214, Reg. Académico No. 200831541** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzman Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, abril de 2017

/aej

Universidad de San Carlos
de Guatemala

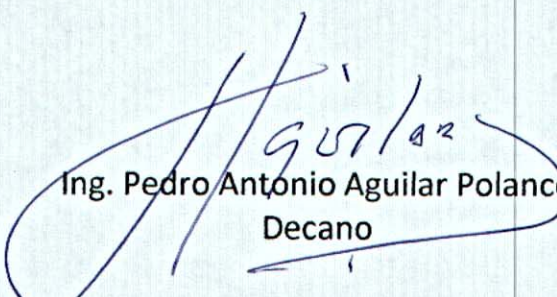


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 183.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA CALDERA ACUATUBULAR DE 200,000 LB-VAPOR/HORA, INSTALADA EN EL INGENIO PALO GORDO S. A.,** presentado por el estudiante universitario: **Delvin Ariel Hernández Puzul,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, abril de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por iluminar y bendecir mi camino hacia la profesionalización.
- Mis padres** Enrique Hernández y Clara Puzul. Por su amor, sus consejos, su apoyo incondicional y sus enseñanzas para poder luchar por mis metas.
- Mis hermanos** Carlos, Elmer, Enrique, Froilán. Por su apoyo incondicional durante el estudio de mi carrera universitaria.
- Mis amigos** Por la confianza, amistad y experiencias compartidas.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme sus puertas para poder llenarme de conocimientos y así poder superarme personalmente.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme las herramientas para formarme como un profesional con principios y conocimientos necesarios en el mundo actual.
Mis amigos de la facultad	José Manuel García Pérez y Julián Guatz Hernández. Por acompañarme en cada paso y apoyarme durante mis estudios universitarios.
Ingenio Palo Gordo S. A.	Por la oportunidad brindada para llevar a cabo este trabajo de graduación y permitirme formar parte de la empresa para poner en práctica los conocimientos adquiridos.
Ing. Mynor Salvatierra	Gracias por el apoyo incondicional, por compartir sus conocimientos y así poder aplicarlos para realizar este proyecto y darme el apoyo necesario para llevarlo a cabo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Reseña histórica de la empresa	1
1.1.2. Ubicación de la empresa	5
1.1.3. Localización del área de generación de vapor de la empresa.....	6
1.1.4. Misión	6
1.1.5. Visión.....	6
1.1.6. Valores	7
1.1.7. Organigrama de la empresa	7
2. FASE DE INVESTIGACIÓN	9
2.1. Consideraciones teóricas sobre calderas acuatubulares.....	9
2.1.1. Caldera acuatubular	9
2.1.2. Objetivos perseguidos al construir una caldera acuatubular.....	9
2.1.3. Componentes de la caldera acuatubular industrial	10

2.1.4.	Combustibles disponibles para calderas	11
2.1.4.1.	Características de los combustibles	12
2.1.4.1.1.	Importancia de la elección de un buen combustible en calderas.....	13
2.1.5.	Propiedades térmicas del bagazo de caña de azúcar = biomasa	14
2.1.5.1.	Poder calorífico del bagazo de la caña de azúcar	15
2.1.6.	Propiedades térmicas del agua de alimentación	16
2.1.7.	Tratamiento de agua para calderas.....	18
2.1.7.1.	Desaireadores	19
2.1.7.2.	Tratamiento a la zeolita	19
2.1.7.3.	Tratamiento de osmosis inversa.....	21
2.1.7.4.	Los fines principales perseguidos con el tratamiento del aguade alimentación	21
2.2.	Ahorro energético.....	22
2.2.1.	Iluminación de oficina técnica del área industrial, Ingenio Palo Gordo S. A.....	22
2.2.1.1.	Problemática	22
2.2.1.2.	Justificación.....	23
2.2.1.3.	Recomendaciones.....	23
2.2.1.4.	Plan de capacitación al personal.....	24
2.2.1.5.	Buenas prácticas en el uso de iluminación	24
2.2.1.6.	Acciones de ahorro de energía	26

	2.2.1.6.1.	Ahorro energético y costo mensual con la utilización de bombillos LED	26
	2.2.1.6.2.	Cálculos de ahorro energético.....	29
	2.2.2.	Beneficios del ahorro de energía y la eficiencia energética en la empresa	33
3.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL		35
3.1.	Operaciones fundamentales.....		35
3.1.1.	Combustión segura.....		35
3.1.2.	control del agua de alimentación		35
3.1.3.	Operaciones iniciales de puesta en marcha		36
	3.1.3.1.	Requisitos del operador	36
	3.1.3.2.	Preparativos para el arranque	36
	3.1.3.2.1.	Inspección	37
	3.1.3.2.2.	Limpieza	37
	3.1.3.2.3.	Prueba hidrostática.....	37
	3.1.3.2.4.	Procedimiento.....	37
	3.1.3.2.5.	Instrumentación y controles.....	39
	3.1.3.2.6.	Equipos auxiliares	39
	3.1.3.2.7.	Limpieza química.....	39
	3.1.3.2.8.	Soplado de vapor	40
	3.1.3.2.9.	Válvulas de seguridad ..	40
3.2.	Procedimientos de operación de la caldera 8.....		42
3.2.1.	Propósito.....		42
3.2.2.	Distribución		42

3.2.3.	Definiciones.....	42
3.2.4.	Responsabilidades	44
3.2.4.1.	Jefe de maquinaria.....	44
3.2.4.2.	Jefe de turno	45
3.2.4.3.	Auxiliar de calderas	45
3.2.4.4.	Operador de caldera	45
3.2.4.5.	Mecánico de turno.....	45
3.2.4.6.	Aguatero.....	46
3.2.4.7.	Operador de bombas de alimentación	46
3.2.4.8.	Operador del sistema de control	46
3.2.4.9.	Instrumentista de turno.....	46
3.2.4.10.	Jefe de control de calidad.....	47
3.2.5.	Desarrollo.....	47
3.2.5.1.	Insumos.....	47
3.2.5.2.	Equipo de protección personal (EPP) ..	47
3.2.5.3.	Equipo de operación	48
3.2.5.4.	Ejecución.....	48
3.2.5.5.	Parámetros de operación de la caldera.....	48
3.2.5.5.1.	Arranque de caldera.....	49
3.2.5.5.2.	Operación de la caldera	50
3.2.5.5.3.	Paro de la caldera	52
3.2.5.5.4.	Paro de emergencia de la caldera.....	53
3.2.5.5.5.	Paro de emergencia si el nivel de agua de la caldera baja.....	54

	3.2.5.5.6.	Paro de emergencia si el nivel de agua de la caldera sube	56
	3.2.5.5.7.	Acciones correctivas.....	56
3.2.6.		Parámetros de seguridad aplicables en el entorno de la caldera	57
3.2.7.		Ubicación de instrumentos de medición utilizados en la caldera acuatubular de 200 000 lb-vapor/hora.....	58
3.2.8.		Documentos relacionados	60
4.		FASE DE DOCENCIA	63
4.1.		Importancia del equipo de protección personal en operación de calderas	63
4.1.1.		Requisitos de un equipo de protección personal (E. P. P.)	63
4.1.2.		Clasificación de los E. P. P.....	64
	4.1.2.1.	Protección a la cabeza	64
	4.1.2.2.	Protección de ojos y cara	65
		4.1.2.2.1. Protección para los ojos.....	65
		4.1.2.2.2. Protección a la cara.....	66
	4.1.2.3.	Protección de los oídos	66
	4.1.2.4.	Protección respiratoria.....	67
		4.1.2.4.1. Limitaciones generales de su uso	67
		4.1.2.4.2. Tipos de respiradores...	67
	4.1.2.5.	Protección de manos y brazos.....	68
		4.1.2.5.1. Tipos de guantes	68

4.1.2.6.	Protección de pies y piernas	69
4.1.2.6.1.	Tipos de calzado	69
4.1.2.7.	Cinturones de seguridad para trabajo en altura	70
4.1.2.8.	Ropa de trabajo.....	70
4.1.2.8.1.	Restricciones de uso	70
4.1.2.9.	Ropa protectora.....	71
4.1.2.9.1.	Tipo de ropa protectora	71
4.2.	Ventajas y limitaciones de los E. P. P.	71
4.3.	Consideraciones generales.....	72
4.4.	Sistema de capacitación para los operarios.....	73
4.4.1.	Conferencias	73
4.4.1.1.	Operadores	74
4.4.2.	Inducción a personal operador de calderas.....	74
CONCLUSIONES.....		75
RECOMENDACIONES		77
BIBLIOGRAFÍA.....		79
APÉNDICE		81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación geográfica, Ingenio Palo Gordo S. A.	5
2.	Ubicación de la caldera No. 8 en la empresa.....	6
3.	Organigrama del área de extracción del Ingenio Palo Gordo.....	7
4.	Esquema de la caldera acuatubular.....	10
5.	Costo de bombillos fluorescentes y bombillos LED.....	29
6.	Calibración de válvulas de seguridad de la caldera No. 8.....	41
7.	Diagrama caldera acuatubular.....	61

TABLAS

I.	Propiedades del agua.....	18
II.	Tipos y características de iluminación.....	25
III.	Plan de capacitación del personal.....	26
IV.	Clasificación de tarifas de energía eléctrica.....	27
V.	Costos vigentes de energía eléctrica.....	28
VI.	Costo mensual con la utilización de bombillos LED.....	32
VII.	Parámetros de operación de la caldera acuatubular.....	48
VIII.	Acciones correctivas en la operación de la caldera.....	56
IX.	Cronograma de capacitaciones.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H_2O	Agua
Amp.	Amperios
Hp.	Caballos de potencia
$^{\circ}C$	Grados centígrados
$^{\circ}F$	Grados Fahrenheit
Lb-vapor/hr	Libras de vapor por hora
Psi.	Libras por pulgada cuadrada
N/A	No aplica
Rpm.	Revoluciones por minuto
V.	Voltios

GLOSARIO

Alimentador de bagazo	Equipo utilizado para la alimentación de bagazo al hogar de la caldera a velocidades variables.
Bagazo	Residuo de la caña de azúcar de la que se ha extraído el jugo.
Caldera acuatubular	Es un generador de vapor, en la cual los gases de combustión circulan por la parte externa de los tubos, mientras que por su interior lo hace el agua.
Dámper	Accesorio que está provisto de varias paletas en la succión de los ventiladores; su función es regular el flujo de aire.
Domo inferior	Recipiente cilíndrico horizontal pero de menor tamaño que el domo superior; recoge el agua de los tubos de caída y redistribuye el agua a los tubos vaporizadores.
Domo superior	Recipiente cilíndrico horizontal, está provisto de espacios para almacenar el vapor y recibir el agua requerida por la caldera; además, recibe y distribuye los tubos vaporizadores y de caída.

Economizador de agua	Tubería en forma de serpentín que por medio de los gases de escape eleva la temperatura del agua antes de entrar a la caldera.
Superheater	Tubería en forma de serpentín que por medio de la temperatura del hogar de la caldera convierte el vapor saturado a vapor sobre calentado.
Scrubber	Sistema para la evacuación y precipitación de sólidos en suspensión por medio de una atomización de agua teniendo como resultado vapor de agua hacia la atmósfera.
Ventilador de tiro forzado	Su función es inyectar un flujo de aire constante al hogar. De esta forma se produce el exceso de aire necesario para asegurar la combustión.
Ventilador de tiro inducido	Su función es extraer los gases de la combustión a través de la chimenea para luego ser enviados directamente a la atmósfera.
Ventilador <i>overfire</i>	Su función es inyectar un flujo de aire constante al hogar y formar turbulencia para que el combustible tenga una buena combustión.

RESUMEN

En el inicio del ejercicio profesional supervisado, dentro de las instalaciones del Ingenio Palo Gordo S. A. se realizó el reconocimiento de las distintas áreas de trabajo del área de maquinaria:

Área de preparación de caña, área de extracción de jugo y área de generación de vapor. Será de mucha importancia, para conocer el funcionamiento de la maquinaria y para determinar las necesidades que se tuviesen en cierta área.

Después del reconocimiento del área de maquinaria, se pudo determinar que en el área de generación de vapor se tiene muy poca información sobre la operación de las calderas. Los operadores, quienes con base en la experiencia y cierta parte de información han logrado tener conocimiento de la operación de las calderas.

Para lo cual se elaborará un manual de operación y procedimientos de la caldera. Debido a que el Ingenio Palo Gordo cuenta con cuatro calderas acuatubulares de igual diseño, se tomará como referencia una sola caldera: la caldera número 8 en el área de generación de vapor.

Al finalizar el ejercicio profesional supervisado se pretende que este manual de operación sea revisado y aprobado para poderlo implementar en el área de calderas, lo cual ayudará al operador a familiarizarse más rápidamente con la operación y así poder optimizar su funcionamiento.

OBJETIVOS

General

Elaboración de un manual de operaciones para la caldera acuatubular de 200 000 lb-vapor/hr, instalada en el Ingenio Palo Gordo S. A.

Específicos

1. Documentar el funcionamiento de cada equipo y accesorio utilizado durante la operación.
2. Proporcionar información necesaria sobre la operación y funcionamiento de una caldera acuatubular.
3. Documentar la revisión periódica de la caldera y sus accesorios.
4. Identificar las partes de una caldera y su correcto funcionamiento.

INTRODUCCIÓN

En las instalaciones del Ingenio Palo Gordo se cuenta con calderas acuatubulares utilizadas para la generación de vapor las cuales son alimentadas por bagazo de caña. Esto ayuda a generar un alto porcentaje de vapor que es utilizado en turbinas para la generación de energía eléctrica y otra parte se va a la fábrica de la planta para ayudar en el proceso de la elaboración del azúcar.

Para lograr una buena operación de las calderas, es necesario elaborar un manual de operación donde se establezcan los procesos de los trabajos, con los objetivos y alcances, etapa a etapa, de los procedimientos para la ejecución.

Aparte de conocer los procedimientos de operación de las calderas, es importante que el operador de caldera conozca a fondo sus partes principales. El conocimiento de la ubicación de cada una de estas partes, sus detalles principales de construcción, su función, etc., le permitirán un mejor manejo del equipo.

La operación de los equipos de producción de vapor varía dependiendo del tipo de sistema, su combustible y aplicación.

1. GENERALIDADES

1.1. Descripción de la empresa

1.1.1. Reseña histórica de la empresa

Palo Gordo, una hacienda de 17 caballerías ubicada cerca del municipio de San Antonio Suchitepéquez, fue adquirido en 1929 por la *Central American Plantations Corporation* (CAPCO), un complejo de fincas cafetaleras de propietarios alemanes, inscrito en Delaware, Estados Unidos.

La CAPCO comenzó a cultivar caña de azúcar en Palo Gordo, donde los anteriores propietarios habían adquirido maquinaria antigua para hacer azúcar de la finca Chicolá, e instaló un ingenio para moler mil toneladas de caña diaria, que inició operaciones en 1930.

El nuevo ingenio consistía en un edificio de cuatro pisos, tenía dos turbinas Siemens Schukert, sistema Zelly, cada una de mil caballos de fuerza, y tres grandes calderas con seis hornos. Tenía un quebrador de caña de dos mazas y tres molinos de tres mazas cada uno, construidos por los talleres Krupp, movidos por un motor tipo Corliss. Las calderas, la evaporación y las centrífugas eran de la marca Buka Wolff, y los generadores Ezer Wex.

Al declarar Estados Unidos la guerra a Alemania en diciembre de 1942, este ingenio, de propiedad alemana, pero inscrito en Delaware, fue expropiado y, en 1943 adquirido, como parte de los bienes de la CAPCO, por el Estado de

Guatemala. Luego estuvo bajo la administración del Departamento de Fincas Rústicas Nacionales e Intervenidas.

En la cosecha de 1961 - 1962 se molió 20 000 toneladas de caña propia y 162 957 toneladas de particulares; se producido 342 820 quintales de azúcar de diferentes clases, con un rendimiento de 186 libras por tonelada de caña.

Durante el gobierno de Miguel Ydígoras Fuentes se hizo una revisión de la política agraria para promover el desarrollo del país, y se autorizó la venta en subasta pública de varios bienes del Estado, entre ellos algunos hipotecados en bancos.

El 12 de julio de 1962, el Crédito Hipotecario Nacional puso en remate el ingenio Palo Gordo.

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 entregaban su caña al ingenio. El primer Consejo de Administración estuvo conformado por Alfredo de la Hoz de León, como presidente; Luis González Bauer, como vice presidente; Ing. Adolfo Morales Rodríguez, como gerente director y como directores: Ernesto Antillón Guerrero, Ing. Juan de Dios Aguilar, Miguel Abascal Eizaguirre, Jaime Bonifasi Pratt; Juan José de la Hoz de León, Guillermo Boy Pineda, Emiliano Luengo Martin y, como secretario, el Lic. José Benigno de León Díaz.

El nuevo grupo propietario de ingenio Palo Gordo, ubicado en el kilómetro 142,5 de la carretera CA-2 hacia Mazatenango, inició programas para aumentar su capacidad de molienda y logró una ampliación significativa al introducir mejores molinos, calderas, evaporadores y centrifugas, con lo que el ingenio

continuó creciendo y aumentó su capacidad de molienda a 4 000 toneladas diarias de caña de azúcar.

En 1975, la Empresa Agrícola Industrial Ingenio Palo Gordo adquirió el ingenio Rufina, que estaba en venta en Puerto Rico. Con el equipo obtenido y trasladado a Guatemala, se instaló un nuevo tándem de cinco molinos con mazas de 72 pulgadas, se agregaron cuartas mazas y se amplió la capacidad de molienda a 7 000 toneladas diarias de caña. Asimismo, se adquirió un taller de fundición y pailería con herramienta pesada, con el cual se construyó una buena parte del equipo, sobre todo el de evaporación.

A las puertas del siglo XXI y como proyecto de diversificación, en 1984 se desarrolló la industria del alcohol etílico para usos energéticos y Palo Gordo instaló la primera destilería anexa a un ingenio, con capacidad de 120 000 litros de producción en 24 horas, aprovechando así la industrialización de subproductos. Palo Gordo participó en la creación de la Ley del Alcohol Carburante, anticipándose a su tiempo.

En el área de campo, en 1988 comenzó a trabajar la cosecha con el sistema de corte, alce y transporte a granel, mejor conocido como CAT. Se introdujo tecnología en el control de plagas y enfermedades, incorporando la prohibición total del uso de insecticidas químicos en el cultivo de la caña, se incrementó el uso de riego, se analizaron todos los suelos del área de influencia para implementar la fertilización específica con base en requerimientos de cultivo. La producción de semilla purificada se desarrolló hasta llegar a tener el 100 % de las renovaciones con base en esta semilla y se incrementó en 50 % del área con madurante.

En el año 2 000 se instaló un sistema de clarificación de meladura Tate & Lyle para producir mejor calidad de azúcar y, gradualmente, se procedió a la automatización del ingenio.

En el 2002 se obtuvieron dos molinos nuevos, de seis mazas de 84 pulgadas para la primera y última posición del tándem, para moler con un tándem de seis molinos movidos por turbinas Elliot de 1,000HP, lo cual aumentó la capacidad de molienda a 10 000 toneladas diarias. El aumento significativo en la producción permitió el desarrollo agrícola de la zona.

En la zafra 2003 - 2004 Ingenio Palo Gordo produjo 1 867 000 quintales de azúcar, un crecimiento de 9.33 veces. Desde el inicio de operación de la nueva administración, Ingenio Palo Gordo, preocupado por el bienestar de los trabajadores, mejoró viviendas y construyó una escuela de preprimaria y primaria, donde la educación es gratuita. Se construyó un centro de salud, aplicando con esto los principios de responsabilidad social empresarial.

La empresa está compuesta de aproximadamente 200 accionistas, la mayoría de ellos proveedores de caña. El 56 % aproximadamente de la caña molida proviene de fincas arrendadas por el ingenio y manejadas bajo administración propia. Esto ha beneficiado las áreas cercanas y lejanas, utilizadas antes como tierras de pastura para ganado y otros cultivos. Ingenio Palo Gordo ha sido y es la empresa de mayor capacidad en el departamento de Suchitepéquez, que ha contribuido a mejorar la economía de las zonas de influencia, proporcionando empleos y, como consecuencia, mejores condiciones de vida.

El 2 de febrero de 2012 se inició el proyecto de Cogeneración, lo cual marca un hito en la historia de Ingenio Palo Gordo.

Este proyecto producirá para la zafra 2012 - 2013, un estimado de 2 290 000 KWH de energía eléctrica que serán vendidas a la red nacional de distribución eléctrica.

En la actualidad Ingenio Palo Gordo se ha propuesto producir más de 3 millones de quintales de azúcar para la zafra 2012 - 2013.

Esa producción se logrará gracias al aprovechamiento de 9 965 hectáreas de terreno que incluye área de siembra y semilleros.

Son aproximadamente 4 000 colaboradores en época de zafra y un promedio de 3 000 en prezafra, lo que hace ser la empresa con la mayor fuerza laboral del departamento de Suchitepéquez.

1.1.2. Ubicación de la empresa

La planta de Ingenio Palo Gordo se encuentra ubicada en el kilómetro 142.5 carretera al Pacífico, San Antonio Suchitepéquez.

Figura 1. Ubicación geográfica, Ingenio Palo Gordo S. A.



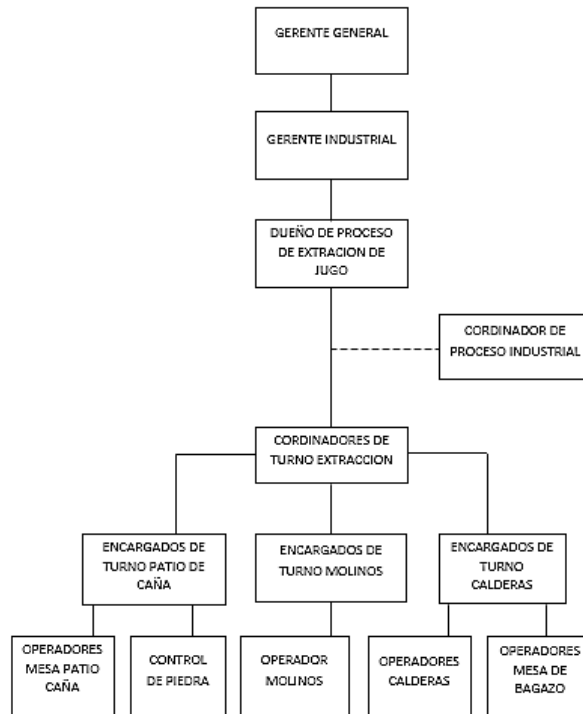
Fuente: Ingenio Palo Gordo, ubicación geográfica, <http://www.tas-seguridad.com/wp-content/uploads/2015/03/ingenio-palo-gordo-guatemala.png>, consulta: 2 de abril de 2015.

1.1.6. Valores

- Rentabilidad con responsabilidad social empresarial y sostenibilidad
- Principios éticos
- Actitud proactiva y optimista
- innovación y promoción del cambio
- Entorno de trabajo agradable seguro y eficaz
- Optimización constante de la calidad de nuestros productos y servicios
- compromiso con la creación de valor para los accionistas

1.1.7. Organigrama de la empresa

Figura 3. Organigrama del área de extracción del Ingenio Palo Gordo



Fuente: elaboración propia.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Consideraciones teóricas sobre calderas acuatubulares

2.1.1. Caldera acuatubular

Una caldera es un recipiente cerrado a presión en el que se calienta un fluido para utilizarlo por aplicación directa del calor, resultante de la combustión de una materia combustible (sólida, líquida o gaseosa) o por utilización de energía eléctrica o nuclear. Además, se puede decir que una caldera de vapor, es un recipiente cerrado en el cual se genera vapor de agua o de otro fluido para su uso externo. Una caldera es un aparato de transferencia térmica que convierte un combustible (fósil, bagazo, gas, eléctrica o nuclear) a través de un medio de trabajo.

Las calderas acuatubulares son aquellas que por el interior de los tubos circula agua o vapor, y los gases calientes se hallan en contacto con la superficie externa de aquellos. Su uso es casi exclusivo para obtener elevadas presiones y rendimientos.

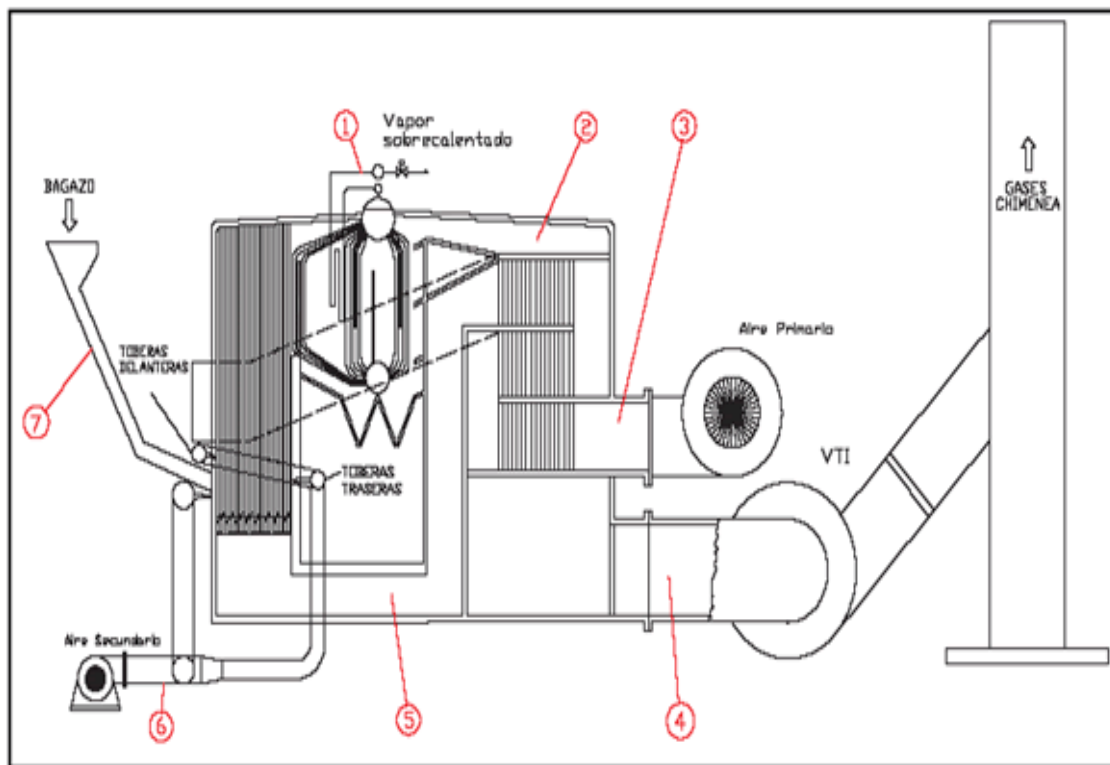
2.1.2. Objetivos perseguidos al construir una caldera acuatubular

- Coste reducido
- Forma simple de los tubos
- Compacidad (densidad, macidez, aglutinación)
- Accesibilidad

- Transmisión eficiente de calor
- Buena circulación
- Elevada capacidad de producción de vapor

2.1.3. Componentes de la caldera acuatubular industrial

Figura 4. Esquema de la caldera acuatubular



Fuente: GUZMÁN, Roberto. Curso plantas de vapor, calderas acuatubulares. consulta: 2 de abril de 2015.

- 1) Salida de vapor de la caldera
- 2) Entrada de los gases al precalentador de aire
- 3) Entrada del aire primario (frío) para la combustión

- 4) Salida de los gases del precalentador de aire
- 5) Salida del aire primario (caliente) para la combustión
- 6) Entrada del aire secundario
- 7) Entrada de bagazo

2.1.4. Combustibles disponibles para calderas

Al describir el concepto de combustible se puede definir como toda sustancia que emite o desprende energía por combustión controlada (energía química) o excisión nuclear (energía nuclear), capaz de plasmar su contenido energético en trabajo. O también definir como cualquier sustancia capaz de arder en determinadas condiciones (necesitará un comburente y una energía de activación).

Existen varias opciones para el consumo de combustible auxiliar en el período fuera de zafra, algunas ya aplicadas en algunos países y otras en etapas de estudio. En general las posibles variantes son: los residuos agrícolas de caña, que incluyen las hojas y puntas, además de la paja de caña.

- El carbón mineral
- La madera de forestas energéticas

La opción de carbón mineral ya es aplicada en Guatemala para la cogeneración, donde ya se desarrolló la tecnología para la quema alternada de bagazo y carbón mineral en las calderas. La posibilidad de la madera del eucalipto proveniente de las florestas energéticas, como combustibles en centrales azucareras en la época de fuera de zafra.

2.1.4.1. Características de los combustibles

La gran variedad de diseños de unidades de generación termoeléctrica está asociada principalmente a los combustibles utilizados, los que comprenden una gran gama de recursos energéticos primarios no renovables y renovables. Los combustibles fósiles, provenientes del petróleo, carbón mineral, gas natural; así como los nucleares, uranio y plutonio, son clasificados como fuente primaria no renovable debido al enorme tiempo necesario para su reposición por la naturaleza.

Entre los combustibles más utilizados en la generación de vapor se tiene:

- gaseosos: (peso gaseoso, composición química, contenidos inertes, poder calorífico, inflamabilidad, velocidad de propagación de la llama, contenido de azufre, humedad) entre estos se tiene: gas natural, propano, crudo de castilla.
- líquidos: (densidad, viscosidad, punto de inflamación, punto de burbuja, desprendimiento de volátiles, poder calorífico, contenido de agua libre, composición química, contenido de metales, vanadio, contenido de azufre y otros), velocidad de propagación de la llama, entre estos se tiene: fuel oil núm. 6, acpm-fuel oil núm. 2, kerosén-fuel oil núm. 1.
- sólidos: forma física, densidad, contenido de humedad, composición de volátiles, composición química, poder calorífico, límites de explosividad, tiempo de combustión, contenido de cenizas, contenido de azufre, entre estos se tiene: cascarilla de arroz, bagazo de caña (biomasa), carbón, aserrín, basuras.

2.1.4.1.1. Importancia de la elección de un buen combustible en calderas

- Los combustibles están caracterizados por un poder calorífico (cantidad de kilocalorías/ kilo que suministran al quemarse), un grado de humedad y unos porcentajes de materias volátiles y de cenizas.
- Esto datos son de gran utilidad para determinar las condiciones prácticas de la combustión, pero no son suficientes para estudiar el mecanismo de las diferentes combinaciones químicas.
- El análisis químico es el que permite distinguir los diferentes elementos (puros) que constituyen el combustible.

Estos elementos se pueden clasificar en dos grandes categorías:

- Elementos activos, es decir: combinables químicamente con el comburente, cediendo calor. son el carbono, hidrógeno, azufre, etcétera.
- Elementos inertes, que no se combinan con el comburente y que pasarán como tales a los residuos de la combustión. son el agua, nitrógeno, cenizas, etc.

El objeto de la combustión, en referencia a los hogares, es el de proporcionar una producción de calor uniforme y regulada para ser transmitida un medio que la absorba. Una de las cuestiones más importantes es la de suministrar una cantidad exacta de oxígeno por unidad de peso del combustible para que se realice la combustión completa.

Además de la exactitud correcta de la mezcla de aire y combustible, se debe dar el tiempo necesario para que la mezcla sea íntima para que el combustible arda completamente; la temperatura del hogar debe ser tal que mantenga la combustión. La mejor manera de estudiar la combustión en un hogar consiste en relacionar la directamente con el análisis del combustible usado, para el cálculo de la cantidad necesaria de aire y de 103 productos gaseosos formados.

2.1.5. Propiedades térmicas del bagazo de caña de azúcar = biomasa

Por cada cien toneladas de Caña que llega a la fábrica se deja en el capo alrededor de cuarenta toneladas de biomasa; de las cien toneladas de caña se obtienen alrededor de 28 toneladas de bagazo; por cada toneladas de bagazo se puede producir entre 2,0 y 2,3 toneladas de vapor, la producción de energía eléctrica y potencia mecánica a partir del vapor, depende exclusivamente de la eficiencia de las turbo máquinas.

Existen proyectos en curso para generación de energía eléctrica a partir de la biomasa disponible en el campo.

Existen estudios tendientes a la gasificación de la biomasa para obtención de energía, es una realidad los ingenios cogeneradores que han convertido la energía eléctrica en un subproducto de la caña de azúcar, esto a partir del bagazo.

2.1.5.1. Poder calorífico del bagazo de la caña de azúcar

A medida que cualquier combustible es más puro, su poder calorífico también. Esto depende de variables tales como: humedad, cenizas y brix (cantidad de sólidos contenidos en una determinada sustancia). La ecuación propuesta por Peter Rein para determinar el valor del poder calorífico superior viene dado por la siguiente expresión:

- $PCS = [19\ 605 - 196,05(\%H) - 196,05(\%Z) - 31,14(\%Brix)] \text{ kJ/k}$
 - PCS = poder calorífico superior.
 - %H = porcentaje de humedad.
 - %Z = porcentaje de cenizas %.
 - Brix = porcentaje de sólidos contenidos en el bagazo (materia extraña).

Regularmente, el valor del poder calorífico superior no es utilizado ya que hace salvedad a la energía que se obtiene en el proceso de combustión, tomando en cuenta que se utilizará el calor latente producto de esta reacción, es decir, que se dé la condensación del vapor contenido en los gases de combustión. Por lo tanto, la ecuación para efectuar el cálculo de la energía generada sin tomar en cuenta que se utiliza el calor latente, es:

- $PCI = [18\ 309 - 207,6(\%H) - 196,05(\%Z) - 31,14(\%Brix)] \text{ kJ/kg}$
 - PCI = poder calorífico inferior

2.1.6. Propiedades térmicas del agua de alimentación

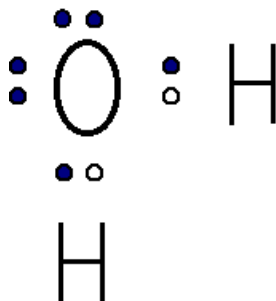
El agua (H₂O) está presente en la atmósfera en sus tres estados básicos: vapor de agua, líquido y hielo. El agua hierve a baja temperatura de 0 a 100 °C, el 75 % del cuerpo es H₂O. Considerada "fríamente" como una combinación de los elementos químicos hidrógeno (H) y oxígeno (O).

Cada molécula de la sustancia agua está formada por dos átomos de hidrógeno, que son los más pequeños que se encuentran en la naturaleza, y uno de oxígeno. Lo que diferencia a los átomos de cada elemento es la cantidad de neutrones, protones y electrones que poseen. Y lo que importa en cuanto a las uniones químicas, son los electrones externos.

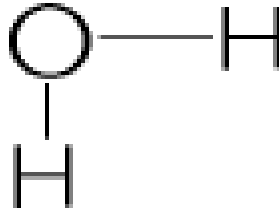
En el átomo de hidrógeno hay un solo electrón, y el de oxígeno posee 8, de los cuales 6 son externos. Esto se representa así (diagrama de Lewis):



La molécula de agua estaría representada así:



La unión covalente simple, se representa con una línea:



Y se llama fórmula desarrollada. H_2O es la fórmula molecular.

Entre las propiedades del agua se pueden mencionar:

- No posee color (incoloro), no tiene olor (inodoro) y tampoco algún sabor (insípido).
- Este líquido tiene densidad, que es la relación de la masa entre el volumen. De ahí que un kilo de agua ocupa el volumen de un litro.
- Al igual que el aire, el agua tiene una fuerza con la que empuja, esto se llama presión.
- El agua por sí misma no posee una forma definida, por eso es que toma la forma del recipiente que la contiene.
- La temperatura y la presión atmosférica determinan los diferentes estados del agua. Así, a una temperatura de $0^{\circ} C$ se produce la congelación y el agua se convierte en hielo. En cambio, a una temperatura de $100^{\circ} C$, el líquido se transforma en vapor, este proceso se llama ebullición.

- La superficie del agua tiene una posición horizontal.
- El agua posee una tensión superficial producida por la fuerte unión entre moléculas. Ejemplo de la tensión superficial: Se tira una aguja engrasada al agua, esta no tendrá superficie peso como para romper la tensión de las moléculas en la superficie del agua, por eso la aguja flotará.
- El agua es el medio donde se disuelven casi todas las sustancias y se producen muchas reacciones químicas.
- Dependiendo de la temperatura y la presión, el agua cambia muy fácilmente de un estado al otro. Puede aparecer como un líquido que fluye, o un gas que sube por la atmósfera o un sólido quieto guardado en el refrigerador.

Tabla I. **Propiedades del agua**

HIDRURO	"PESO" MOLECULAR	PUNTO DE FUSIÓN	PUNTO DE EBULLICIÓN
H ₂ O	18	0 °C	100 °C

Fuente: elaboración propia.

2.1.7. Tratamiento de agua para calderas

Aguas para calderas se refiere aquellas aguas de cualquier procedencia que pueden utilizarse con ventaja y seguridad para alimentar calderas.

El agua en general procede de ríos, lagos, pozos, y agua de lluvia. Para los efectos de alimentación de generadores de vapor y fines industriales en general tienen primordial importancia los ríos y pozos. Por la misma índole de su procedencia no se puede evitar que arrastre y disuelva impurezas que la hacen inapta para el consumo humano y también industrial. El agua obtenida de ríos, pozos y lagos es denominada agua bruta y no debe utilizarse directamente en una caldera.

2.1.7.1. Desaireadores

Son aquellos dispositivos mecánicos empleados para calentar agua de alimentación y liberar los gases contenidos en el agua de alimentación para la caldera (aire, oxígeno, anhídrido carbónico y otros gases).

Su funcionamiento consiste en dividir el agua de alimentación en finas gotitas, calentándolas a continuación, para transformarlas en vapor dentro del desaireador, y separar el aire, anhídrido carbónico y otros gases del vapor a medida que este se va condensando. En los desaireadores el fluido calorífico acostumbra a ser el vapor, a presiones comprendidas entre valores altos, hasta otros inferiores a la presión atmosférica.

2.1.7.2. Tratamiento a la zeolita

Se conocen por zeolitas a los silicatos de sodio y aluminio, bien sean naturales o artificiales; su fórmula general es:



Esta sustancia tiene propiedad de absorber el calcio y magnesio de las aguas que atraviesan, debido a que sus bases son permutables. De esta manera, en el proceso del ablandamiento o rectificación, el sodio de la zeolita pasa a la solución en forma de carbonato, sulfato o cloruro, debido a que el calcio y magnesio del agua son absorbidos por zeolita.

El tratamiento con zeolita produce aguas con contenidos muy bajos de calcio y magnesio. Cuando la zeolita se vuelva inerte se regenera mediante un lavado con salmuera (solución NaCl) para restituir el sodio por intercambio.

Ventajas:

- Reduce un poco la acidez del agua.
- Se requiere una menor cantidad de producto respecto a la arena silica por la porosidad y densidad.
- Posee una mayor superficie y porosidad.
- Produce una mayor claridad en el agua filtrada.
- La zeolita es el medio filtrante más durable (más de 5 años).
- La zeolita solo requiere de un simple retro lavado periódico para mantener su eficiencia y su desempeño.
- La zeolita tiene una capacidad de flujo 4 veces superior a la de los medios filtrantes convencionales.
- La zeolita Incrementa el flujo en equipos con multimedia y sistemas de gravedad y presión comparado con los filtros de arena.
- Se requieren muy pocos ciclos de retro lavado, logrando un importante ahorro en energía.
- Tiene una mayor capacidad de retención debido a que posee una mayor área superficial.

2.1.7.3. Tratamiento de osmosis inversa

Los sistemas de osmosis inversa se utilizan para purificar el agua, retirar y eliminar las sales y otras impurezas del agua. Este proceso es capaz de eliminar bacterias, azúcares, proteínas, partículas, colorantes y otros constituyentes disueltos.

La osmosis inversa es un proceso inventado por el hombre que invierte el fenómeno natural de osmosis.

El objetivo de la osmosis inversa es obtener agua purificada partiendo de un caudal de agua que está relativamente impura o salada. Esto se logra separar de este caudal de agua contaminada con sales, un caudal menor de agua pura. En este proceso se aplica presión a la solución que tiene más alta concentración de sales para forzar un caudal inverso a través de la membrana semipermeable.

Una membrana semipermeable es cualquier membrana animal, vegetal o sintética en que el agua puede penetrar y traspasar con mucha facilidad que los otros componentes que se encuentran en solución en ella.

2.1.7.4. Los fines principales perseguidos con el tratamiento del agua de alimentación

- Un buen tratamiento de agua para la alimentación de la caldera que produce 200 000 lb-vapor/hr.
- Quitar las materias solubles y en suspensión.
- Eliminación de los gases.

- Evitar la formación de incrustaciones sobre las superficies de calentamiento del agua.
- Proteger contra la corrosión los metales de las calderas, recuperadores y tuberías.

2.2. Ahorro energético

Durante los últimos años la reducción de costos de energía en la industria ha sido objeto de cuidadosa atención. Esto se ha venido logrando con la aceptación e incorporación de medidas que permitan implementar proyectos de ahorro y establecer un programa sostenible. Se le propone a la empresa Ingenio Palo Gordo un plan de capacitación al personal, sobre ahorro energético, no solo para evitar gastos innecesarios que se generen por el mal uso de la energía, sino también para que la empresa tenga una operación comprometida con el medioambiente.

2.2.1. Iluminación de oficina técnica del área industrial, Ingenio Palo Gordo S. A.

2.2.1.1. Problemática

Debido a la utilización continua de la iluminación en la oficina técnica del área industrial por parte del personal encargado de velar por el proceso de fabricación de azúcar durante los tres turnos de labores en el día, se detectó que se tenía un alto consumo energético en KW de energía en iluminación, por el uso de bombillos fluorescentes, los cuales tienen un mayor consumo de recurso energético. Ya que el Ingenio Palo Gordo se dedica a la venta de energía eléctrica y utiliza para su consumo su propia producción, se hace el cálculo de ahorro energético con base en el ahorro que el producto de

iluminación proporciona, como es el caso de la utilización de bombillos de menor consumo de KW. Así como también la capacitación al personal involucrado, para generar una cultura de ahorro y así reducir el gasto innecesario de energía.

2.2.1.2. Justificación

Al implementar la propuesta del ahorro energético en la empresa se tiene como objetivo:

- Reducir el consumo de energía eléctrica en la iluminación, en lugar de consumir KW, se ahorrarán y se tendrá una mayor venta de la misma.
- proponer a la empresa Ingenio Palo Gordo un plan de capacitación al personal, para reducir gastos innecesarios y que la empresa tenga una cultura de ahorro energético, comprometida con el medio ambiente.
- Implementar acciones de ahorro de energía.

2.2.1.3. Recomendaciones

Al personal que utilizará el servicio de iluminación:

- Aprovechar la luz natural.
- Mantener limpios los bombillos.
- Apagar las luces cuando no se necesiten.
- Limpiar con frecuencia cada uno de los bombillos y velar por el cuidado de sus instalaciones.
- La eficacia de un bombillo disminuirá con las horas de utilización.

A gerencia industrial:

- tomar en cuenta esta propuesta de ahorro e implementarla en todas las oficinas de la planta donde se utilice iluminación en los tres turnos de trabajo durante el día y la noche.

2.2.1.4. Plan de capacitación al personal

El plan de capacitación implica al personal que utiliza estos servicios e implanta una cultura de eficiencia energética en la empresa mediante formación e información a los trabajadores; esto puede resultar un factor motivador y diferencial en la empresa.

2.2.1.5. Buenas prácticas en el uso de iluminación

- Aprovechamiento de la luz natural: la luz natural se caracteriza porque reproduce muy bien los colores con lo que se evita la fatiga visual y contribuye a la comodidad en el trabajo. Pero no es conveniente la luz diurna como única fuente luminosa para los puestos de trabajo, ya que está sujeta a fuertes variaciones. Por ello es preciso un alumbrado artificial complementario, pensando siempre en el confort. Se debe tomar en cuenta no olvidar que la eficiencia energética en una instalación de alumbrado no tiene que afectar a las prestaciones visuales exigidas y al confort de trabajo.
- Cómo seleccionar el tipo de iluminación: al elegir el tipo de bombillo de iluminación es necesario conocer muy bien sus características. Es muy importante seleccionar el bombillo con un consumo que más se acerque

a la exigencia; sea más rentable y consuma menos. En la siguiente tabla se especifican los detalles de los más importantes.

Tabla II. **Tipos y características de iluminación**

Tipo de bombillos	Eficacia (Lm/W)	Vida Útil (horas)	Reproducción Cromática Ra	Gama potencias (W)
Incandescente estándar	10-17	1000	100	15 - 2000
Halógena	16-25	2000	100	20 - 2000
Fluorescente	40 – 104	8000 - 12000	60 - 95	6 - 65
Fluorescente compacta	50 – 87	6000 - 10000	80	5 - 200
Vapor sodio alta presión	80 - 120	8000 - 16000	20	33- 1000
Vapor sodio baja presión	100 - 200	10000	0	18 - 180
Vapor de mercurio	36 – 60	12000- 16000	45	50-400
Vapor mercurio con halogenuros	58-88	5000 - 9000	70- 95	70- 3500
Inducción	65-72	60000	80	55 – 85
LED	70 - 100	50000 - 90000	60- 80	3-100

Fuente: elaboración propia.

- Recordar: medir el nivel de iluminación con un luxómetro.
- Mantenimiento de luminarias: la eficacia de un bombillo disminuye con las horas de utilización. Limpiar con frecuencia sus luminarias y cuidar de sus instalaciones.

Plan de actividades a realizar por personal de la oficina técnica:

- Apagado de luces cuando no se necesiten.

- Limpieza con frecuencia de luminarias.
- Sustitución de luminarias que estén en mal estado o tengan un mal funcionamiento.
- Instalación de láminas translúcidas para el aprovechamiento de iluminación natural.
- Señalizaciones para el control de horario de apagado de las luminarias.
- Instalación de apagadores individuales en las áreas de trabajo.

Tabla III. **Plan de capacitación del personal**

No.	Atención	Capacitación	Aspectos relevantes	Duración	Días
1	Personal de oficina técnica	Buenas prácticas en el uso de iluminación	<ul style="list-style-type: none"> • Concientización acerca del recurso • Cómo seleccionar el tipo de iluminación • Beneficios de la utilización de bombillos de bajo gasto energético • Mantenimiento y limpieza de luminarias 	1 hora	2

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.6. Acciones de ahorro de energía

Para obtener un ahorro energético en la iluminación, se propone cambiar, bombillos fluorescentes de mayor consumo energético por bombillos LED de menor consumo.

2.2.1.6.1. Ahorro energético y costo mensual con la utilización de bombillos LED

Para conocer cuánto de ahorro se ha logrado con la utilización de bombillos LED de 40W y la sustitución de bombillos fluorescentes de 105W. Se

calculará tomando como referencia el consumo de energía en KW de cada tipo de bombillo. A continuación se detalla paso a paso el cálculo de consumo de energía eléctrica en KW y su costo, utilizando datos de fabricación, costo de bombillo y tarifas vigentes de costos de energía de la empresa eléctrica ENERGUATE la cual brinda el servicio en la región, para tener una idea del gasto innecesario de costos, que se podrá reducir.

Costos de energía actuales: las tarifas dependen únicamente del nivel de tensión (MT, BT) en que está conectado el usuario, y si se consume en punta o fuera de punta, no en función del uso final de la energía. En ese sentido se clasifican en tres categorías.

Tabla IV. **Clasificación de tarifas de energía eléctrica**

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	DEMANDA DE POTENCIA	TIPO DE TARIFA APLICADA
A	Usuarios con servicio en baja tensión	Menor o igual a once kilovatios (kW)	Baja tensión simple (BTS); baja tensión simple social (BTSS).
B	Usuarios con servicio en baja o media tensión	Mayor de 11 kilovatios (kW)	Baja tensión con demanda en punta (BTDP), Baja tensión con demanda fuera de punta (BTDFP), Baja tensión horaria (BTH), Media tensión con demanda en punta (MTDP), Media tensión con demanda fuera de Punta (MTDFP), Media tensión horaria (MTH).
C	Usuarios con servicio en baja o media tensión que cumplan con los requisitos establecidos en la legislación vigente para obtener la calidad de gran usuario		En este caso las condiciones de suministro (potencia y energía) son pactadas con el distribuidor o cualquier otro suministrador (comercializador). No tiene tarifa máxima. Solamente se le define un pago máximo por el uso de la red, denominado peaje en función de transportista.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Tarifas vigentes de energía eléctrica*.
<http://www.cnee.gob.gt/xhtml/usuario/Categorias%20Tarifarias.html>, Consulta: 04 de octubre de 2015.

Tabla V. **Costos vigentes de energía eléctrica**

BTS	Unidad	Sin IVA	Con IVA
Cargo fijo	Q./Suminis-Mes	16.049017	17.97
Cargo por energía	Q/kWh	1.697580	1.90
Tarifa social	Unidad	Sin IVA	Con IVA
Cargo fijo Q/Ciente	Q./Suminis-Mes	16.049017	17.97
Cargo por energía Q/kWh de 0 a 60	Q/kWh	0.50	0.56
Cargo por energía Q/kWh de 61 a 88	Q/kWh	0.75	0.84
Cargo por energía Q/kWh de 89 a 100	Q/kWh	0.99	1.11
Cargo por energía Q/kWh de 101 a 300	Q/kWh	1.799682	2.02
BTDp	Unidad	Sin IVA	Con IVA
Cargo fijo	Q./Suminis-Mes	722.126849	808.78
Cargo por energía	Q/kWh	0.976987	1.09
Potencia contratada	Q/kW-Mes	69.576265	77.93
Potencia máxima en punta	Q/kW-Mes	45.126618	50.54
BTDfp	Unidad	Sin IVA	Con IVA
Cargo fijo	Q./Suminis-Mes	722.126849	808.78
Cargo por energía	Q/kWh	0.974938	1.09
Potencia contratada	Q/kW-Mes	57.345737	64.23
Potencia máxima fuera de punta	Q/kW-Mes	32.155380	36.01
BTH	Unidad	Sin IVA	Con IVA
Cargo fijo	Q./Suminis-Mes	722.126849	808.78
Cargo por energía en punta	Q/kWh	0.976141	1.09
Cargo por energía en intermedia	Q/kWh	0.955064	1.07
Cargo por energía en valle	Q/kWh	1.019464	1.14
Potencia contratada	Q/kW-Mes	97.744453	109.47
Potencia en punta	Q/kW-Mes	32.930871	36.88
B2P	Unidad	Sin IVA	Con IVA
Cargo por peaje	Q/kW-Mes	159.193036	178.30
TP2	Unidad	Sin IVA	Con IVA
Consumo de energía	Q/kWh	1.650113	1.85

Fuente: ENERGUATE. *Costos vigentes de energía eléctrica*. <http://energuate.com/tarifas-vigentes>. Consulta: 02 de noviembre de 2015.

Figura 5. Costo de bombillos fluorescentes y bombillos LED

CELASA DE TODO EN ELECTRICIDAD

VENTAS: 1741
OFICINAS CENTRALES
2270-7777
www.celasa.com.gt
ventas@celasa.com.gt

PROFORMA No. 1488789
FECHA: 21/05/2015

NOMBRE: DELVIN HERNANDEZ
DIRECCION: MAZATE
NIT: C.F.

OBRA: CEL 48293436
VALIDEZ OFERTA: 9 DÍAS
FORMA PAGO: EFECTIVO
FORMA ENTREGA:

CODIGO	CANTIDAD	CATALOGO	DESCRIPCION MERCADERIAS	PRECIO UNITARIO	TOTAL
B0199	15	LT-8M/40W-W	BOMBILLA LED 40W MV DL ROSCA MEDIANA/MOBUL 'LIGHT-TEC'	149.2500	2,238.75
B0015	15	EU105W/65K	BOMBILLA AHORRADORA ESPIRAL 105W DL 'SYLVANIA'	86.7500	1,301.25
TRES MIL QUINIENTOS CUARENTA QUETZALES EXACTOS					
JOSE ALVAREZ / MAZATE/77747444			AUTORIZADO POR:		TOTAL 3,540.00

* Precios incluyen IVA • Precios sujetos a cambio sin previo aviso. • Materiales sujetos a previa venta. • Si paga con cheque emitirlo a nombre de Celasa Ingeniería y Equipos, S.A.

Fuente: CELASA.

2.2.1.6.2. Cálculos de ahorro energético

- Iluminación actual: se utilizan 15 bombillos fluorescentes de 105W.
- Horas de uso al día: 24 horas, 275 días al año aproximadamente.
- Sustitución: se cambiarán por 15 bombillos LED 40W.
- Suponiendo una tarifa social con un Cargo por energía Q/kWh de 101 a 300: 1,799682 Q/kWh.
- Consumo mensual actual utilizando bombillos fluorescentes.

- 15 bombillos fluorescentes*105W*24hrs. al día en uso*30 días al mes = 1, 134,000 W*h. al mes/1000 = 1,134 KW-h-mes.
- 1,134 KW-h-mes*1,799682 Q/kWh.=2,041 quetzales al mes .
- Consumo mensual utilizando bombillos LED.
 - 15 LED*40W*24hrs. al día en uso*30 días al mes = 432 000 W-h-mes/1000 = 432 KW-h-mes .
 - 432 KW-h-mes*1,799682 Q/kwh. =777,50 quetzales al mes.
- Ahorro mensual por consumo de energía eléctrica.
 - Consumo con bombillos fluorescentes – consumo con bombillos LED 2,041 quetzales al mes – 777,5 quetzales = 1 263,50 quetzales al mes.
- Porcentaje de ahorro en energía eléctrica.
 - Ahorro mensual*100/ Consumo mensual bombillos fluorescentes = % $1\ 263,5*100 / 2,041 = 62$ % de ahorro en energía eléctrica consumida al mes.
- Calcular el núm. de veces que hay que reemplazar bombillos fluorescentes en el tiempo de vida estimado de los LEDs.
 - Vida útil de las lámparas halógenas = 8 000 horas.
 - Vida útil de bombillos LED = 50 000 horas.

- 1 bombillo fluorescente de 105W tiene una duración estimada de 8 000 horas y un bombillo LED de 40 W unas 50 000 horas. Es decir, 6 veces más aproximadamente que los bombillos fluorescentes.
 - Uso de la iluminación = 24 hrs. en uso al día*275 días al año = 6 600 horas en uso al año.
 - bombillo fluorescente = 8 000 hrs de vida / 6 600hrs. en uso al año = 1,21 años aprox. de vida en uso.
 - bombillo LED = 50 000 hrs. de vida / 6 600 hrs. en uso al año = 7 años aprox. de vida en uso.
 - Esto significa que para cuando haya que reemplazar los bombillos LED, a los 7 años, se ha tenido que reemplazar 6 veces los bombillos fluorescentes.
- Gasto en mantenimiento de bombillos fluorescentes, durante los años de vida de los bombillos LED.
 - Costo de una bombillo fluorescente de 105W = 86,75 quetzales.
 - En 7 años aprox. nos habremos gastado en mantenimiento = 6 veces reemplazados*15 bombillos fluorescentes*86,75 quetzales = 7 807,50 quetzales.
 - Esto significa que si utilizamos bombillos LED, en 7 años tendríamos un ahorro de 7 807,50 quetzales al año en mantenimiento de bombillos fluorescentes.
- Tiempo de amortización de la inversión.
 - Costo le bombillo LED = 149,25 quetzales.

- Costo de inversión = 15 lámparas LED*149,25 quetzales = 2 238,75 quetzales.
- Ahorro anual en consumo = ahorro mensual*12 meses
Q. 1 263,50 ahorro mensual*12 meses = 15 162 quetzales al año
- Ahorro anual estimado en mantenimiento = ahorro en mantenimiento en 7 años / 7 años. Q. 7 807,50 de ahorro/ 7 años = 1 115,40 quetzales al año.
- Ahorro anual estimado al utilizar LEDs = ahorro anual en consumo + ahorro anual estimado en mantenimiento.
- Q. 15 162 + 1 115,40 = 16 277,40 quetzales al año.
- Tiempo amortización en años = Costo inversión / ahorro anual estimado = Q. 2 238,75 / 16 277,40 = 0,14 años.
- = 0,14 años*365 días/ 1 años= 51 días aprox.*1 mes/30 días= 1,7 meses
- Es decir, en poco menos de un año está amortizada la inversión. Si las horas de encendido al día fueran más, el tiempo de amortización se reduciría proporcionalmente.

Tabla VI. **Costo mensual con la utilización de bombillos LED**

Equivalencia en LED bombillos fluorescentes de 105W	Consumo mensual en 15 unidades de fluorescentes al mes	Consumo mensual en 15 unidades de LED al mes	Ahorro por consumo al mes	Porcentaje de ahorro por consumo mensual	Tiempo de amortización en años
bombillos LED de 40W	Q. 2 041	Q. 777,50	Q. 1 263,50	62 %	0,14

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Beneficios del ahorro de energía y la eficiencia energética en la empresa

- Nueva cultura del ahorro en la empresa: la implicación del personal en el uso eficiente de la energía puede resultar un factor motivador y diferencial en la empresa.
- Concienciación de los trabajadores: implanta una cultura de la eficiencia energética en la empresa mediante formación e información a los trabajadores.
- Mejora de la competitividad: la reducción de la cantidad de energía consumida para la generación de productos y servicios finales obtenidos, como la iluminación dentro de la empresa, y la mayor cantidad de energía vendida favorece la competitividad de la empresa.

3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

3.1. Operaciones fundamentales

Aunque el equipo sea de última tecnología, los principios básicos de operación siguen siendo los mismos. Para tener un adecuado control de la operación de una caldera es necesario conocer los factores que determinan su estado. Estos factores son principalmente: flujos de combustible, aire, agua, vapor, presiones, temperaturas.

3.1.1. Combustión segura

- Antes de encender la unidad no debe haber residuos de combustible en su interior.
- Se debe remover este material para evitar el encendido del equipo.
- Se debe mantener una correcta relación aire/combustible para evitar la formación de bolsas de gas que puedan ocasionar una explosión.

3.1.2. control del agua de alimentación

Su objetivo es igualar el flujo de agua de alimentación con el flujo de vapor, manteniendo un nivel estable en el tambor de vapor durante cargas bajas, altas, o con cambios rápidos, tomando como referencia la producción de vapor y el nivel del tambor.

3.1.3. Operaciones iniciales de puesta en marcha

- Requisitos del operador
- Preparativos para el arranque

3.1.3.1. Requisitos del operador

- Estar capacitados para entender la responsabilidad adquirida de velar por la seguridad de todo el personal involucrado y la del equipo.
- Estar preparado para todas las situaciones que puedan surgir.
- Tener un completo conocimiento de todos los componentes, diseño, funciones y limitaciones.

3.1.3.2. Preparativos para el arranque

El procedimiento varía según el diseño de la caldera; sin embargo, ciertos pasos son necesarios para todas las calderas. Los pasos pueden ser clasificados como:

- Inspección
- Limpieza
- Prueba hidrostática
- Calibración previa de instrumentos y controles
- Preparación de los equipos auxiliares
- Limpieza química
- Limpieza a vapor de línea (soplar)
- Pruebas de las válvulas de seguridad

3.1.3.2.1. Inspección

La inspección de la caldera y del equipo auxiliar tiene como propósito:

- Familiarizar al operador con el equipo
- Verificar las condiciones del equipo

3.1.3.2.2. Limpieza

- Se debe remover cualquier material extraño que se acumule durante el transporte, almacenamiento, montaje o reparación.
- La suciedad en el agua puede restringir la circulación o tapan las líneas de drenaje.
- Eliminar los residuos de combustible. El material combustible puede encenderse y quemar a un ritmo incontrolable y causar daños considerables.

3.1.3.2.3. Prueba hidrostática

La prueba consiste en aumentar la presión de la caldera hasta 1,5 veces la presión de diseño y se mantiene durante un tiempo suficiente para detectar posibles fugas. Se realiza en el circuito agua-vapor de la caldera y comprende: el tambor de vapor, tambor de lodos, los colectores y las tuberías que conectan los tambores.

3.1.3.2.4. Procedimiento

- Verificar que la caldera esté totalmente desocupada, que los drenajes y los venteos de la caldera y el sobrecalentador estén abiertos.

- Instalar ciegos en todas las líneas que llegan o salen del domo superior y en las bridas de las válvulas de seguridad.
- Llenar el sobrecalentador con condensado o agua fría para protegerlo de la corrosión.
- Llenar la caldera con agua fría, a través de la línea de extracción, manteniendo abierto el venteo del tambor de vapor para desalojar el aire.
- Dejar que la caldera ventee durante 15 minutos o hasta que el chorro de agua sea continuo. cerrar el venteo del tambor de vapor.
- Observar la lectura de presión en el manómetro para saber cuál es la presión del sistema de alimentación, cierre el suministro de agua.
- Presurizar la caldera conectando a la línea de extracción la bomba auxiliar diseñada para la prueba hidrostática, hasta lograr la presión de prueba. (1,5 veces la presión de diseño).
- Verificar si el indicador de presión mantiene la presión de prueba. si esto no sucede, revisar bridas, colectores, escotillas del tambor de vapor, tubería interior del hogar.
- Si después de una 1 hora la presión de prueba se sostiene, en el cuarto de control de equipos se verifica el estado de la caldera y se da el visto bueno.
- Desocupar la caldera por el drenaje del tambor de lodos y haga retirar los ciegos instalados para la prueba.

3.1.3.2.5. Instrumentación y controles

Toda caldera debe tener por lo menos dos instrumentos de medición:

- Un medidor de presión de vapor
- Un indicador de nivel de agua

Los niveles de presión, flujo de vapor y temperatura deben estar dentro de los límites de diseño. Por lo tanto, el equipo no se debe operar hasta estar seguros que estos instrumentos se encuentran debidamente calibrados.

3.1.3.2.6. Equipos auxiliares

El equipo auxiliar también debe estar preparado para la operación.

Este equipo incluye:

- Ventiladores
- Bombas de alimentación de agua
- Economizadores
- Deshollinadores
- Sistema de drenaje
- Sobrecalentador

3.1.3.2.7. Limpieza química

- Las impurezas presentes en el agua pueden hacer fallar los tubos de la caldera.
- Pueden conducir a arrastre de sólidos en el vapor.

- El uso de agua de alta calidad para la prueba hidrostática.
- Los disolventes utilizados para la limpieza ácida son variados: ácido clorhídrico y ácido fosfórico. El proceso usual es llenar la caldera hasta que la solución rebose por el venteo (el ácido se añade desde el exterior a la caldera).

3.1.3.2.8. Soplado de vapor

- Se debe soplar la línea de vapor para limpiarla de cualquier incrustación disuelta o material extraño antes de ser acoplada a la turbina.
- Existen varios métodos para el soplado de la tubería de vapor, pero el soplado con vapor ha demostrado ser el medio más eficaz para eliminar la materia disuelta.
- Se utiliza para la limpieza de las deposiciones de ceniza en las superficies de transferencia de calor.

3.1.3.2.9. Válvulas de seguridad

Las válvulas de seguridad son esenciales para la operación segura de cualquier recipiente a presión, lo que permite liberar adecuadamente el exceso de presión durante las condiciones anormales de operación.

Se deben mantener calibradas. Se debe verificar que su cierre y apertura está dentro de un rango establecido.

- **Procedimiento**
 - Esperar que se obtenga la condición de presión de operación.

- Asegurarse que la válvula de pie esté cerrada y que el venteo del sobrecalentador esté abierto.
- Colocar la grapa o mordaza a la válvula, dejando libre la válvula de más alta presión de disparo.
- Incrementar gradualmente la presión en la caldera prentiendo un quemador.
- Disparar manualmente cada válvula para desalojar materias extrañas, este disparo debe hacerse durante no más de 10 segundos.
- Controlar el nivel del agua en un 50 %.
- Para ajustar el disparo, aflojar la contra tuerca y gire la tuerca de ajuste para disminuir la presión del resorte. cuando la tuerca de ajuste se gira a la derecha la tensión sobre el resorte aumenta y la presión de disparo sube.
- Permitir que la presión descienda hasta un nivel de operación y proceda a retirar la grapa a la siguiente válvula en orden descendente.
- Repetir el procedimiento dado en los puntos o incisos anteriormente mencionados.
- Una vez finalizada la prueba, la caldera queda en condiciones de ser puesta en línea.

Figura 6. **Calibración de válvulas de seguridad de la caldera No. 8**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Procedimientos de operación de la caldera 8

3.2.1. Propósito

Establecer los pasos a seguir para lograr la adecuada operación de la caldera de 400 psi denominada caldera núm. 8, en el subproceso de generación de vapor en Ingenio Palo Gordo, S. A.

3.2.2. Distribución

De este documento se distribuirá copia a los siguientes encargados de la siguiente manera:

- una copia al jefe de maquinaria
- una copia al auxiliar de calderas
- una copia al operador de caldera
- una copia al operador de bombas de alimentación

3.2.3. Definiciones

- Caldera acuatubular: en estas calderas los gases de combustión circulan por la parte externa de los tubos, mientras que por su interior lo hace el agua. Una caldera puede describirse como un generador de vapor o como la combinación de equipos para producir o recuperar calor.
- Alimentadores de bagazo: equipos que pueden ser utilizados con velocidades variables para alimentación de bagazo al hogar de la caldera y hacer una combustión de una forma correcta, teniendo una generación de vapor constante.

- Bagazo: residuo de la caña de azúcar de la que se ha extraído el jugo.
- Ventilador de tiro forzado: su función es inyectar un flujo de aire constante al hogar. De esta forma se produce el exceso de aire necesario para asegurar la combustión. El flujo de aire es regulado por medio de un dámper ubicado en la succión y es precalentado por medio de un pre-calentador.
- Ventilador de tiro inducido: su función es extraer los gases de la combustión. Está equipado con motor trifásico o con una turbina de vapor. Los gases, antes de salir a la atmósfera a través de la chimenea, hacen un recorrido por los tubos de agua, siendo aprovechados en el pre-calentador de aire y en el economizador, para luego ser enviados directamente a la atmósfera.
- Ventilador *overfire*: su función es inyectar un flujo de aire constante al hogar y formar turbulencia para que el combustible tenga una buena combustión.
- Domo superior: recipiente cilíndrico horizontal; su función es separar el agua del vapor. Está provisto de espacios para almacenar el vapor y recibir el agua requerida por la caldera; además de ello recibe y distribuye los tubos vaporizadores y de caída.
- Domo inferior: consiste en un recipiente cilíndrico horizontal pero de menor tamaño que el domo superior; recoge el agua de los tubos de caída y redistribuye el agua a los tubos vaporizadores.

- Domo inferior: consiste en un recipiente cilíndrico horizontal pero de menor tamaño que el domo superior; recoge el agua de los tubos de caída y redistribuye el agua a los tubos vaporizadores.
- Dámper: accesorio que está provisto de varias paletas en la succión de los ventiladores; su función es regular el flujo de aire.
- *Scrubber*: sistema para la evacuación y precipitación de sólidos en suspensión por medio de una atomización de agua teniendo como resultado vapor de agua hacia la atmósfera.
- Bomba de alimentación de agua: su función es proporcionar un flujo y presión constante de agua en toda la línea de agua de alimentación de calderas.
- Sobrecalentador: es un equipo que ofrece una superficie de absorción de calor por medio de la cual se eleva la temperatura del vapor por encima de su punto de saturación.
- Economizador: es utilizado para recuperar calor de los gases de la caldera y con ello recalentar el agua de alimentación.

3.2.4. Responsabilidades

3.2.4.1. Jefe de maquinaria

- Asegurar que la operación de las calderas se realice cumpliendo con los parámetros establecidos en este documento.

- Asegurar que el producto entregado (vapor) a la siguiente etapa del proceso cumpla con los parámetros establecidos para lograr un proceso eficiente.
- Mantener vigente y actualizado este documento.

3.2.4.2. Jefe de turno

- Velar por el efectivo cumplimiento de este Instructivo.

3.2.4.3. Auxiliar de calderas

- Supervisar la adecuada ejecución de las instrucciones establecidas en este documento.
- Apoyar al operador de caldera en situaciones en que el proceso o el producto no logre las condiciones o parámetros establecidos.

3.2.4.4. Operador de caldera

- Ejecutar adecuadamente las instrucciones establecidas en el presente Instructivo.

3.2.4.5. Mecánico de turno

- Ejecutar adecuadamente las instrucciones que le competen según lo establecido en el presente instructivo.

3.2.4.6. Aguatero

- Apoyar al operador de caldera en situaciones en que el proceso no logre las condiciones o parámetros establecidos.
- Ejecutar adecuadamente las instrucciones que le competen según lo establecido en el presente instructivo.

3.2.4.7. Operador de bombas de alimentación

- Apoyar al operador de caldera en situaciones en que el proceso no logre las condiciones o parámetros establecidos.
- Ejecutar adecuadamente las instrucciones que le competen según lo establecido en el presente instructivo.

3.2.4.8. Operador del sistema de control

- Apoyar al operador de caldera en situaciones en que el proceso no logre las condiciones o parámetros establecidos.
- Ejecutar adecuadamente las instrucciones que le competen según lo establecido en el presente instructivo.

3.2.4.9. Instrumentista de turno

- Ejecutar adecuadamente las instrucciones que le competen según lo establecido en el presente instructivo.

3.2.4.10. Jefe de control de calidad

- Ejecutar adecuadamente las instrucciones que le competen según lo establecido en el presente instructivo.

3.2.5. Desarrollo

3.2.5.1. Insumos

- Leña
- Bagazo
- Diésel
- Fósforos
- Escoba
- Recogedor de basura

3.2.5.2. Equipo de protección personal (EPP)

- Mascarilla desechable para partículas
- Lentes claros de protección y lentes oscuros de protección
- Casco
- Guantes de cuero
- Mangas de cuero
- Gabachas de cuero
- Zapatos industriales
- Protectores para oídos

3.2.5.3. Equipo de operación

- Caldera acuotubular de 400 psi, denominada núm. 8

3.2.5.4. Ejecución

- Antes de realizar cualquier operación colocarse el equipo de protección personal; cuando deje de utilizarse debe colocarse en el lugar indicado.
- Antes de hacer cualquier operación en la caldera solicitar al operador del sistema de control que verifique si está trabajando correctamente el sistema de control de las calderas, en caso contrario informar al instrumentista de turno.
- Informar al aguatero o auxiliar de calderas sobre cualquier anomalía con los niveles de agua.
- Para la ejecución de las actividades siguientes, consultar, figura 7: diagrama caldera acuotubular, según sea necesario.

3.2.5.5. Parámetros de operación de la caldera

Tabla VII. **Parámetros de operación de la caldera acuotubular**

DESCRIPCION	PARAMETRO	RANGO DE LA ESPECIFICACION
Manómetro de la presión de vapor	Presión	380 - 410 psi
Nivel de agua de alimentación de la caldera	Presión	500 – 600 psi
Bagazo	Humedad	48-50 %
Presión del hogar	Pulgadas de agua	-0,20 a 0,10

Fuente: elaboración propia.

3.2.5.5.1. Arranque de caldera

- Arrancar el *scrubber* de la caldera.
- Verificar de forma visual que el nivel de agua de la caldera esté en $\frac{1}{4}$ del domo superior.
- Verificar de forma manual que la válvula de pie esté cerrada. En caso contrario cerrar la válvula.
- Verificar de forma manual que las válvulas de venteo del domo superior y del cabezal del súper heater estén abiertas. En caso contrario abrir las válvulas.
- Llenar los hornos con algún combustible: leña o bagazo.
- Verificar de forma visual en el drenaje, que el *scrubber* tenga agua para el manejo de cenizas.
- Encender con fósforos y diésel el combustible que se le colocó a los hornos.
- Esperar que el combustible tenga fuego en su totalidad.
- Arrancar el ventilador de tiro inducido.
 - En caso esté trabajando con motor eléctrico, arrancarlo de la siguiente manera:
 - Verificar visualmente que el dámper este cerrado. En caso contrario informar al operador del sistema de control para que lo abra.
 - Pulsar el botón de arranque del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
 - Abrir el dámper del ventilador de tiro inducido.
 - Arrancar el ventilador de tiro forzado de la siguiente manera:
 - Verificar visualmente que el dámper esté cerrado.
 - Pulsar el botón de arranque del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.

- Abrir el d mper del ventilador de tiro forzado.
- Arrancar el ventilador *overfire* de la siguiente manera:
 - Verificar visualmente que el d mper est  cerrado.
 - Pulsar el botón de arranque del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
- Arrancar los alimentadores de bagazo de la siguiente manera:
 - Verificar visualmente que la compuerta de alimentación de bagazo est  cerrada.
 - Pulsar el botón de arranque del sistema eléctrico del motor, ubicada en el panel eléctrico.
 - Abrir manualmente la compuerta de alimentación de bagazo.
- Verificar visualmente que el horno se est  alimentando de bagazo.
- Abrir manualmente las válvulas de venteo de la válvula de pie.
- Cuando se lea en el manómetro 225 a 250 psi, abrir manualmente la válvula de pie de la caldera.
- Cerrar manualmente las válvulas de venteo del domo superior, del cabezal del súper heater y la válvula de pie.

3.2.5.5.2. Operación de la caldera

- Arrancar el *scrubber* de la caldera.
- Verificar visual y periódicamente que el ventilador de tiro Inducido, tiro forzado y *overfire* est n trabajando en condiciones normales. En caso contrario verificar que la presión del hogar est  en el rango establecido de -0,20 a 0,10 pulgadas de agua y anotar el valor.
- Si la presión del hogar no est  en el rango establecido, informar al instrumentista de turno para que revise los instrumentos del d mper de los ventiladores.

- Verificar visual y periódicamente que el dämper de los ventiladores estén trabajando correctamente. En caso contrario informar al auxiliar de calderas y anotar el desperfecto.
- Verificar visual y periódicamente que los alimentadores de bagazo estén trabajando correctamente. En caso contrario informar al auxiliar de calderas y anotar el desperfecto.
- Verificar visual y periódicamente que el manómetro de la presión de vapor esté en el rango establecido de 380 - 410 psi y anotar el valor. En caso contrario hacer lo siguiente:
- Verificar visual y periódicamente el funcionamiento de:
 - Ventiladores
 - Dämpers
 - Alimentadores de bagazo
- Si se detecta algún problema mecánico o eléctrico en el equipo, informar verbalmente al auxiliar de calderas o al mecánico de turno.
- Si las parrillas están sucias realizar la limpieza.
- Solicitar al laboratorio la medición de la humedad del bagazo y anotar. Si el valor está fuera del rango establecido de 48 % – 50 %, informar al auxiliar de calderas para que avise verbalmente al jefe de turno, quien corregirá el problema en el departamento de molinos.
- Verificar visualmente el funcionamiento del sistema de control; si tiene algún desperfecto informar verbalmente al instrumentista de turno o al auxiliar de calderas.
- Anotar cualquier desperfecto y las acciones tomadas.
- Limpiar la parrilla del horno 2 veces por turno de 8 horas, según lo permitan las condiciones de trabajo.
- Hacer la limpieza de tubería interna y de ceniceros 1 vez por turno de 8 horas.

- Leer en la pantalla del sistema de control el valor de la producción de vapor de la caldera cada 2 horas y anotarlo.
- Inspeccionar visualmente toda la estructura y refractario del edificio de la caldera; si tiene rajaduras, desprendimientos, agujeros o cualquier otro desperfecto, informar al auxiliar de calderas y anotar el desperfecto.
- Inspeccionar visualmente las válvulas y deshollinadores; si tienen fuga en la empaquetadura, problemas mecánicos o cualquier otro desperfecto, informar al auxiliar de calderas y anote el desperfecto.
- Realizar la limpieza exterior de la estructura de la caldera de la siguiente manera:
 - Utilizando una escoba limpia y en buen estado, retirar el polvo y suciedad de toda la superficie exterior de la estructura de la caldera.
 - Barrer con la escoba el piso removiendo todo residuo que haya caído al limpiar el exterior de la estructura.
 - Levantar el polvo o residuos con un recogedor de basura y desecharlos en el recipiente para basura más cercano.
 - Anotar la realización de la limpieza.

El jefe de control de calidad verifica periódicamente que la válvula de purga continua esté abierta, para asegurar la extracción de los sólidos en suspensión. En caso contrario ordena al analista que mejoren el control de las purgas continuas.

3.2.5.5.3. Paro de la caldera

- Arrancar el *scrubber* de la caldera.
- Parar los alimentadores de bagazo de la siguiente manera:
 - Cerrar manualmente la compuerta de alimentación de bagazo.

- Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
- Limpiar el horno o parrilla de caldera.
- Parar el ventilador *overfire* de la siguiente manera:
 - Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
 - Cerrar el dámper.
- Parar el ventilador de tiro forzado de la siguiente manera:
 - Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
 - Cerrar el dámper.
- Parar el ventilador de tiro inducido; si es con motor eléctrico hágalo de la siguiente manera:
 - Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
 - Cerrar el dámper.
- Parar el ventilador de tiro inducido.
- Nivelar el agua del domo al 100 % de su capacidad.
- Esperar que la presión de vapor en el manómetro indique 250 psi.
- Cuando lea en el manómetro a 250 psi, cerrar manualmente la válvula de pie de la caldera.
- Abrir manualmente las válvulas de venteos de los domos superiores y el cabezal del súper heater.

3.2.5.5.4. Paro de emergencia de la caldera

- Arrancar el *scrubber* de la caldera.
- Parar los alimentadores de bagazo de la siguiente manera:

- Cerrar manualmente la compuerta de alimentación de bagazo.
- Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicada en el panel eléctrico.
- Parar el ventilador *overfire* de la siguiente manera:
- Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
- Cerrar el dámper
- Parar el ventilador de tiro forzado de la siguiente manera:
 - Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
 - Cerrar el dámper.
- Parar el ventilador de tiro inducido; si es con motor eléctrico debe hacerse de la siguiente manera:
 - El botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
 - Cerrar el dámper.
- Parar el ventilador de tiro inducido.
- Nivelar el agua del domo al 100 % de su capacidad.
- Cerrar manualmente la válvula de pie de la caldera.
- Abrir manualmente las válvulas de venteos de los domos superiores y el cabezal del súperheater.

3.2.5.5.5. Paro de emergencia si el nivel de agua de la caldera baja

- Verificar en el manómetro que la presión en la línea de alimentación de agua para la caldera esté en el rango establecido de 550 – 600 psi; en caso contrario informar al operador de bombas de alimentación o al

auxiliar de calderas para que revisen la operación de las bombas de agua de alimentación y anotar el valor de la presión.

-

Nota: el operador de bombas de alimentación verifica la operación de la bomba, toma la lectura de la presión en el manómetro y anota el valor de la presión del agua de alimentación de las calderas.

- Parar los alimentadores de bagazo de la siguiente manera:
 - Cerrar manualmente la compuerta de alimentación de bagazo.
 - Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicada en el panel eléctrico.
- Parar el ventilador *overfire* de la siguiente manera:
 - Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicada en el panel eléctrico.
 - Cerrar el dámper.
- Parar el ventilador de tiro forzado de la siguiente manera:
 - Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
 - Cerrar el dámper.
- Parar el ventilador de tiro inducido; si es con motor eléctrico hacerlo de la siguiente manera:
 - Pulsar el botón de paro del sistema eléctrico del motor, ubicado en el panel eléctrico.
 - Cerrar el dámper.
- Parar el ventilador de tiro inducido.
- Cerrar manualmente la válvula de pie de la caldera.
- Solicitar al aguatero proceder con la nivelación del agua del domo superior.

Las siguientes actividades son responsabilidad del aguatero:

- Abrir manualmente la válvula de *by-pass* de entrada de agua a la caldera.
- Nivelar el agua del domo al 100 % de su capacidad.
- Cerrar manualmente la válvula de *by-pass* de entrada de agua a la caldera.

3.2.5.5.6. Paro de emergencia si el nivel de agua de la caldera sube

Las siguientes actividades son responsabilidad del aguatero:

- Abrir manualmente las válvulas de purga de la caldera hasta que se restablezca el nivel de agua a $\frac{1}{4}$ de la capacidad del domo superior.
- Al estar el nivel de agua a $\frac{1}{4}$ del domo superior cerrar manualmente las válvulas de purga de la caldera.
- Si el nivel de agua de la caldera sigue subiendo y no puede controlarse, informar al auxiliar de calderas.

3.2.5.5.7. Acciones correctivas

Tabla VIII. Acciones correctivas en la operación de la caldera

Actividad que genera la acción correctiva	Responsable	Acción
Presión de vapor de arriba o abajo de los parámetros establecidos (380 – 410 psi)	Operador de caldera	<ul style="list-style-type: none"> • Si los ventiladores (inducido, forzado y <i>overfire</i>), dámper y alimentadores de bagazo, presentan problemas mecánicos o eléctricos informar al mecánico de turno o al auxiliar de calderas. • Si la humedad del bagazo está fuera del rango 48 % -50 % informar al auxiliar de calderas. • Si las parrillas están sucias realizar la limpieza.

Continuación de la tabla VIII.

Nivel de agua bajo	Aguatero	<ul style="list-style-type: none"> • Si la presión de agua en la línea no está en el rango de 550- 600 psi. Informar al operador de bombas de alimentación o al auxiliar de calderas, para que revisen la operación de las bombas de alimentación.
	Aguatero	<ul style="list-style-type: none"> • Abrir la válvula de <i>by-pass</i> de alimentación de agua. • Nivelar el domo superior al 100 % de su capacidad. • Cerrar la válvula <i>de by-pass</i> de alimentación de agua. • Si persiste el problema informar al auxiliar de calderas.
Nivel de agua alto	Aguatero	<ul style="list-style-type: none"> • Abrir las válvulas de purga de la caldera hasta que el domo superior esté a ¼ de su capacidad. Si el nivel de agua no se puede controlar informar al auxiliar de calderas. • Cerrar las válvulas de purga de la caldera cuando el nivel del domo superior esté a ¼ de su capacidad. • Si el nivel de agua no se puede controlar informar al auxiliar de calderas.
Humedad de bagazo fuera del rango establecido (48 %-50 %)	Auxiliar de calderas	<ul style="list-style-type: none"> • Informar verbalmente al jefe de turno quien corrige el problema en el departamento de molinos.
Presión del hogar -0.20 – 0.10 pulgadas de agua	Operador de caldera	<ul style="list-style-type: none"> • Informar al instrumentista de turno para que revise los instrumentos de medición de los dâmpers de los ventiladores (inducido, forzado y <i>overfire</i>)
Problemas con los instrumentos de la automatización	Operador sistema de control	<ul style="list-style-type: none"> • Informar al Instrumentista de turno para que revise los instrumentos de medición. • Revisar el sistema de control en caso contrario informar al instrumentista de turno.

Fuente: elaboración propia.

3.2.6. Parámetros de seguridad aplicables en el entorno de la caldera

El riesgo principal de los aparatos a presión es la liberación brusca de presión. Para poder ser utilizados debe reunir una serie de características técnicas y de seguridad.

Los operadores encargados de vigilar, supervisar, conducir y mantener los aparatos a presión, deben estar adecuadamente instruidos en el manejo de los equipos y ser conscientes de los riesgos que puede ocasionar una falsa maniobra o un mal mantenimiento.

3.2.7. Ubicación de instrumentos de medición utilizados en la caldera acuatubular de 200 000 lb-vapor/hora

- Transmisor de nivel del domo de la caldera: se encuentra ubicado en la parte izquierda del domo de la caldera haciendo la medición como tomas de señal una de alta y una de baja con una tubería de ½" de alta presión cédula 80 con dos válvulas en las salidas del domo y estas se conectan al transmisor para poder hacer la medición de nivel del domo de la caldera.
- Transmisor de presión vapor: para poder hacer una medición de presión se le soldó una válvula de ½" en salida de presión del domo y después se le hace una instalación con tubería de ½" hacia el transmisor; lo recomendable en este tipo de instalaciones es dejar una válvula de purga para poder hacerle limpieza a la instalación este se encuentra instalado en la salida del vapor por el superheater de la caldera.
- Transmisor de presión hogar: este sirve para hacer la medición del hogar de la caldera y se encuentra ubicado a un costado de la caldera en la parte superior izquierda para hacer la toma de señas para este transmisor se usa un tubo de 2", se incrusta en la pared de la caldera hacia adentro y después se le hace la instalación hacia el transmisor.

- Transmisor de flujo de agua: este se encuentra ubicado en la tubería de agua que alimenta la caldera por medio de una placa de orificio con una toma de alta y una de baja, esta instalación esta hecha con tubería de ½” con válvulas de alta presión, además, lleva un distribuidor para poder anular el transmisor a la hora que se le de mantenimiento al transmisor o hacer una recalibración o un ajuste de cero.
- Transmisor de flujo de vapor: este se encuentra ubicado en la tubería de vapor que alimenta la caldera por medio de una placa de orificio con una toma de alta y una de baja; esta instalación está hecha con tubería de ½” con válvulas de alta presión, además, lleva un distribuidor para poder anular el transmisor a la hora que se le de mantenimiento al transmisor o hacer una recalibración o un ajuste de cero.
- Válvula control agua: esta se encuentra en la tubería de agua que alimenta al domo de la caldera y se encuentra ubica en la parta de lado derecho de la caldera.
- Lever motor tiro inducido: este se encuentra ubicado en la parte de atrás de la caldera y está amarrado con el dámper del ducto de salida de la chimenea.
- Lever motor tiro forzado: este se encuentra ubicado en la parte de atrás de la caldera y está amarrado con el dámper y sirve para meter aire a la parrilla y poder quemar el bagazo.
- Cilindro alimentador de bagazo: este se encuentra dónde están los alimentadores de bagazo y funciona con un motor eléctrico y un sistema hidráulico que por medio de un búster de 1 a 4 miliamperios funciona con

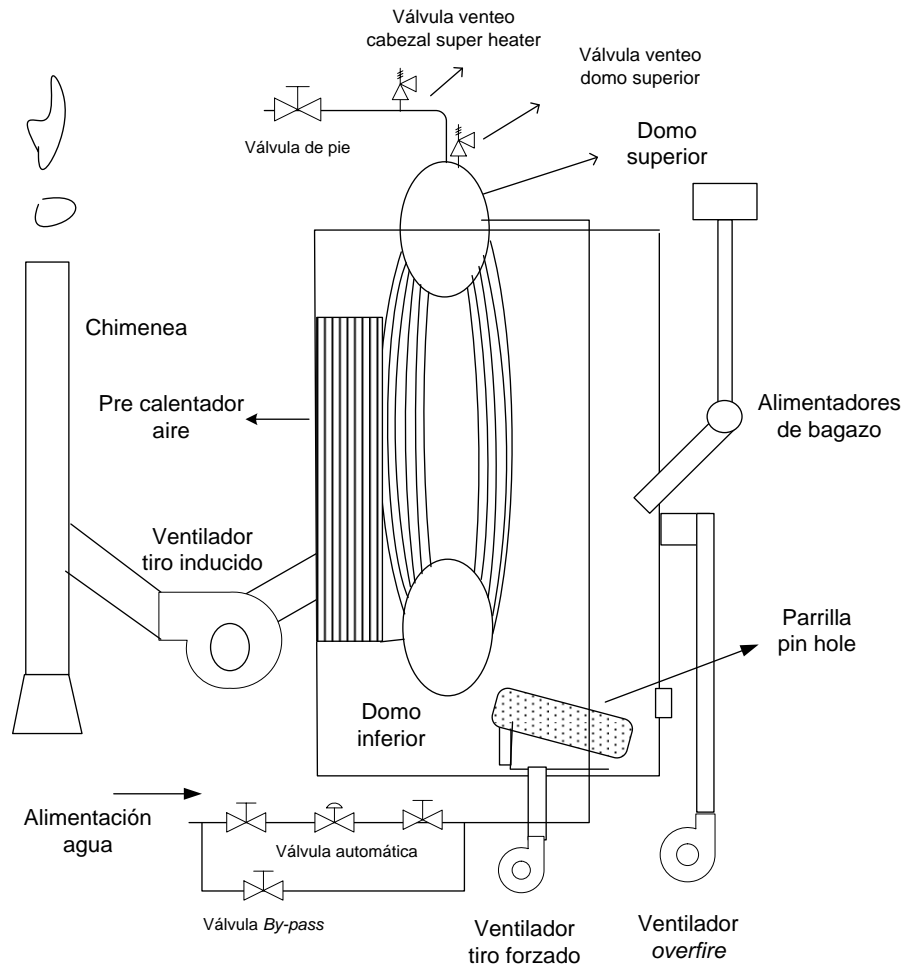
una entrada de 100 psi y con una señal de 3 a 15 psi para dar una salida de 0 a 60 psi y esto hace darle carrera a los alimentadores de bagazo.

3.2.8. Documentos relacionados

Los documentos relacionados con este instructivo son:

- Instructivo IN-AI-12P-03: operación turbinas de vapor.
- Instructivo IN-AI-12P-04: operación scrubber.
- Instructivo IN-AI-12P-05: control de nivel de agua de alimentación de calderas.
- Instructivo IN-AI-12P-06: limpieza de parrillas y hornos de calderas.
- Instructivo IN-AI-12P-07: limpieza de tubería interna y ceniceros de caldera.
- Formato FR-AI-12P-01: control operación de calderas.
- Formato FR-AI-12P-02: control operación de bombas.
- Formato FR-AI-12P-03: control de equipo y accesorios.

Figura 7. Diagrama caldera acuotubular



Fuente: elaboración propia empleando Microsoft Visio.

4. FASE DE DOCENCIA

4.1. Importancia del equipo de protección personal en operación de calderas

- Los EPP comprenden todos aquellos dispositivos, accesorios y vestimentas de diversos diseños que emplea el trabajador para protegerse contra posibles lesiones.
- Los equipos de protección personal (EPP) constituyen uno de los conceptos más básicos en cuanto a la seguridad en el lugar de trabajo y son necesarios cuando los peligros no han podido ser eliminados por completo o controlados por otros medios, por ejemplo: control de operación de calderas y su supervisión.

4.1.1. Requisitos de un equipo de protección personal (E. P. P.)

- Proporcionar máximo confort y su peso debe ser el mínimo compatible con la eficiencia en la protección.
- No debe restringir los movimientos del trabajador.
- Debe ser durable y de ser posible el mantenimiento debe hacerse en la empresa.
- Debe ser construido de acuerdo con las normas de construcción.
- Debe tener una apariencia atractiva.

4.1.2. Clasificación de los E. P. P.

- Protección a la cabeza
- Protección de ojos y cara
- Protección a los oídos
- Protección de las vías respiratorias
- Protección de manos y brazos
- Protección de pies y piernas
- Cinturones de seguridad para trabajo en altura
- Ropa de trabajo
- Ropa protectora

4.1.2.1. Protección a la cabeza

- Los elementos de protección a la cabeza, básicamente se reducen a los cascos de seguridad.
- Los cascos de seguridad proveen protección contra casos de impactos y penetración de objetos que caen sobre la cabeza.
- Los cascos de seguridad también pueden proteger contra choques eléctricos y quemaduras.
- El casco protector no se debe caer de la cabeza durante las actividades de trabajo, para evitar esto puede usarse una correa sujeta a la quijada.
- Es necesario inspeccionarlo periódicamente para detectar rajaduras o daño que pueden reducir el grado de protección ofrecido.

4.1.2.2. Protección de ojos y cara

- Todos los trabajadores que ejecuten cualquier operación que pueda poner en peligro sus ojos, dispondrán de protección apropiada para estos órganos.
- Los anteojos protectores para trabajadores ocupados en operaciones que requieran empleo de sustancias químicas corrosivas o similares, serán fabricados de material blando que se ajuste a la cara, resistente al ataque de dichas sustancias.
- Para casos de desprendimiento de partículas deben usarse lentes con lunas resistentes a impactos.
- Para casos de radiación infrarroja deben usarse pantallas protectoras provistas de filtro.
- También pueden usarse caretas transparentes para proteger la cara contra impactos de partículas.

4.1.2.2.1. Protección para los ojos

Son elementos diseñados para la protección de los ojos, y dentro de estos se encuentran:

- Contra proyección de partículas
- Contra líquidos, humos, vapores y gases
- Contra radiaciones

4.1.2.2.2. Protección a la cara

Son elementos diseñados para la protección de los ojos y cara, dentro de estos se tienen:

- Máscaras con lentes de protección (mascaras de soldador): están formados de una máscara provista de lentes para filtrar los rayos ultravioletas e infrarrojos.
- Protectores faciales: permiten la protección contra partículas y otros cuerpos extraños. Pueden ser de plástico transparente, cristal templado o rejilla metálica.

4.1.2.3. Protección de los oídos

- Cuando el nivel del ruido exceda los 85 decibeles, punto que es considerado como límite superior para la audición normal, es necesario dotar de protección auditiva al trabajador.
- Los protectores auditivos: pueden ser: tapones de caucho u orejeras (auriculares).
- Tapones: son elementos que se insertan en el conducto auditivo externo y permanecen en posición sin ningún dispositivo especial de sujeción.
- Orejeras: son elementos semiesféricos de plástico, rellenos con absorbentes de ruido (material poroso), los cuales se sostienen por una banda de sujeción alrededor de la cabeza.

4.1.2.4. Protección respiratoria

Ningún respirador es capaz de evitar el ingreso de todos los contaminantes del aire a la zona de respiración del usuario. Los respiradores ayudan a proteger contra determinados contaminantes presentes en el aire, reduciendo las concentraciones en la zona de respiración por debajo del TLV u otros niveles de exposición recomendados. El uso inadecuado del respirador puede ocasionar una sobre exposición a los contaminantes provocando enfermedades o muerte.

4.1.2.4.1. Limitaciones generales de su uso

- Estos respiradores no suministran oxígeno.
- No se use cuando las concentraciones de los contaminantes sean peligrosas para la vida o la salud, o en atmósferas que contengan menos de 16 % de oxígeno.
- No se usen respiradores de presión negativa o positiva con máscara de ajuste facial si existe barbas u otras porosidades en el rostro que no permita el ajuste hermético.

4.1.2.4.2. Tipos de respiradores

- Respiradores de filtro mecánico: polvos y neblinas.
- Respiradores de cartucho químico: vapores orgánicos y gases.
- Máscaras de depósito: Cuando el ambiente está viciado del mismo gas o vapor.
- Respiradores y máscaras con suministro de aire: para atmósferas donde hay menos de 16 % de oxígeno en volumen.

4.1.2.5. Protección de manos y brazos

- Los guantes que se doten a los trabajadores, serán seleccionados de acuerdo a los riesgos a los cuales el usuario esté expuesto y a la necesidad de movimiento libre de los dedos.
- Los guantes deben ser de la talla apropiada y mantenerse en buenas condiciones.
- No deben usarse guantes para trabajar con o cerca de maquinaria en movimiento o giratoria.
- Los guantes que se encuentran rotos, rasgados o impregnados con materiales químicos no deben ser utilizados.

4.1.2.5.1. Tipos de guantes

- Para la manipulación de materiales ásperos o con bordes filosos se recomienda el uso de guantes de cuero o lona.
- Para revisar trabajos de soldadura o fundición donde haya el riesgo de quemaduras con material incandescente se recomienda el uso de guantes y mangas resistentes al calor.
- Para trabajos eléctricos se deben usar guantes de material aislante.
- Para manipular sustancias químicas se recomienda el uso de guantes largos de hule o de neopreno.

4.1.2.6. Protección de pies y piernas

- El calzado de seguridad debe proteger el pie de los trabajadores contra humedad y sustancias calientes, contra superficies ásperas, contra pisadas sobre objetos filosos y agudos y contra caída de objetos, así mismo debe proteger contra el riesgo eléctrico.

4.1.2.6.1. Tipos de calzado

- Para trabajos donde haya riesgo de caída de objetos contundentes tales como lingotes de metal, planchas, etc., debe dotarse de calzado de cuero con puntera de metal.
- Para trabajos eléctricos el calzado debe ser de cuero sin ninguna parte metálica, la suela debe ser de un material aislante.
- Para trabajos en medios húmedos se usarán botas de goma con suela antideslizante.
- Para trabajos con metales fundidos o líquidos calientes el calzado se ajustará al pie y al tobillo para evitar el ingreso de dichos materiales por las ranuras.
- Para proteger las piernas contra la salpicadura de metales fundidos se dotará de polainas de seguridad, las cuales deben ser resistentes al calor.

4.1.2.7. Cinturones de seguridad para trabajo en altura

- Son elementos de protección que se utilizan en trabajos efectuados en altura para evitar caídas del trabajador.
- Para efectuar trabajos a más de 1,8 metros de altura del nivel del piso se debe dotar al trabajador de:
- Cinturón o arnés de seguridad enganchados a una línea de vida.

4.1.2.8. Ropa de trabajo

Cuando se seleccione ropa de trabajo se deberán tomar en consideración los riesgos a los cuales el trabajador puede estar expuesto y se seleccionará aquellos tipos que reducen los riesgos al mínimo.

4.1.2.8.1. Restricciones de uso

- La ropa de trabajo no debe ofrecer peligro de engancharse o de ser atrapado por las piezas de las máquinas en movimiento.
- No se debe llevar en los bolsillos objetos afilados o con puntas ni materiales explosivos o inflamables.
- Es obligación del personal el uso de la ropa de trabajo dotado por la empresa mientras dure la jornada de trabajo.

4.1.2.9. Ropa protectora

Es la ropa especial que debe usarse como protección contra ciertos riesgos específicos y en especial contra la manipulación de sustancias cáusticas o corrosivas y que no protegen la ropa ordinaria de trabajo.

4.1.2.9.1. Tipo de ropa protectora

- Los vestidos protectores y capuchones para los trabajadores expuestos a sustancias corrosivas u otras sustancias dañinas serán de caucho o goma.
- Para trabajos de función se dotan de trajes o mandiles de asbesto y últimamente se usan trajes de algodón aluminizado que refracta el calor.
- Para trabajos en equipos que emiten radiación (rayos x), se utilizan mandiles de plomo.

4.2. Ventajas y limitaciones de los E. P. P.

- Ventajas
 - Rapidez de su implementación.
 - Gran disponibilidad de modelos en el mercado para diferentes usos.
 - Fácil visualización de su uso.
 - Costo bajo, comparado con otros sistemas de control.
 - Fáciles de usar.

- Desventajas
 - Crean una falsa sensación de seguridad: pueden ser sobrepasados por la energía del contaminante o por el material para el cual fueron diseñados.
 - Hay una falta de conocimiento técnico generalizada para su adquisición.
 - Necesitan un mantenimiento riguroso y periódico.
 - En el largo plazo, presentan un costo elevado debido a las necesidades, mantenciones y reposiciones.
 - Requieren un esfuerzo adicional de supervisión.

4.3. Consideraciones generales

Para que los elementos de protección personal resulten eficaces se deberá considerar lo siguiente:

- Entrega del protector a cada usuario.
- Le responsabilidad de la empresa es proporcionar los EPP adecuados; la del trabajador es usarlos. El único EPP que sirve es aquel que ha sido seleccionado técnicamente y que el trabajador usa durante toda la exposición al riesgo.
- Capacitación respecto al riesgo que se está protegiendo.
- Responsabilidad de la línea de supervisión en el uso correcto y permanente de los EPP.
- Es fundamental la participación de los supervisores en el control del buen uso y mantenimiento de los EPP. El supervisor debe dar el ejemplo utilizándolos cada vez que esté expuesto al riesgo.

4.4. Sistema de capacitación para los operarios

La capacitación tanto técnica como teórica del personal involucrado en la operación de calderas tiene como objetivo, informar sobre los beneficios de la utilización de equipo de protección personal y una eficiente aplicación del manual de operación de calderas, dándoles a conocer los procedimientos básicos para la ejecución de sus operaciones a través de conferencias, para garantizar la disminución de accidentes y con ello realizar la operación con mayor eficiencia.

Las capacitaciones se llevaron a cabo periódicamente en un periodo no mayor de un mes para todo el personal involucrado.

Frecuencia: la capacitación se impartió 3 veces, en el tiempo de EPS.

Tabla IX. **Cronograma de capacitaciones**

Capacitación	Duración (horas)	Mes
Importancia del E. P. P. en la operación	1	mayo
Uso y manejo correcto del E. P. P.	1	Mayo
Ventajas y desventajas del E. P. P.	1	mayo

Fuente: elaboración propia.

4.4.1. Conferencias

Las conferencias se impartieron en una forma obligatoria para todo el personal involucrado, debido a que debe ser de conocimiento de todos los

interesados, para obtener de esta manera el resultado deseado en la implementación del manual de operación de caldera y la utilización del equipo de protección personal en el momento de la operación.

4.4.1.1. Operadores

Las conferencias que se impartirán hacia los operadores serán de carácter instructivo técnico, dando a conocer los diferentes procedimientos que se deberán de ejecutar en las diferentes operaciones dentro del área de calderas, para lograr de esta manera, una eficiente implementación y colaboración del personal operativo.

4.4.2. Inducción a personal operador de calderas

La inducción se impartirá al personal con poca o ninguna experiencia en lo que al contenido del manual se refiere, personal de nuevo ingreso en la planta, indicándoles las generalidades del contenido de este, dándoles a conocer los objetivos, propósitos y alcance para que participen de una forma correcta sobre la implementación.

La inducción se impartirá específicamente con el personal operativo, ya que estos tendrán un contacto directo con las operaciones que en el manual se describen

CONCLUSIONES

1. Al documentar los procedimientos y operación de proceso de la caldera, se obtiene una herramienta de trabajo indispensable para la correcta operación.
2. El entrenamiento de personal operativo de nuevo ingreso de la caldera número 8, consta ahora de un instructivo que describe y detalla la información necesaria de operación y funcionamiento correcto de la caldera.
3. Al elaborar la documentación de los procedimientos de operación de procesos, la inducción y capacitación de personal nuevo, tanto operativo como de supervisión, se observó que se obtuvo un mejor y rápido entendimiento por parte de este personal.
4. Al documentar la revisión periódica del funcionamiento de la caldera, se lleva un mejor control, sobre los parámetros de operación.
5. En la documentación de procedimientos de operación, quedó detallado el funcionamiento y operación correcta de la caldera acuatubular que produce 200 000 lb-vapor/hora.

RECOMENDACIONES

1. Gerencia industrial: tomar en consideración, la implementación de equipo de protección personal y velar por el cumplimiento de su utilización dentro del área de calderas, ya que actualmente se trabaja en condiciones inseguras y esto aumenta las probabilidades de accidentes.
2. Jefe del área de maquinaria: velar porque se brinde el equipo de protección personal e implementarlo en el área de generación de vapor, así como también validar los procedimientos de operación y darle seguimiento para que se cumplan los mismos, con ello se obtendrá una operación más segura y eficiente.
3. Jefe de área de generación de vapor: mantener actualizados los procedimientos de operación por lo menos una vez por año, para documentar algún cambio y velar por el cumplimiento de los procedimientos de operación.
4. Al personal de operación de calderas: estudiar y atender de forma responsable la documentación procedimientos de operación, para lograr obtener una operación eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVALLONE, Eugene; BAUNEISTER, Theodore III. *Manual del ingeniero mecánico*. 9ª ed. México: Editorial Mc Graw Hill, 1995.
2. Severns. W. H. DEGLER H.E., MILES. J.C., *La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases*. España: Reverté, S.A., 1975.

Apéndice 2. **Caldera acuotubular de 200,000 lb-vapor/hora 400 psi,
Ingenio Palo Gordo**



Sala de calderas IPG

Panel eléctrico de calderas



Continuación del apéndice 2.

Cuarto de control de calderas



Bombas de agua



Trampa de vapor



Continuación del apéndice 2.

Alimentador de bagazo de caña Depósito de bagazo de caña



Domo inferior



Domo superior



Continuación del apéndice 2.

Scrubber



Ventilador de tiro forzado



Ventilador de tiro inducido



Ventilador overfire



Continuación del apéndice 2.

Medidor de presión de vapor



Medidor de nivel de agua



Válvulas de seguridad

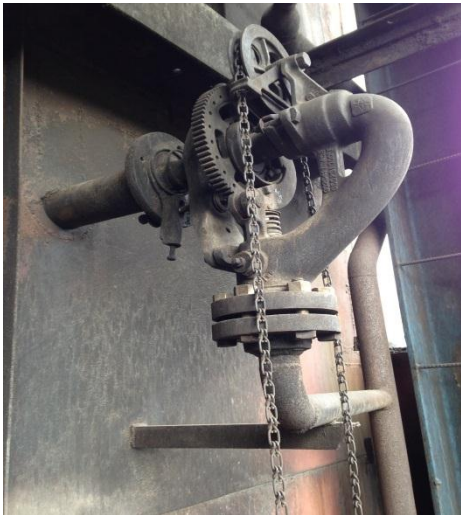


Válvula de pie



Continuación del apéndice 2.

Desohinador



Alimentadores de bagazo de caña



Hogar de la caldera



Parrilla de la caldera



Fuente: elaboración propia.

