



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

**DISEÑO, MONTAJE E INSTALACIÓN DE UNA CALDERA DE BIOMASA  
EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTOS DE FRIGORÍFICOS S. A.**

**Eden Vitalino Chiquitó Ixtamalic**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, febrero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO, MONTAJE E INSTALACIÓN DE UNA CALDERA DE BIOMASA  
EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTOS DE FRIGORÍFICOS S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDEN VITALINO CHIQUITÓ IXTAMALIC**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2016

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

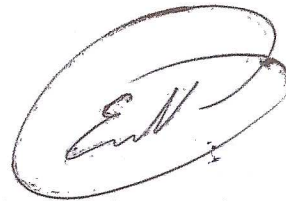
DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## 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:

### **DISEÑO, MONTAJE E INSTALACIÓN DE UNA CALDERA DE BIOMASA EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTOS DE FRIGORÍFICOS S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha de 21 de febrero de 2014.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval border. The signature appears to be 'E. Vitalino'.

**Eden Vitalino Chiquitó Ixtamallic**



Guatemala, 08 de septiembre de 2015  
REF.EPS.DOC.565.09.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Eden Vitalino Chiquitó Ixtamal** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200313285, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO, MONTAJE E INSTALACIÓN DE UNA CALDERA DE BIOMASA EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTOS DE FRIGORÍFICOS S.A.**

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

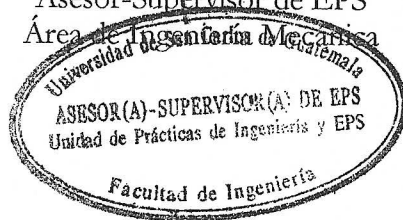
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sarceño-Zepeda

Asesor-Supervisor de EPS

Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EESZ/ra



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 08 de septiembre, de 2015  
REF.EPS.D.456.09.15

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: **DISEÑO, MONTAJE E INSTALACIÓN DE UNA CALDERA DE BIOMASA EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTOS DE FRIGORÍFICOS S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Eden Vitalino Chiquitó Ixtamalic** 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"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala


Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.293.2015

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO, MONTAJE E INSTALACIÓN DE UNA CALDERA DE BIOMASA EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTOS DE FRIGORÍFICOS S.A.** del estudiante **Eden Vitalino Chiquitó Ixtamallic**, carné No. **2003-13285** recomienda su aprobación.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Julio César Campos Paiz  
Coordinador del Área Térmica  
Escuela de Ingeniería Mecánica



MA Ing. Julio César Campos Paiz  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado No. 2701

Guatemala, octubre de 2015

Ref.E.I.M.069.2016

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: **DISEÑO, MONTAJE E INSTALACIÓN DE UNA CALDERA DE BIOMASA EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTOS DE FRIGORÍFICOS S.A.** del estudiante **Eden Vitalino Chiquitó Ixtamalic**, carné **No. 2003-13285** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero de 2016


/aej





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: **DISEÑO, MONTAJE E INSTALACIÓN DE UNA CALDERA DE BIOMASA EN LA PLANTA DE SUBPRODUCTOS DE FRIGORÍFICOS S: A.**, presentado por el estudiante universitario: **Eden Vitalino Chiquitó Ixtamalic,** 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, febrero de 2016

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser guía y parte de todo lo que realizo en esta vida.
<b>Mis padres</b>	Estefana Ixtamalic y Valerio Chiquitó, por su iniciativa, enseñanza y motivación para lograr mis objetivos.
<b>Mi esposa</b>	Blanca Ramos, por su apoyo y comprensión para concluir este trabajo.
<b>Mis hermanos</b>	Jorge, Jaime, Ana y Rufina Chiquitó, por su motivación y apoyo incondicional para ser siempre una mejor persona.
<b>Mis amigos</b>	A todos los que me dieron su amistad y poder compartir con ellos, en especial a Ricardo Ovalle, Mynor Batz, Hugo Larios, Milton de León, Miguel Lux y Julio Gallina.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por darme cabida y brindarme los conocimientos para desarrollar mi profesión.

**Facultad de Ingeniería**

Por el espacio de estudio y aprendizaje dentro de ella.

**Ing. Otto Chávez**

Por su apoyo y proyección para llevar a cabo este trabajo.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción de la empresa .....	1
1.1.1. Ubicación .....	1
1.1.2. Historia .....	2
1.1.3. Misión .....	3
1.1.4. Visión.....	3
1.1.5. Valores .....	3
1.1.6. Organigrama.....	4
2. FASE DE INVESTIGACIÓN. AHORRO ENERGÉTICO.....	5
2.1. Definiciones generales .....	5
2.1.1. Avicultura en Guatemala .....	5
2.1.2. Definición de pollo beneficiado .....	7
2.1.3. Índices de productividad avícola.....	12
2.1.4. Subproductos avícolas y su relación con otros alimentos .....	14
2.1.5. Desarrollo de producción más limpia y sus acuerdos.....	14

2.1.6.	Generación de vapor con energía renovable en sustitución de combustibles fósiles .....	17
2.2.	Descripción del proceso .....	19
2.2.1.	Sistema de conversión de los subproductos avícolas en harinas especiales.....	19
2.2.2.	Línea de proceso de elaboración de harinas de subproductos avícolas.....	21
2.3.	Descripción del problema.....	22
2.3.1.	Energías renovables y la aplicación de la gallinaza como combustible .....	23
2.3.2.	Definición de gallinaza .....	23
2.3.3.	La gallinaza como un recurso energético para la combustión .....	23
2.3.4.	Termodinámica de la gallinaza .....	24
2.4.	Energías renovables .....	24
2.4.1.	Definición de la energía de la biomasa .....	25
2.4.2.	Biomasa seca.....	26
2.4.3.	Biomasa húmeda .....	26
2.4.4.	Historia de la biomasa .....	27
2.4.5.	Aplicaciones de la biomasa .....	28
2.4.6.	Procesos de conversión de la biomasa en energía .....	28
2.4.6.1.	Combustión .....	29
2.4.6.2.	Gasificación.....	30
2.4.6.3.	Pirolisis.....	30
2.4.6.4.	Procesos bioquímicos .....	31
2.4.6.5.	Procesos anaeróbicos.....	31
2.4.7.	Otros recursos energéticos .....	32

2.4.8.	Capacidad calorífica de la biomasa para generar vapor.....	33
2.5.	Equipos generadores de vapor.....	33
2.5.1.	Caldera de vapor .....	33
2.5.2.	Funcionamiento de una caldera.....	33
2.5.3.	Componentes genéricos y básicos de una caldera.....	34
2.5.3.1.	Quemador.....	34
2.5.3.2.	Hogar.....	35
2.5.3.3.	Tubos de intercambio de calor.....	35
2.5.3.4.	Separador líquido-vapor .....	35
2.5.3.5.	Chimenea .....	35
2.5.3.6.	Carcasa .....	35
2.5.4.	Clasificación y aplicaciones de las calderas .....	35
2.5.4.1.	Calderas pirotubulares.....	36
2.5.4.2.	Calderas acuatubulares.....	38
2.5.4.3.	En función del número de pasos y del tipo de tiro .....	40
2.5.4.4.	En función de las necesidades energéticas del proceso.....	40
2.6.	Eficiencia de los sistemas de producción de vapor .....	40
2.6.1.	Importancia de la eficiencia para generar vapor.....	41
2.6.2.	Costos de inversión tecnológica .....	41
2.6.3.	Ventajas y desventajas del sistema actual que utiliza combustible fósil <i>versus</i> propuesta de biomasa .....	42
2.7.	Análisis energético y medioambiental .....	43
2.7.1.	Controles ambientales .....	44

2.7.2.	Gases de combustión emitidos durante la operación.....	45
2.7.3.	Análisis de los porcentajes en pesos de los componentes.....	46
2.7.3.1.	Cenizas .....	46
2.7.3.2.	Humedad.....	46
2.7.3.3.	Materias volátiles.....	47
2.7.3.4.	Carbono fijo.....	47
3.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....	49
3.1.	Levantamiento de información y estudios .....	49
3.1.1.	Balance térmico.....	50
3.1.2.	Cálculos de las cargas caloríficas .....	50
3.2.	Localización y superficies de las instalaciones previa al montaje de la caldera a biomasa Hurst Boiler.....	54
3.3.	Factores que intervienen en el montaje e instalación de la caldera .....	55
3.3.1.	Agua de alimentación disponible.....	55
3.3.2.	Tiempo de operación de la caldera .....	56
3.3.3.	Selección del combustible .....	56
3.3.4.	El espacio disponible.....	59
3.3.5.	Disponibilidad de energía eléctrica.....	60
3.4.	Características generales de la caldera seleccionada .....	60
3.5.	Diseños de las cimentaciones y fases de la construcción en cuanto a la obra civil y estructural .....	61
3.5.1.	El estudio geotécnico .....	62
3.5.2.	Criterios para la selección de la cimentación .....	64
3.6.	Montaje de la caldera.....	65
3.7.	Descripción del nuevo sistema de generación de vapor .....	66

3.7.1.	Cámara de combustión.....	67
3.7.2.	Sistema de parrillas móviles .....	69
3.7.3.	Sistema de colección de cenizas multi-clone <i>fly ash</i> .....	69
3.7.4.	Sistema de aire de alta presión .....	70
3.8.	Funcionamiento genérico de la caldera Hurst .....	71
3.9.	Instrumentación y sistemas de controles auxiliares de la caldera híbrida Hurst .....	72
3.9.1.	Válvulas de seguridad .....	74
3.9.2.	Sistema de purga automática .....	74
3.10.	Puesta en marcha de la nueva caldera .....	75
4.	FASE DE DOCENCIA .....	79
4.1.	Acciones que se debe seguir si el sistema falla .....	79
4.2.	Fases de operación .....	79
4.3.	Análisis y tratamiento del agua de alimentación de la caldera Hurst .....	82
4.3.1.	Problemas que existen en el agua de alimentación.....	82
4.3.2.	Sistema de tratamiento del agua de alimentación de la caldera .....	85
4.3.3.	Control de la calidad del agua de alimentación .....	88
4.4.	Capacitaciones en seguridad e higiene industrial a los involucrados .....	92
4.5.	Capacitaciones técnicas y medioambientales para obtener producción más limpia a todos los involucrados.....	93
4.6.	Programación del mantenimiento preventivo al nuevo sistema .....	93
4.6.1.	Tipos de mantenimiento .....	94



4.6.2. Actualización del nuevo sistema de mantenimiento.....95

CONCLUSIONES.....97

RECOMENDACIONES .....99

BIBLIOGRAFÍA..... 101

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Imagen satelital de la planta de subproductos .....	2
2.	Flujo simplificado del proceso en la obtención de harinas .....	21
3.	Ciclo de generación de la biomasa .....	26
4.	Caldera genérica .....	34
5.	Disposición una caldera pirotubular .....	36
6.	Configuración de una caldera acuaturbular .....	38
7.	Alimentación de agua a tanques extraída de los pozos. ....	56
8.	Proceso de mezcla y alimentación de combustible .....	57
9.	Variadores de alimentación de combustible .....	58
10.	Área de construcción de caldera de biomasa .....	59
11.	Alimentación eléctrica principal .....	60
12.	Pruebas y ensayos Procton .....	63
13.	Pruebas y ensayos Procton de la muestra .....	63
14.	Resumen de pruebas y ensayos de suelos donde es montada la caldera .....	64
15.	Montaje de la caldera por CADINSA S. A. ....	65
16.	Vista interior de la combinación acuaturbular y pirotubular de la caldera .....	66
17.	Construcción lateral de la cámara de combustión.....	67
18.	Construcción del área de alimentación de combustible .....	68
19.	Construcción del arco refractario .....	68
20.	Sistema hidráulico y parrillas móviles.....	69
21.	Sistema de colector de cenizas.....	70

22.	Sistema de aire de alta presión .....	71
23.	Panel de control Biomaster .....	73
24.	Sistema de control de purga automática.....	75
25.	Gráfico de costo y gasto acumulado en 5 años .....	81
26.	Tanques suavizadores.....	88
27.	Comparación análoga y digital del análisis de conductividad .....	92
28.	Programa de ubicación .....	96

## TABLAS

I.	Resultados esperados del proceso de subproductos .....	20
II.	Ventajas de los combustibles biomasa <i>versus</i> fósiles .....	42
III.	Precios fluctuantes de los combustibles fósiles .....	43
IV.	Demanda de vapor en una planta de procesamiento de subproductos .....	52
V.	Factor de evaporación .....	53
VI.	Pruebas de consumo de combustible según rendimiento.....	57
VII.	Características generales de la caldera.....	61
VIII.	Configuración de calderas activas y de respaldo.....	80
IX.	Comparación de emisión de gases de bunker, carbón y biomasa.....	81
X.	Descripción de las impurezas del agua y sus efectos.....	83
XI.	Compuestos químicos en el tratamiento interno y sus aplicaciones .....	86
XII.	Condiciones recomendadas en el agua para la caldera .....	89
XIII.	Resumen de primer análisis fisicoquímico de la caldera .....	90
XIV.	Resumen de segundo análisis fisicoquímico en la caldera.....	91
XV.	Resumen de tercer análisis fisicoquímico.....	91

## GLOSARIO

<b>Adiabático</b>	En termodinámica es aquel que se produce sin intercambio de calor con el exterior.
<b>Agua blanda</b>	Es agua tratada que no posee dureza.
<b>Agua destilada</b>	Es aquella a la que se le han eliminado las impurezas e iones mediante destilación.
<b>Alcalinidad</b>	Capacidad ácido neutralizante de una sustancia química en solución acuosa.
<b>Amina</b>	Capacidad ácido neutralizante de una sustancia química en solución acuosa.
<b>Biomasa</b>	Es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía queda almacenada en forma de materia orgánica.
<b>Bunker</b>	Es un combustible residual que se obtiene de la destilación y refinación de los hidrocarburos.

<b>Caldera</b>	Máquina que está diseñada para generar vapor.
<b>Caldera acuatubular</b>	Tipo de caldera en donde los gases circulan alrededor de los tubos de agua.
<b>Caldera híbrida</b>	Diseño de caldera que combina las funciones acuatubular y pirotubular en su estructura.
<b>Caldera pirotubular</b>	Caldera en donde los gases circulan dentro de los tubos y el agua a su alrededor.
<b>Calor latente</b>	Energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido o de líquido a gaseoso.
<b>Calor sensible</b>	Es aquel que recibe un cuerpo o un objeto y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado.
<b>Cavitación</b>	Formación de burbujas de vapor que colapsan en zonas de alta presión.
<b>Conductividad</b>	Capacidad de una solución acuosa para conducir la corriente eléctrica.
<b>Deaerador</b>	Equipo que remueve O <sub>2</sub> (aire) del agua de alimentación a calderas, ya que el oxígeno es altamente corrosivo en los circuitos de vapor.

<b>Diésel</b>	También denominado gasóleo o gasoil, es un líquido de color blancuzco o verdoso y de densidad sobre $850 \text{ kg/m}^3$ ( $0,850 \text{ g/cm}^3$ ), compuesto fundamentalmente por parafinas.
<b>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	Gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra) actualmente en una proporción de 350 ppm. (partes por millón). Su ciclo en la naturaleza está vinculado al del oxígeno.
<b>Efecto invernadero</b>	Fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar.
<b>Entalpía</b>	Energía calorífica absorbida o desprendida, a presión constante, cuando se forma un mol de compuesto a partir de sus elementos.
<b>Estequiometria</b>	Cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química.
<b>Fraguar</b>	Proceso que consiste en endurecerse la masa del material refractario o cemento.

<b>Golpe de ariete</b>	Golpe del vapor condensado a las tuberías a altas presiones, lo cual puede provocar inmediatamente grietas en las tuberías.
<b>Hidrolisis</b>	Una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.
<b>Huella de carbono</b>	Recuento de las emisiones de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), que son liberadas a la atmósfera debido a las actividades cotidianas o a la comercialización de un producto.
<b>Incrustación</b>	La acción y el efecto de cubrirse una roca, un animal, o un vegetal, con una costra de sustancia mineral abandonada por el agua que la contiene en disolución.
<b>Mantenimiento</b>	Servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permiten alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos y máquinas.
<b>Mantenimiento correctivo</b>	Se lleva a cabo con el fin de corregir (reparar) una falla en el equipo sin haberse planificado.

<b>Mantenimiento preventivo</b>	Conjunto de actividades que se llevan a cabo en forma planificada y programada, con el fin de reducir al mínimo la ocurrencia de fallas en edificios, equipos, sistemas, aparatos y accesorios.
<b>Óxido de carbono (CO)</b>	Corresponde a un gas incoloro, insípido e inodoro llamada monóxido de carbono. Se trata de un compuesto muy tóxico y altamente inflamable. Es soluble en benceno y etanol y no es soluble en agua.
<b>Ph</b>	Es el índice de que expresa el grado de acidez o alcalinidad.
<b>PLC</b>	Abreviaturas de controlador lógico programable, que sirve para controlar varios procesos mediante un sistema de programación.
<b>Ppm</b>	Partes por millón (abreviado como ppm) es la unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades (traza) en una mezcla.
<b>Presión</b>	Magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.



<b>Producción más limpia</b>	Aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia en general, y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente.
<b>Purga</b>	Eliminación de una parte del agua de la caldera con el propósito de reducir la concentración de sólidos, o para descargar el sedimento.
<b>Sal</b>	Producto típico de una reacción química entre una base y un ácido, la base proporciona el catión y el ácido el anión.
<b>Subproducto</b>	Es un producto secundario obtenido durante la producción de alimentos de consumo humano.
<b>Trampa de vapor</b>	Válvula automática que filtra el condensado (es decir vapor condensado) y gases no condensables como lo es el aire esto sin dejar escapar al vapor.
<b>Vapor</b>	Un estado de la materia en el que las moléculas apenas interaccionan entre sí, adoptando la forma y el volumen del recipiente que lo contiene y tendiendo a expandirse todo lo posible.

<b>Vapor <i>flash</i></b>	Nombre dado al vapor que se forma a partir del condensado caliente cuando existe una reducción en la presión.
<b>Vapor saturado</b>	Vapor a la temperatura de ebullición del líquido. Es el vapor que se desprende cuando el líquido hierve.
<b>Vapor sobrecalentado</b>	Es vapor de agua a una temperatura mayor que la del punto de ebullición. Parte del vapor saturado y se le somete a un recalentamiento con el que alcanza mayor temperatura.
<b>Variador de frecuencia</b>	Sistemas utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna.
<b>Zeolita</b>	El término está muy arraigado en la práctica y se usa como sinónimo de intercambiador catiónico tipo sódico.



## RESUMEN

El presente informe se basó en el estudio y documentación del montaje e instalación de una caldera de vapor a base de biomasa, específicamente la gallinaza, que suplirá el funcionamiento de las calderas de combustible fósil en la planta procesadora de subproductos avícolas de Frisa S. A.

En el desarrollo se tiene la información y análisis de lo que representa la biomasa, sus ventajas, desventajas según la aplicación que tiene, y la disponibilidad con que se cuenta para abastecer la caldera.

El trabajo se realizó en función de los requerimientos energéticos, ambientales, sociales y económicos de los equipos que ya funcionan en la planta, a partir de los mismos se realiza la selección de la caldera a instalar, ya que dentro de los objetivos principales que demanda la producción más limpia, es hacer realidad que la prevención de la contaminación sea más rentable que el control de esta. Ante tal situación se ha buscado oportunidades para ser ambientalmente más eficientes como una estrategia de competitividad, minimizando la contaminación, el aumento de la calidad de los productos y la mejora de la eficiencia de los procesos de la empresa; en estas variables, la instalación de la caldera a biomasa representa una oportunidad concreta para Guatemala en su desarrollo.

El montaje de la caldera es realizada por una empresa representante de la marca, el mismo personal fue el encargado de hacer la colocación de las partes que no venían montadas en el cabezal principal y otras que sirven para poner en marcha y funcionamiento la caldera, tales como la instalación de la

instrumentación auxiliar, conexiones de vapor, conexiones de aire, alimentación de energía eléctrica, conexiones de agua, tanques y bombas.

Luego de terminada la instalación, se realizan las respectivas pruebas de funcionamiento, así como de los distintos combustibles, su capacidad calorífica y ensayos en la combustión para hacer los ajustes correspondientes en el rendimiento y eficiencia de la caldera.

Se espera que este documento sirva de guía informática y estudio para el personal de calderas y próximos eventos de instalaciones de equipos.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Sustituir combustible fósil por combustible renovable en la generación de vapor para la planta de subproductos, a través del montaje e instalación de una caldera a biomasa, específicamente la gallinaza.

### **Específicos**

1. Mejorar las instalaciones de generación de vapor en todo el sistema, por medio de un combustible alternativo a los fósiles.
2. Obtener ahorro y beneficios socioeconómicos para la corporación y el país de Guatemala.
3. Utilizar un combustible amigable con el ambiente en beneficio del planeta.
4. Mejorar los equipos e instalaciones productivas en forma continua a través de la modernización, para reducir costos de producción y medios contaminantes.
5. Obtener producción más limpia.



## INTRODUCCIÓN

El vapor es usado extensamente en el sector industrial y comercial, principalmente en el calentamiento de procesos, cocimiento de productos, generación de potencia, en calefacción de espacios, entre otros.

Para la elaboración de harinas especiales, es decir, alimentos para mascotas y aves, se necesitan varios procesos que requieren vapor para su fabricación, de esta manera se obtiene el producto terminado para su exportación o comercialización interna, según el destino que se desee darle. Se requiere vapor para los procesos de cocinado de las plumas, vísceras, sangre y marmitas para calentar y extraer grasa de ciertas unidades.

El proyecto consiste en instalar una caldera de vapor a biomasa, para este caso el recurso será la gallinaza, la misma será proveída directamente de las granjas de aves de la misma empresa. La gallinaza ha demostrado ser un combustible de biomasa renovable viable. El poder calorífico promedio es alrededor de 4,1 Btu/lb (9,55 kJ/kg) y es por lo general, bastante seco, alrededor de 25 % de contenido de humedad, en comparación con otras fuentes de biomasa.

La estequiometría de la combustión de las excretas de aves de corral se traducen en una temperatura de llama adiabática de aproximadamente 2 000 ° F-2 100 °F, esto es más que suficiente para probar la viabilidad técnica, medioambiental y económica de la gallinaza como una fuente de energía térmica.



En este proyecto, que es una transición, ofrece oportunidades, pero también amenazas. Para poder adaptarse a todo esto se lleva la implementación, instalación, seguimiento y funcionamiento de una caldera híbrida de marca Hurst, con una capacidad de generación de vapor máxima de 13,800 lb/hora, 400 BHP y 150 psi.

La caldera Hurst cuenta con un sistema de control PLC Biomaster, la cual está totalmente automatizada, ya que monitorea continuamente las variables como el oxígeno, la combustión, entre otros. Es uno de los más avanzados sistemas disponibles para la combustión de biomasa en el mercado actual.

# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Descripción de la empresa**

Frisa S. A. es una empresa líder en la producción de pollo beneficiado, con una planta de especialidades y una de subproductos; líder por la calidad que presentan sus productos y las normas que rigen los procesos desde la reproducción de aves hasta que el producto final es empacado y distribuido para su comercialización.

Pollo beneficiado es el que ha sido sometido a un proceso en el cual se le han retirado o eliminado todas las partes no comestibles como las plumas, sangre y vísceras; que son la materia prima para el desarrollo de alimentos para mascotas, aves, entre otros; y especialidades por la variedad del producto terminado.

### **1.1.1. Ubicación**

Actualmente, la planta de procesamiento de subproductos, conocida más como de harinas especiales, está ubicada en una zona industrial en el kilómetro 35, aldea la Compañía, carretera a Palín, Escuintla. La planta está en una posición estratégica geográficamente, ya que cuenta con los servicios básicos de energía eléctrica, medios de transporte, combustible, agua y otros medios de producción en forma accesible.

Figura 1. **Imagen satelital de la planta de subproductos**



Fuente: Google Earth. [www.google.com](http://www.google.com), google earth. Consulta: 20 de septiembre de 2013.

### **1.1.2. Historia**

El grupo PAF nace en 1958, con un ideal bien definido, pero que representa un doble desafío: la fundación de una gran empresa avícola que contribuiría al desarrollo económico, creando fuentes de trabajo en el país y la mejora en la dieta de los guatemaltecos, proporcionándoles un producto de alta calidad y valor nutritivo.

El grupo PAF es una de las empresas más sólidas del país, la cual proporciona trabajo a más de 5 000 personas.

### **1.1.3. Misión**

La corporación tiene como misión: “Proveer alimentación nutritiva de calidad”<sup>1</sup>.

### **1.1.4. Visión**

“Crecer inteligentemente, consolidarse y diversificarse”<sup>2</sup>.

### **1.1.5. Valores**

La corporación del grupo PAF tiene un compromiso que lo identifica a destacar, y lo compromete a mejorar cada día cumpliendo a cabalidad su código de conducta.

- Respeto
- Calidad
- Responsabilidad
- Ética
- Desarrollo humano
- Agilidad
- Accesibilidad

Fuente: 1 y 2 extraída del código de conducta interna del grupo PAF.

---

<sup>1</sup> Misión proporcionada por el grupo PAF.

<sup>2</sup> Vision proporcionada por el grupo PAF.

### **1.1.6. Organigrama**

Frisa S. A. es parte de la gran corporación del grupo PAF, que en sus iniciales son pesca, areca, frigoríficos, respectivamente, en los últimos meses la corporación PAF ha realizado movimientos en su estructura organizacional y corporativa dentro de sus departamentos, así también, en el movimiento de sus acciones como medida de su crecimiento y expansión.

## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN. AHORRO ENERGÉTICO**

### **2.1. Definiciones generales**

Es importante englobar el tema de ahorro energético como eje central del proyecto donde se llevarán acciones y propuestas técnicas para el aprovechamiento de la misma, junto a la seguridad ambiental e industrial, como lo manifiestan los términos de desarrollo de producción más limpia, el cual pretende lograr objetivos puntuales, como reducir la contaminación ambiental por medio de la adquisición de tecnologías más amigables con el ambiente y lograr una mayor eficiencia de los procesos, motivo del cual se llevará a cabo el montaje e instalación de una caldera a biomasa de marca Hurst, con la misión de generar un proceso de mejora continua en el sector avícola y sus derivados.

#### **2.1.1. Avicultura en Guatemala**

Desde hace algunos años la industria avícola de Guatemala está en constante expansión. Son diversos los factores que contribuyen a este crecimiento, entre los que se pueden mencionar la mejora en la eficiencia productiva y la reducción de costos de producción, que son consecuencia de una mayor inversión en tecnología en toda la cadena. Asimismo, el consumo de carne aviar, ligado al bajo precio relativo de este producto, y a la tendencia hacia el consumo de carnes de fácil preparación generan una demanda y un desarrollo constante. La avicultura en Guatemala representa actualmente uno de los rubros más importantes en el país, por aportar a la seguridad alimentaria de la población en cuanto a la oferta de carne de aves de corral, el cual se

encuentra dentro de la canasta básica, por lo que es de vital importancia para el país contar con dicho subsector productivo.

En los años 50, a raíz de la creación de la Ley de Fomento Avícola en el período presidencial del general Miguel Idígoras Fuentes, se inicia con el desarrollo de una avicultura tecnificada, donde se utilizaron aves genéticamente mejoradas, generando rendimientos óptimos para la actividad avícola tanto en el proceso de producción de huevos como de carne de pollo.

A partir de la creación de la ley de Fomento Avícola se creó la Comisión Nacional de Fomento Avícola, integrada por un representante del Ministerio de Agricultura, uno del Ministerio de Economía, uno del Ministerio de Finanzas Públicas, otro de los productores avícolas y liderada por el jefe del Departamento de Fomento Avícola del Ministerio de Agricultura. Esta Comisión era la encargada de aprobar la importación de equipo y suministros para el desarrollo de la avicultura que ingresaba al país exento del pago de impuestos para fomentar su desarrollo.

Después de varios años de funcionamiento de esta Comisión, los pioneros de la avicultura visualizaron la necesidad de crear una institución que los representara, enfrentaban serios problemas con el abastecimiento, principalmente de insumos para la fabricación de concentrados, existía una insuficiente producción nacional de granos básicos, sobre todo maíz, además de serios problemas e impedimentos para su importación.

Fue el 24 de abril de 1973, cuando se consolidó la idea y se fundó la Asociación Nacional de Avicultores (Anavi), entidad creada con la finalidad de representar los intereses del sector y trabajar en pro de su desarrollo.

El crecimiento de la Asociación no se hizo esperar y pasaron a formar parte de la misma, la inmensa mayoría de productores de huevos, pollos, pavos, fabricantes de concentrados, entre otros, quienes necesitados de apoyo institucional para sus diferentes gestiones, visualizaron una evidente oportunidad al formar parte de esta institución.

El sector avícola nacional, hoy es uno de los principales bastiones del ramo agropecuario sobre los cuales se sustenta la economía y seguridad alimentaria del país. Desde el punto de vista socioeconómico es una de las alternativas para resolver los problemas de la nutrición del mundo y de Guatemala, ofreciendo productos nutritivos y de alta calidad con precios accesibles a toda la población.

La avicultura representa el 60 % de la actividad pecuaria de Guatemala, contribuye en un 8 % al producto interno bruto (PIB) agropecuario y 2 % del PIB nacional. De forma directa provee al país de 38 000 empleos directos permanentes, 350 000 empleos indirectos y 15 000 distribuidores en todo el país que dependen de esta actividad para el sostenimiento económico de sus familias. Se estima que para el 2019, el consumo de carne avícola por persona será de 36,4 libras (16,5 kg) contra las 30,8 libras (14 kg) actuales.

### **2.1.2. Definición de pollo beneficiado**

El pollo ha sido sometido a un proceso en el cual se le han retirado o eliminado todas las partes no comestibles como las plumas, sangre y vísceras, estas partes podrían causar daño a la salud del consumidor.

Para entender mejor sobre avicultura se deben conocer ciertas definiciones, entre estas están las siguientes:



- Pollos: son las aves de cualquier sexo de la especie *Gallus domesticus*, seleccionada genéticamente y sometida a un régimen de manejo intensivo, que permite obtener un adecuado peso para su sacrificio para consumo humano, y que habiendo llegado a su estado adulto son jóvenes.
- Gallinas: son las aves hembras de la especie *Gallus domesticus*, dedicadas a la postura de huevos para la reproducción o el consumo humano.
- Gallos: son las aves machos de la especie *Gallus domesticus*, que han llegado a su estado adulto y alcanzado su edad reproductiva.
- Pollo entero: es el sacrificado, desangrado y desplumado que aun mantiene todas sus partes incluyendo vísceras.
- Pollo en canal: es el sacrificado, desangrado y desplumado, el cual se le han quitado la cabeza, el pescuezo, el buche, las patas, la glándula aceitosa de la cola, las vísceras abdominales y torácicas, a excepción del corazón y pulmones.
- Pollo fresco: es el sacrificado y sometido a un proceso de conservación mediante frío, a una temperatura de 0 a 4 grados centígrados y una humedad relativa dentro del rango de 80 a 90 %, durante 1 a 3 días posteriores a su sacrificio.
- Pollo congelado: es el fresco, con un máximo de 18 horas de procesado que debe congelarse por el método rápido a un rango entre  $-30^{\circ}$  a  $-40^{\circ}$  grados centígrados y además conservarse en cámaras de temperatura

no mayor de -18° grados centígrados, durante un período máximo de 12 meses.

- Caducidad: es el período máximo tolerada en un pollo procesado para el consumo humano, que no represente riesgo para la salud debido a descomposición y pérdida de sus características sanitarias y para esta especie se estima de 8 días posteriores al sacrificio del ave, cuando se trate de pollo fresco y de 12 meses cuando sea congelado.
- Dietado: es el procedimiento mediante el cual se mantiene a los pollos que serán sacrificados, sin consumo de alimento por un período comprendido entre 8 y 12 horas previas a esta operación, a fin de que el aparato digestivo se encuentre vacío para evitar contaminaciones durante el proceso.
- Insensibilización: consiste en aturdir o paralizar al ave por cualquier método adecuado, para luego sacrificarla, esto facilita el desangrado del ave.
- Degollado: consiste en sacrificar al ave por cualquier método adecuado.
- Desangrado: consiste en sacarle la sangre al ave, luego de ser degollada.
- Escaldado: tiene por objetivo facilitar el desplume y consiste en sumergir al ave en agua caliente, a una temperatura en el rango de 50 a 60 °C durante un tiempo determinado.

- Desplumado: operación posterior al escaldado, consiste en quitarle las plumas al ave.
- Corte de patas: consiste en quitarle las patas al ave.
- Corte de pico: consiste en quitarle parte del pico al ave.
- Corte de apéndices: consiste en quitarle el pescuezo y la cabeza al ave, cortando a la altura de la unión de la vértebra cervical.
- Evisceración: consiste en la extracción total de los aparatos digestivo y respiratorio, de la extracción parcial del aparato urogenital y de la extracción del hígado y el corazón del ave.
- Envasado: acondicionar el pollo listo para cocinar, sus cortes o menudos lo cual se coloca en envases de material impermeable.
- Preenfriado: consiste en sumergir al ave en agua a temperatura ambiente durante un tiempo determinado.
- Enfriado: consiste en bajar la temperatura del ave entre el rango de 4 a 0 grados centígrados, por cualquier método adecuado.
- Refrigeración: se almacenan los pollos listos para cocinar envasados o no, o sus cortes o sus menudos, a temperaturas comprendidas entre el rango de 4 a 0 grados centígrados.
- Congelación: se someten los pollos listos para cocinar envasados o no, o sus cortes o sus menudos, a temperaturas < -30 grados centígrados.

- Conservación por congelación: se almacenan los pollos listos para cocinar envasados, o sus cortes o sus menudos, a temperaturas < 18 grados centígrados.
- Lote: es una cantidad determinada de producto que se agrupa como un conjunto unitario, cuyo contenido es de características similares o ha sido procesado bajo condiciones presumiblemente uniformes y que se identifican por tener un mismo código o clave de producción.
- Tamaño: se refiere a la longitud que presente cualquier pollo sometido a clasificación.
- Peso: es el indicador que señala el número de kilogramos que ha alcanzado el pollo al momento de la clasificación.
- Edad: es el período transcurrido entre el nacimiento y el momento del sacrificio del pollo que se somete a clasificación. La edad mínima para clasificar debe de ser de 6 semanas y la máxima de 10, detectables mediante peritaje anatómico por parte del clasificador.
- Lesiones: las masas musculares expuestas son el resultado de heridas, rasgaduras, falta de piel, fracturas y dislocaciones que deterioran la apariencia general del pollo y en consecuencia bajan su calidad. El número y extensión de este tipo de lesiones están relacionadas para determinar el grado de clasificación o su eliminación.
- Piel: es el tejido que recubre al pollo en todo el cuerpo a excepción de las patas en donde se vuelve escamoso. En el pollo desplumado que se

vaya a clasificar se observa una apariencia limpia sobre todo en la región del pecho, libre de plumones y pelusa.

- Carne expuesta: es la carne expuesta como resultado de cortes, rasgaduras y pérdida de piel o como resultado de huesos rotos y huesos dislocados. La carne expuesta desmejora la apariencia del pollo listo para cocinar.

### **2.1.3. Índices de productividad avícola**

El sector avícola es uno de los sectores productivos más importantes de Guatemala, y para el cual resulta de vital importancia la medición de la productividad, ya que debe hacer un uso eficiente de sus recursos, para así poder mantener costos que le permitan fijar los precios y obtener el nivel de rentabilidad esperado.

El índice de productividad es el cociente entre la producción de un proceso y el gasto o consumo de dicho proceso:

Índice productivo = producción/consumo

Un índice de productividad se utiliza para comparar el nivel de eficiencia de la empresa. Un índice de productividad total es el cociente entre la producción y el consumo total de todos los factores.

Índice de productividad total = producción/consumo total

Para identificar las operaciones del proceso productivo se hacen diagramas de flujo del proceso, estos son operaciones que se realizan para producir el producto o un servicio en una empresa.

Los índices de productividad son factores que muestran la situación en la que se encuentra el proceso y evaluar si se requieren cambios, para este proceso conviene calcularlos basados en la cantidad de libras procesadas, ya que al final es lo que define la rentabilidad del proceso.

- Merma: es la cantidad de libras de pollo que se descartan en determinado tiempo, entre las razones más comunes que las ocasionan en este proceso se pueden mencionar las siguientes:
  - Pollo vivo que se ahoga en el transcurso del traslado de la granja hasta el lugar donde se va a procesar.
  - Pollo que no califica por algún problema de salud.
  - Partes del pollo que en todo el recorrido del proceso puedan dañarse y no sean aprobados por mala calidad.
- Libras por hora: es la cantidad total de libras de pollo beneficiado obtenidas en un intervalo de tiempo real determinado;
- Eficiencia: es el porcentaje real de libras que se obtienen en comparación con la cantidad que se obtendría, si no existiera ningún tipo de merma;

- Tiempo perdido: son los intervalos de tiempo improductivos generados por algún problema interno, estos pueden ser por problemas con la maquinaria, falta de personal y por falta de materia prima;
- Rendimiento: es la cantidad de libras obtenidas del total de libras procesadas.

#### **2.1.4. Subproductos avícolas y su relación con otros alimentos**

El crecimiento de la industria avícola, no solo trae innumerables ventajas económicas y productivas sino que trae consigo un aumento de los desechos orgánicos, principalmente los derivados del proceso de beneficiado de pollo como las plumas, la sangre y las vísceras; los cuales se llamarán subproductos avícolas, que son la materia prima para el desarrollo de harinas especiales, como concentrados para mascotas y aves, con un gran valor porcentual de proteínas. Esto último asegura la existencia de un mercado para la comercialización de los subproductos obtenidos.

#### **2.1.5. Desarrollo de producción más limpia y sus acuerdos**

La producción más limpia es una estrategia preventiva que busca optimizar recursos e insumos como materias primas, agua y energía eléctrica y con esto reducir o minimizar sus desechos tanto sólidos, líquidos y gaseosos, logrando así una mayor rentabilidad en el proceso productivo, tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

En la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, los países participantes acordaron el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre

Cambio Climático (CMNUCC) en respuesta a la creciente evidencia de que la actividad humana contribuye al calentamiento global. El CMNUCC contiene un compromiso no vinculante con los países industrializados, en ello se encuentra Guatemala, en el cual, en el año 2000, ellos debieron reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hasta los niveles alcanzados en 1990. Pero pronto notaron que no era suficiente para evitar un cambio climático peligroso. Luego de que la primera Conferencia de las Partes (COP, por sus siglas en inglés, Conference of the Parties), en 1995 entró en vigor. Las partes empezaron a negociar un protocolo más estricto con objetivos jurídicamente vinculantes para la reducción de gases de efecto invernadero para ciertos países.

En la Tercer Convención de las Partes (COP3) realizada en Japón en 1997, se acordó un Protocolo para los países industrializados, el cual tiene como objetivo la reducción de las emisiones nacionales en un promedio de 5 % debajo de las emitidas en 1990 para el periodo 2008–2012. Este tiempo es conocido como el primer periodo de compromiso. El protocolo fue nombrado según la ciudad en la cual fue negociado – Kioto. Para ayudar a reducir el costo del cumplimiento de reducción se designaron tres mecanismos de flexibilidad, basados en el mercado: Comercio de Emisiones (CE), Aplicación Conjunta (AC) y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

A pesar de que estos tres mecanismos operan de manera diferente, se basan en el mismo principio: permitir a los países industrializados reducir sus emisiones en cualquier parte del mundo, donde estas sean más económicas, y luego incluir estas reducciones a sus metas nacionales. AC y el MDL son considerados mecanismos basados en proyectos, ya que financian proyectos actuales. La AC, generalmente financia proyectos en Europa del Este y la ex Unión Soviética, mientras que el MDL solo puede aplicarse en países en vía de



desarrollo que no cuenten con una limitación de emisiones de gas de efecto invernadero bajo el Protocolo de Kioto. Por lo tanto, el MDL es el único componente del Protocolo de Kioto que involucra a países en vías de desarrollo en la reducción de la emisión de GEI. El MDL, también se diferencia en que los créditos de reducción de emisiones, que fueron generados por sus proyectos desde el año 2000, pueden valer para reducir los del periodo 2008–2012. Finalmente, el MDL tiene un mandato explícito de promover el desarrollo sustentable, a diferencia de AC o del CE.

El proceso de desarrollo de un acuerdo en Producción más Limpia consta de las siguientes etapas:

- Diagnóstico inicial de la empresa: utilizando la metodología de las evaluaciones preliminares.
- Presentación de la problemática ambiental que enfrenta el subsector y de las oportunidades que posee este al implementar PML.
- Desarrollo de evaluaciones en planta de la empresa.
- Priorización de opciones, elaboración de un plan de acción y presentación de informe respectivo.
- Firma del acuerdo de Producción más Limpia.
- Implementación de las opciones generadas y priorizadas.
- Seguimiento y monitoreo de los beneficios económicos y ambientales encontrados.

- Diseminación de los logros obtenidos en la planta.

#### **2.1.6. Generación de vapor con energía renovable en sustitución de combustibles fósiles**

El desarrollo y operación de los actuales sistemas de producción y consumo necesitan grandes cantidades de energía de vapor como principal elemento dentro de su proceso.

Entre las energías renovables destaca el uso de productos obtenidos a partir de materia orgánica para producir energía de vapor. Estos componen lo que se denomina comúnmente biomasa, una definición que abarca un gran grupo de materiales de diversos orígenes y con características muy diferentes. Los residuos de aprovechamientos forestales y cultivos agrícolas, residuos de podas de jardines, residuos de industrias agroforestales, cultivos con fines energéticos, combustibles líquidos derivados de productos agrícolas (los denominados biocombustibles), residuos de origen animal o humano, entre otros, todos pueden considerarse dentro de la citada definición. Esta variedad, tanto de recursos como de aplicaciones, es la referencia como la principal característica de la biomasa.

Conviene tener muy presente esta diversidad cuando se quiere realizar una aproximación a una energía que comienza su amplio perfil desde la definición, ya que biomasa, sin la acepción energética, es la cantidad de materia viva presente en un medio o en un organismo. La combustión de biomasa no contribuye al aumento del efecto invernadero porque el carbono que se libera forma parte de la atmósfera actual (es el que absorben y liberan continuamente las plantas durante su crecimiento), y no del subsuelo, capturado en épocas remotas, precisamente como el gas o el petróleo.

La energía que contiene la biomasa es solar, almacenada a través de la fotosíntesis, proceso por el cual algunos organismos vivos, como las plantas, utilizan la energía solar para convertir los compuestos inorgánicos que asimilan (como el CO<sub>2</sub>) en compuestos orgánicos.

El uso de la biomasa como recurso energético, en lugar de los combustibles fósiles comúnmente utilizados, tiene ventajas medioambientales de primer orden, como son:

- Disminución de las emisiones de azufre.
- Disminución de las emisiones de partículas.
- Emisiones reducidas de contaminantes.
- Ciclo neutro de, sin contribución al efecto invernadero.
- Reducción del mantenimiento y de los peligros derivados del escape de gases tóxicos y combustibles en las casas aledañas a las plantas industriales.
- Reducción de riesgos de incendios forestales y de plagas de insectos.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas, evitando su quema en el terreno.
- Posibilidad de utilización de tierras ociosas con cultivos energéticos.
- Independencia de las fluctuaciones de los precios de los combustibles provenientes del exterior (no son combustibles importados).
- Mejora socioeconómica de las áreas rurales. Estas ventajas convierten a la biomasa en una de las fuentes potenciales de empleo, siendo un elemento de gran importancia para el equilibrio territorial, en especial en las zonas rurales.

## **2.2. Descripción del proceso**

Actualmente se da la recolección de desechos en la planta de beneficio y su traslado a la planta de subproductos, en donde, se procede a la descarga de los recipientes o comúnmente llamados toneles, y su posterior clasificación y ubicación según sea pluma, víscera y sangre.

### **2.2.1. Sistema de conversión de los subproductos avícolas en harinas especiales**

Se utilizan varios medios de transporte entre ellos bandas, gusanos helicoidales para hacer llegar el subproducto a los 5 cocinadores respectivos en la que cada uno es puesta en marcha tomando en cuenta variables de presión, temperatura, y tiempo, variables que están definidas y que se tienen que cumplir para que los valores proteínicos sean los establecidos, siendo cocinadas como lentas y rápidas según la presión de vapor que se introduce internamente que puede ser de 40, 100 y 120 psi respectivamente.

Las siguientes condiciones se recomiendan para el procesamiento de harina de plumas que presenten una humedad inicial del 72 % como máximo con una calidad final definida por: contenido de proteína entre 75 a 80 %, digestibilidad en pepsina 0,002 % mayor a 65 % y contenido máximo de ceniza del 3 %:

- Presión del cocinador: 5 a 5,5 bar (72,5 a 80 psi)
- Presión de hidrólisis: 40 a 50 psi
- Tiempo de duración de hidrólisis: 60 minutos aproximadamente

Una vez finalizado el proceso es fundamental determinar la calidad del producto, para ello un parámetro determinante es la digestibilidad del contenido de proteína total, ya que demostrará si el proceso se ha realizado de manera adecuada.

El análisis de digestibilidad de pepsina es de los más corrientes para tal fin. Este es un procedimiento de control de calidad que proporciona información adicional acerca del valor nutricional de las harinas como fuente de proteínas. Niveles bajos de digestibilidad de pepsina (inferiores a 65 %) indican que la harina no ha sido procesada correctamente, por lo que no es recomendable incluirla en la dieta de ningún animal, ya que no podrá ser bien digerida. Niveles superiores a 80 % indican un procesado excesivo con menor disponibilidad de cistina y de otros aminoácidos. Niveles comprendidos entre 66 y 80 % se consideran adecuados.

Los resultados recomendados que debería dar este análisis según el producto obtenido, se muestran en la tabla I.

**Tabla I. Resultados esperados del proceso de subproductos**

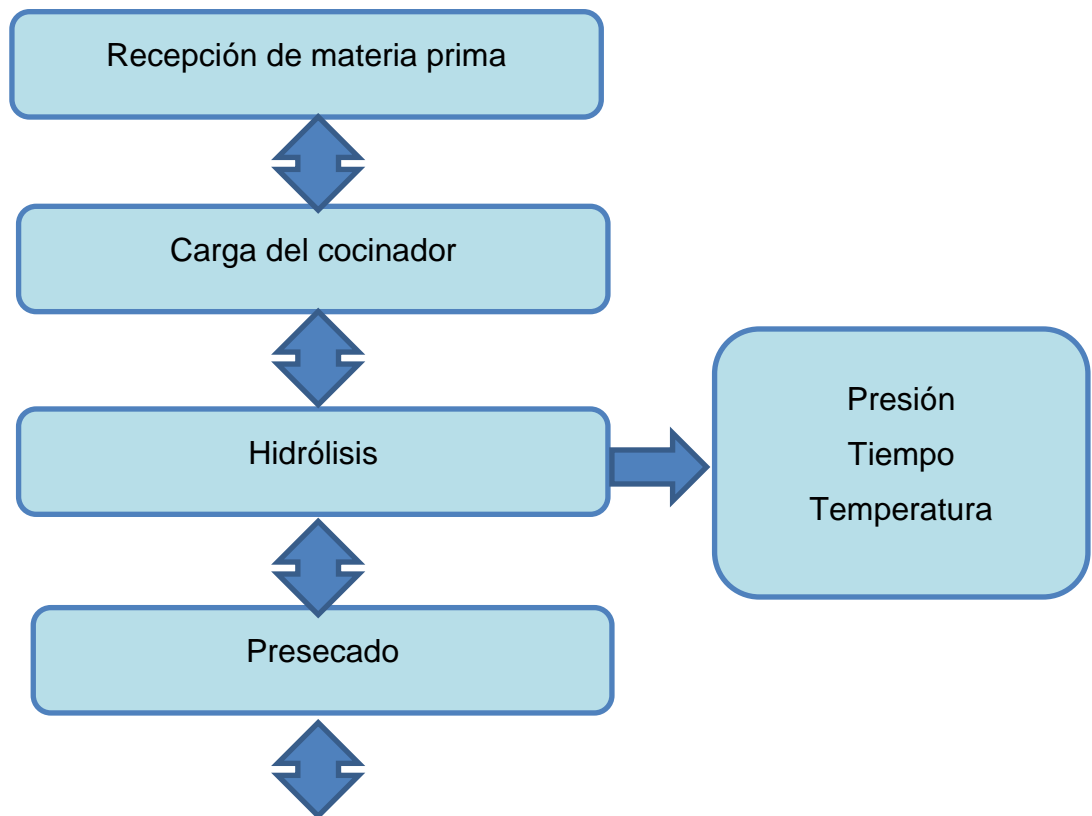
<b>producto</b>	<b>Digestibilidad en pepsina 0,002</b>
Harina de vísceras de pollo	Mínimo del 80 %
Harina de pluma-sangre	Mínimo del 55 %
Harina de pluma	Mínimo del 65 %
Harina de sangre	Mínimo del 80 %
Harina mixta o triple	Mínimo del 72 %

Fuente: AVALLONE, Eugene. *Clave para una buena calidad en las harinas de subproducto avícolas*. www.scipem.com. Consulta: 10 de julio de 2014.

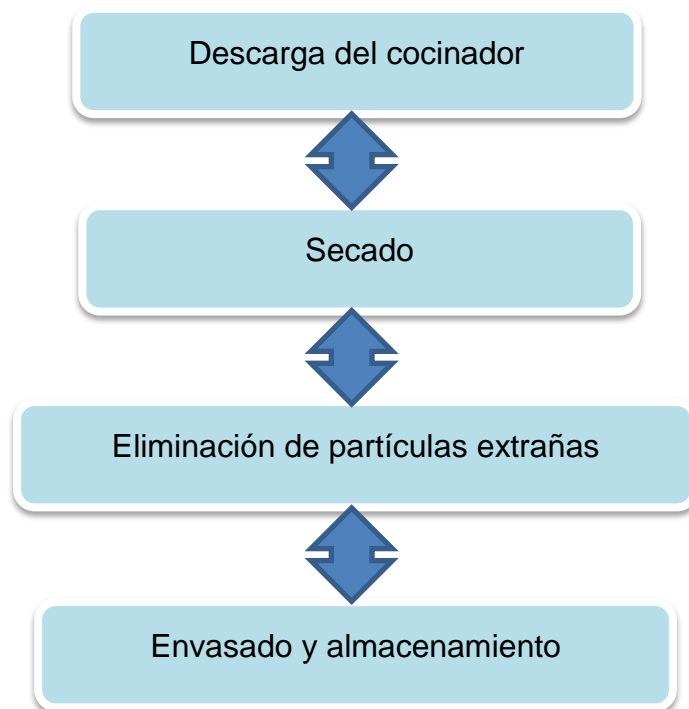
### 2.2.2. Línea de proceso de elaboración de harinas de subproductos avícolas

Los procesos aplicados en la elaboración de harinas de subproductos avícolas tienen como principal objetivo aumentar la digestibilidad de la proteína total que contiene la materia prima. El método tradicional y más utilizado en la actualidad es por hidrólisis. A continuación, en la figura 2 se presenta un diagrama de flujo simplificado del proceso de obtención de harina mediante dicho método:

Figura 2. Flujo simplificado del proceso en la obtención de harinas



Continuación de la figura 2.



Fuente: elaboración propia.

### 2.3. Descripción del problema

Desde hace algunos años la industria avícola de Guatemala está en constante expansión y son diversos los factores que contribuyen a este crecimiento, entre los que se pueden mencionar:

- La eficiencia productiva
- La reducción de costos de producción

Ambos son consecuencia de una mayor inversión en tecnología en toda la cadena. Este crecimiento tiene innumerables ventajas económicas y

productivas, como también se plantea el problema de un considerable aumento de los desechos orgánicos, principalmente los derivados y excretas de las aves.

### **2.3.1. Energías renovables y la aplicación de la gallinaza como combustible**

Se tiene la oportunidad concreta para avanzar a través del tema de Producción más Limpia y al desarrollo sustentable de Guatemala, ya que este proyecto consta de la instalación de una caldera a biomasa en sustitución de las calderas de combustible fósil (bunker) que por sus características de construcción y funcionamiento híbrida, es posible la aplicación de diversos recursos de biomasa como combustible, siendo estas excretas de aves (gallinaza), leña, mezclas de las mismas, entre otros.

### **2.3.2. Definición de gallinaza**

Se denomina gallinaza a la excreta de ave sola o en mezcla con otros materiales. La cantidad producida de gallinaza por ave y la composición química varía según su origen.

### **2.3.3. La gallinaza como un recurso energético para la combustión**

Al inicio de los años 80 se identificó la gallinaza como un combustible potencial, y a partir de entonces The Energy Technology Support Unit (ETSU) del Departamento de Industria y Comercio del Reino Unido ha impulsado la investigación y desarrollo de tecnología para su aprovechamiento.



La gallinaza tiene un contenido calórico neto de 13,5 giga joule por tonelada (GJ/ton), aproximadamente la mitad del carbón mineral, con la ventaja que es un combustible de biomasa renovable, que puede sustituir en parte el uso de fuentes no renovables. El contenido de cenizas es de 12-15 % con la ventaja, también que son aprovechables como fertilizantes. La concentración relativa de nutrientes en la ceniza es de 30 %, y se han realizado pruebas de campo donde se ha comprobado la viabilidad de usarla como fuente de nutrientes para los cultivos (Agricultural Development and Advisor y Service, 1993).

#### **2.3.4. Termodinámica de la gallinaza**

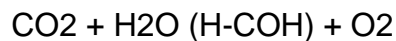
La gallinaza ha demostrado ser un combustible de biomasa renovable viable. El poder calorífico promedio es de alrededor de 4,1 Btu/lb (9,55 kJ/kg), y es por lo general bastante seco alrededor de 25 % de contenido de humedad, en comparación con otras fuentes de biomasa. La estequiometría de la combustión de las excretas de aves de corral se traducen en una temperatura de llama adiabática de aproximadamente 2 000 ° F-2 100 ° F, que es más que suficiente para probar la viabilidad técnica, medioambiental y económica de la gallinaza como una fuente de energía térmica.

#### **2.4. Energías renovables**

Son producto de la reacción de los recursos naturales, capaces de regenerarse natural o artificialmente. Son recursos que, al estar sometidos a ciclos, se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza y que puedan tener distinta aplicación.

### **2.4.1. Definición de la energía de la biomasa**

Es toda materia orgánica de origen vegetal o animal, y a la obtenida a partir de esta mediante transformaciones naturales o artificiales. La energía que se puede obtener de la biomasa proviene de la luz solar, la cual gracias al proceso de fotosíntesis, es aprovechada por las plantas verdes mediante reacciones químicas en las células, las que toman dióxido de carbono del aire y lo transforman en sustancias orgánicas, según una reacción del tipo:

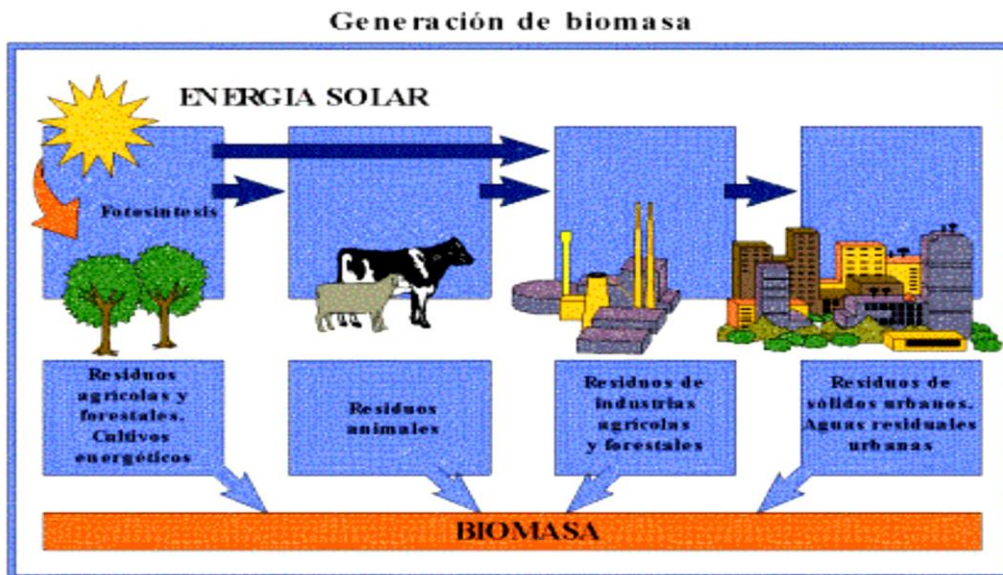


En estos procesos de conversión la energía solar se transforma en energía química que se acumula en diferentes compuestos orgánicos (polisacáridos, grasas) y que es incorporada y transformada por el reino animal, incluyendo al ser humano, el cual invierte la transformación para obtener bienes de consumo.

Son fuentes de biomasa los siguientes:

- Residuos agrarios y animales
- Residuos forestales
- Residuos industriales (carpinterías)
- Cultivos vegetales concretos para este fin
- Residuos sólidos urbanos

Figura 3. **Ciclo de generación de la biomasa**



Fuente: Instituto para la diversificación y ahorro de energía IDAE. *Manual de energías renovables*. <http://www.idae.es/index.php/idpag.16/mod.pags/mem.detalle>. Consulta: 8 de agosto de 2014.

#### **2.4.2. Biomasa seca**

Es aquella que puede obtenerse en forma natural con un tenor de humedad menor al 60 %, como la leña, paja, entre otros. Este tipo se presta mejor a ser utilizada energéticamente mediante procesos termoquímicos o físicoquímicos, que producen directamente energía térmica o productos secundarios en la forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

#### **2.4.3. Biomasa húmeda**

Se denomina así cuando el porcentaje de humedad supera el 60 %, por ejemplo, en los restantes vegetales, residuos animales, vegetación acuática,

entre otros. Resulta especialmente adecuada para su tratamiento mediante procesos químicos, o en algunos casos particulares, mediante simples procesos físicos, obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos. Existen también los procesos termoquímicos que comprende básicamente la combustión, gasificación y pirólisis, encontrándose aun en etapa de desarrollo la liquefacción directa.

#### **2.4.4. Historia de la biomasa**

La biomasa ha sido el primer combustible empleado por el hombre y el principal hasta la revolución industrial. Se utilizaba para cocinar, calentar el hogar, para hacer cerámica y, posteriormente, para producir metales y para alimentar las máquinas de vapor. Fueron precisamente estos nuevos usos, que progresivamente requerían mayor cantidad de energía en un espacio cada vez más reducido, los que promocionaron el uso del carbón como combustible sustitutivo, a mediados del siglo XVIII. Desde ese momento se empezaron a utilizar otras fuentes energéticas más intensivas (con un mayor poder calorífico), y el uso de la biomasa fue bajando hasta mínimos históricos que coincidieron con el uso masivo de los derivados del petróleo y con unos precios bajos de estos productos.

A pesar de ello, la biomasa está retomando su papel destacado como fuente energética en diferentes aplicaciones industriales y domésticas. Por otro lado, el carácter renovable y no contaminante que tiene y el papel que puede jugar en el momento de generar empleo y activar la economía de algunas zonas rurales, hacen que la biomasa sea considerada una clara opción actual.

#### **2.4.5. Aplicaciones de la biomasa**

Las aplicaciones térmicas con producción de vapor y agua caliente sanitaria son las más comunes dentro del sector de la biomasa. En un nivel menor de desarrollo se sitúa la producción de electricidad.

La producción térmica sigue una escala de usos que comienza en las calderas industriales.

Las materias más utilizadas para las aplicaciones térmicas de la biomasa son los residuos de las industrias agrícolas (cáscaras de almendras, huesos de aceitunas, arroz, bagazo de la caña) y forestales (astillas, aserrines) y los residuos de actividades selvícolas (podas, limpieza de bosques) y de cultivos leñosos (podas). En muchas ocasiones, algunos de estos residuos se transforman en pellets y briquetas, astillas molidas y compactadas que facilitan su transporte, almacenamiento y manipulación, pero que requieren de un tratamiento previo encareciendo el producto final.

La producción de electricidad precisa de sistemas aun más complejos dado el bajo poder calorífico de la biomasa, su alto porcentaje de humedad y su gran contenido en volátiles. La gran demanda de combustible de este tipo de plantas obliga a asegurar un abastecimiento continuo, que tiene la dualidad de encarecer su precio por la distancia a la que se debe buscar el suministro, pero también puede reducirlo al adquirir grandes cantidades.

#### **2.4.6. Procesos de conversión de la biomasa en energía**

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de

oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles (formados por cadenas largas del tipo  $C_nH_m$ , y presencia de  $CO_2$ ,  $CO$  e  $H_2$ ) son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa; este depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad. Así, normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o húmeda.

En general se puede considerar que el poder calorífico de la biomasa puede oscilar entre los 3 000–3 500 kcal/kg para los residuos ligno-celulósicos, los 2 000–2 500 kcal/kg para los residuos urbanos y finalmente los 10 000 kcal/kg para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos. Estas características, juntamente con el bajo contenido de azufre de la biomasa, la convierten en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente.

Cabe destacar nuevamente que desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera es neutro. En efecto, el  $CO_2$  generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por lo tanto, no aumenta la cantidad de  $CO_2$  presente en la atmósfera. Al contrario, en el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera a la atmósfera es el que está fijo a la tierra desde hace millones de años.

#### **2.4.6.1. Combustión**

Es el más sencillo y más ampliamente utilizado, tanto en el pasado como en el presente. Permite obtener energía térmica, ya sea para usos domésticos

(cocción, calefacción) o industriales (calor de proceso, vapor mediante una caldera, energía mecánica utilizando el vapor de una máquina). Las tecnologías utilizadas para la combustión directa de la biomasa abarcan un amplio espectro que va desde el sencillo fogón a fuego abierto (aun utilizado en vastas zonas para la cocción de alimentos), hasta calderas de alto rendimiento utilizadas en la industria.

#### **2.4.6.2. Gasificación**

Consiste en la quema de biomasa (fundamentalmente residuos foresto industriales) en presencia de oxígeno, en forma controlada, de manera de producir un gas combustible denominado gas pobre por su bajo contenido calórico en relación, por ejemplo, al gas natural (del orden de la cuarta parte).

La gasificación se realiza en un recipiente cerrado, conocido por gasógeno, en el cual se introduce el combustible y una cantidad de aire menor a la que se requeriría para su combustión completa. El gas pobre obtenido puede quemarse luego en un quemador para obtener energía térmica, en una caldera para producir vapor, o bien ser enfriado y acondicionado para su uso en un motor de combustión interna que produzca, a su vez, energía mecánica.

#### **2.4.6.3. Pirolisis**

Proceso similar a la gasificación (a la cual en realidad incluye), por el cual se realiza una oxigenación parcial y controlada de la biomasa, para obtener como producto una combinación variable de combustibles sólidos (carbón vegetal), líquidos (efluentes piroleñosos) y gaseosos (gas pobre). Generalmente, el producto principal de la pirólisis es el carbón vegetal, considerándose a los líquidos y gases como subproductos del proceso.

La pirólisis con aprovechamiento pleno de subproductos tuvo su gran auge antes de la difusión masiva del petróleo, ya que constituía la única fuente de ciertas sustancias (ácido acético, metanol, entre otros), que luego se produjeron por la vía petroquímica. Actualmente, solo la producción de carbón vegetal reviste importancia cuantitativa. El carbón vegetal como combustible sólido presenta la ventaja frente a la biomasa que le dio origen, de tener un poder calórico mayor o, lo que es lo mismo, un peso menor para igual cantidad de energía, lo que permite un transporte más fácil. No obstante, debe hacerse notar que la carbonización representa una pérdida muy importante de la energía presente en la materia prima, ya que en el proceso consume gran cantidad de ella.

#### **2.4.6.4. Procesos bioquímicos**

Estos se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos, y pueden dividirse en dos grandes grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos).

#### **2.4.6.5. Procesos anaeróbicos**

La fermentación anaeróbica, para la que se utiliza generalmente residuos animales o vegetales de baja relación carbono/nitrógeno, se realiza en un recipiente cerrado llamado digestor y da origen a la producción de un gas combustible denominado biogás.

Adicionalmente, la biomasa degradada que queda como residuo del proceso de producción del biogás, constituye un excelente fertilizante para cultivos agrícolas. Las tecnologías disponibles para su producción son muy



variadas, pero todas ellas tienen como común denominador la simplicidad del diseño y el bajo costo de los materiales necesarios para su construcción.

El biogás constituido, básicamente por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es un combustible que puede ser empleado de la misma forma que el gas natural. También puede comprimirse para su uso en vehículos de transporte, debiéndose eliminar primero su contenido de CO<sub>2</sub>.

#### **2.4.7. Otros recursos energéticos**

Toda materia orgánica es susceptible de ser transformada en energía útil, por lo tanto queda librado a la imaginación el encontrar nuevos recursos y formas de aprovechamientos donde se puede mencionar la vegetación acuática, cuya utilización y aun cuyo cultivo, ha sido investigado para la producción de energía. Tanto en el ámbito fluvial y lacustre (camalotes) como en el marítimo (fitoplancton), se han realizado experiencias en este sentido: luego de la recolección se procede a la fermentación anaeróbica de estos vegetales para la producción de biogás.

Existen también estudios para el aprovechamiento energético a partir de ciertos tipos de biomasa tales como algas verdes, especies de látex ricas en caucho o en resinas, entre otros. Sin embargo, su importancia cuantitativa es muy baja, por lo que no supera en la actualidad su condición de proyecto investigativo. Un caso que se considera importante mencionar, es el de la producción de aceites vegetales a partir de plantas oleaginosas como el girasol, soja, maní, semilla de algodón, entre otros.

#### **2.4.8. Capacidad calorífica de la biomasa para generar vapor**

Esta va estar determinada por medio del poder calorífico y clase de biomasa.

### **2.5. Equipos generadores de vapor**

Las calderas son la parte más importante del circuito de vapor, después de todo, es donde se crea el vapor.

#### **2.5.1. Caldera de vapor**

Una caldera tiene la función de producir vapor para ser utilizado en la generación de energía mecánica, eléctrica, y para la alimentación a equipos de procesos. Se ha llegado a plantear que la caldera es el corazón de toda la industria moderna teniendo la función de transferir al agua la energía en forma de calor de los gases producto de la combustión de sustancias combustibles, para que esta se convierta en vapor.

El vapor o agua caliente debe ser alimentado en las condiciones deseadas, es decir, de acuerdo con la presión, temperatura y calidad, y en la cantidad que se requiera. Por razones de economía, el vapor debe ser suministrado con un mínimo de pérdidas.

#### **2.5.2. Funcionamiento de una caldera**

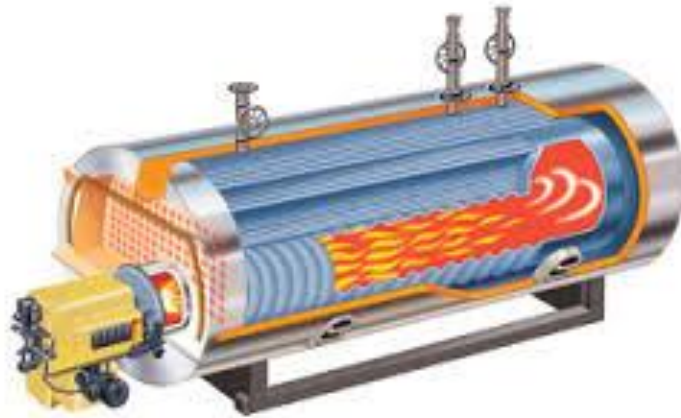
El principio básico de funcionamiento de las calderas consiste en una cámara donde se produce la combustión, con la ayuda del aire comburente y a través de una superficie de intercambio se realiza la transferencia de calor.

### 2.5.3. Componentes genéricos y básicos de una caldera

La estructura real de una caldera dependerá del tipo, y de forma general se pueden describir las siguientes partes:

- Quemador
- Horno
- Tubos de intercambio de vapor
- Separadores de líquido-vapor
- Chimenea
- Carcasa

Figura 4. **Caldera genérica**



Fuente: *Manual de calderas Hurst*. p. 22.

#### 2.5.3.1. Quemador

Sirve para quemar el combustible.

### **2.5.3.2. Hogar**

Alberga el quemador y en su interior se realiza la combustión del combustible utilizado y la generación de los gases calientes.

### **2.5.3.3. Tubos de intercambio de calor**

El flujo de calor desde los gases hasta el agua se efectúa a través de su superficie. También en ella se generan las burbujas de vapor.

### **2.5.3.4. Separador líquido-vapor**

Es necesario para separar las gotas de agua líquida con los gases aun calientes, antes de alimentarla a la caldera.

### **2.5.3.5. Chimenea**

Es la vía de escape de los humos y gases de combustión después de haber cedido calor al fluido.

### **2.5.3.6. Carcasa**

Contiene el hogar y el sistema de tubos de intercambio de calor.

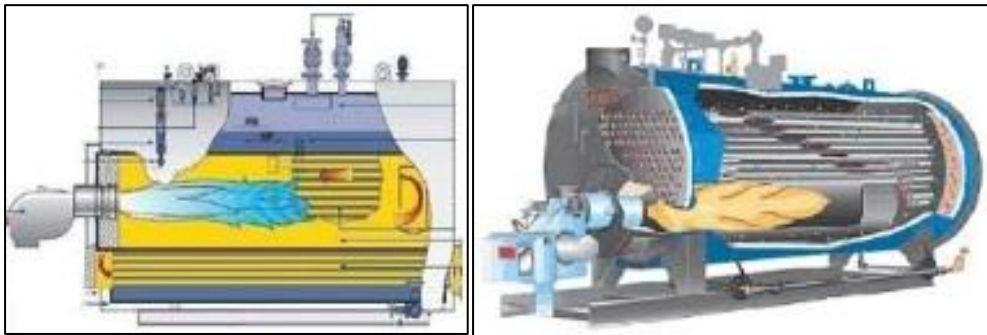
## **2.5.4. Clasificación y aplicaciones de las calderas**

Existen varias características que dan lugar a varias agrupaciones de las calderas que pueden ser:

### 2.5.4.1. Calderas pirotubulares

Como su nombre lo indica, en esta caldera el humo y los gases calientes circulan por el interior de los tubos y el agua se encuentra por el exterior. Estas calderas pueden ser verticales u horizontales y se caracterizan por disponer de tres partes bien definidas como se ve a continuación.

Figura 5. Disposición una caldera pirotubular



Fuente: *Manual de calderas Hurst*. p. 25.

- Una caja de fuego donde va montado el hogar. Esta caja puede ser de sección rectangular o cilíndrica, es de doble pared, por lo que el hogar queda rodeado de una masa de agua.
- Un cuerpo cilíndrico atravesado longitudinalmente por tubos de pequeño diámetro, por cuyo interior circulan los gases calientes.
- Una caja de humos, que es la prolongación del cuerpo cilíndrico, a la cual llegan los gases después de pasar por el haz tubular, para salir hacia la chimenea. Estas calderas trabajan, casi siempre, con tiro forzado, el cual

se consigue mediante un chorro de vapor de la misma caldera o utilizando vapor de escape de la máquina.

Pueden producir agua caliente o vapor saturado. En el primer caso, se les instala un estanque de expansión que permite absorber las dilataciones del agua. En el caso de las calderas de vapor poseen un nivel de agua a 10 o 20 cm sobre los tubos superiores.

- Ventajas
  - Menor costo inicial debido a la simplicidad de diseño en comparación con las acuotubulares de igual capacidad.
  - Mayor flexibilidad de operación, ya que el gran volumen de agua permite absorber fácilmente las fluctuaciones en la demanda.
  - Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación, porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son eliminadas por las purgas.
  - Facilidad de inspección, reparación y limpieza.
  
- Desventajas
  - Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad.
  - Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
  - Gran peligro en caso de exposición o ruptura, debido al gran volumen de agua almacenado.
  - No son empleadas para altas presiones.

### 2.5.4.2. Calderas acuotubulares

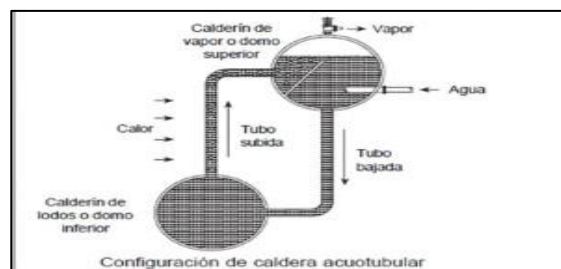
En estas calderas, por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se encuentran en contacto con las caras exteriores de ellos y son de pequeño volumen de agua. Las calderas acuotubulares son las empleadas, casi exclusivamente, cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimiento, debido a que los esfuerzos desarrollados en los tubos por las altas presiones se traducen en esfuerzos de tracción en toda su extensión.

La limpieza de estas calderas se lleva a cabo fácilmente porque las incrustaciones se quitan utilizando dispositivos limpiadores de tubos accionados mecánicamente o por medio de aire.

La circulación del agua, en este tipo de caldera, alcanza velocidades considerables con lo que se consigue una transmisión eficiente del calor y, por consiguiente, se eleva la capacidad de producción de vapor.

En la figura 6 se representa una caldera con un solo tubo de agua. Solo una rama del tubo se calienta, ya que la otra se encuentra protegida por una pantalla aisladora.

Figura 6. **Configuración de una caldera acuotubular**



Fuente: SOISSON E, Harold. *Manual de calderas industriales*. p. 40.

En la rama izquierda, el calor calienta el agua, generando vapor y haciendo que ambos (agua y vapor) se muevan hacia arriba.

Esta mezcla entra al colector y el agua fría pasa a ocupar su lugar en el tubo calentado. El agua fría se encuentra en el tubo no calentado y en la parte inferior del colector.

De esta forma existe un movimiento continuo de agua-vapor en la dirección que señalan las flechas, en las que siempre la mezcla de agua caliente y vapor sube al colector, mientras el agua fría del fondo del colector baja y ocupa el lugar de esta mezcla.

- Ventajas
  - Menor peso por unidad de potencia generada.
  - Por tener pequeño volumen de agua en relación a su capacidad de evaporación, puede ser puesta en marcha rápidamente.
  - Mayor seguridad para altas presiones.
  - Mayor eficiencia.
  - Son inexplosivas.
  
- Desventajas
  - Su coste es superior.
  - Deben ser alimentadas con agua de gran pureza, ya que las incrustaciones en el interior de los tubos son, a veces, inaccesibles y pueden provocar roturas de los mismos.



- Debido al pequeño volumen de agua, le es más difícil ajustarse a las grandes variaciones del consumo de vapor, siendo necesario hacerlas funcionar a mayor presión de la requerida.

#### **2.5.4.3. En función del número de pasos y del tipo de tiro**

- De un paso de recorrido de los gases
- De varios pasos
- De tiro natural
- De tiro inducido
- De tiro forzado

#### **2.5.4.4. En función de las necesidades energéticas del proceso**

- Calderas de agua caliente
- Calderas de agua sobrecalentada
- Calderas de vapor saturado
- Calderas de vapor sobrecalentado
- Calderas de fluido térmico

### **2.6. Eficiencia de los sistemas de producción de vapor**

Depende de muchas variables, considerando la disponibilidad y rendimiento de la caldera.

### **2.6.1. Importancia de la eficiencia para generar vapor**

El vapor es un servicio ya muy común en la industria guatemalteca, que se utiliza para proporcionar energía térmica a los procesos de transformación de materiales a productos, por lo que la eficiencia del sistema para generarlo, la distribución adecuada y el control de su consumo, tendrán un gran impacto en la eficiencia total de la planta. Esta situación se refleja en los costos de producción del vapor y, en consecuencia, en la competitividad y sustentabilidad de la empresa.

Este requerimiento energético demandado por la industria lo conforman, principalmente los sistemas como calderas, que se utilizan para la generación de vapor, el cual se requiere para suministrar trabajo mecánico y calor a los procesos.

### **2.6.2. Costos de inversión tecnológica**

Los costos de inversión para instalaciones de biomasa son superiores a sus homólogos para instalaciones de combustibles convencionales. Esto se debe, no solo a la falta de desarrollo de sistemas de producción en serie para algunos componentes, sino que también influyen las características especiales requeridas por los equipos para poder utilizar biomasa de forma eficiente.

En cambio, en cuanto a los costos de operación o explotación de plantas de biomasa, su comparación frente a combustibles convencionales puede ser favorable o no según el tipo de aplicación. La principal componente de los costos de explotación en este tipo de instalaciones es la compra de la biomasa. Los costos debidos al suministro de la biomasa varían según la cantidad demandada, la distancia de transporte y los tratamientos para mejorar su

calidad, como el secado, chipiado, entre otros, a ello hay que añadir la disponibilidad del combustible, su estacionalidad y la variación de los precios, íntimamente ligados al comportamiento de las cosechas, en el caso de residuos agrícolas y en el presente caso, la industria agroalimentaria.

### 2.6.3. Ventajas y desventajas del sistema actual que utiliza combustible fósil *versus* propuesta de biomasa

El empleo energético de la biomasa presenta numerosas ventajas frente a la utilización de combustibles fósiles como demuestra la siguiente tabla.

Tabla II. **Ventajas de los combustibles biomasa *versus* fósiles**

<b>Ventajas de la biomasa frente a los combustibles fósiles</b>	
<b>BIOMASA</b>	<b>COMBUSTIBLES FÓSILES</b>
Inagotable	Se agotan
Es abundante	Cada vez hay menos
Precios competitivos y estables	Constante incremento de los precios
Se consigue localmente y en abundancia	Viene del extranjero
Genera puestos de trabajos locales	El beneficio va hacia el exterior
Enriquecimiento local	Endeudamiento local
Es limpia y moderna	Malos olores y riesgos de explosiones
Nulas emisiones de gases nocivos CO <sub>2</sub> y CO neutro	Altas emisiones de gases nocivos CO <sub>2</sub> y CO

Fuente: elaboración propia.

Los precios de los combustibles, incluyendo el bunker según se presenta en la tabla III son de las fluctuaciones en ciertos periodos hasta el año en curso:

Tabla III. Precios fluctuantes de los combustibles fósiles

PRECIOS DIARIOS INTERNACIONALES EIA												PRECIOS PROMEDIO A CONSUMIDOR FINAL CIUDAD CAPITAL					
FECHA	Tasa	WTI EIA	USGC Conventional Regular Gasoline FOB		USGC Ultra-Low Sulfur No 2 Diesel		USGC Kerosene-Type Jet Fuel		Mont Belvieu, TX Propane			Superior	Regular	Diesel	Bunker	Glp Cilindro 25Lbs	
	Cambio		US\$/GALON	Q/GALON	US\$/GALON	Q/GALON	US\$/GALON	Q/GALON	US\$/GALON	Q/GALON	Q/Libra					Q/GALON	Q/Cilindro
		US\$/BARRIL	GASOLINA REGULAR		DIESEL		KEROSINA		GLP								
02-ene-13	7.90252	93.14	2.64	20.85	3.00	23.69	2.99	23.65	0.87	6.87	1.64	32.88	31.91	31.88	23.08	140.00	5.60
03-ene-13	7.93823	92.97	2.65	21.04	2.98	23.68	2.99	23.77	0.87	6.92	1.65	32.88	31.91	31.88	23.08	140.00	5.60
04-ene-13	7.96116	93.12	2.67	21.27	3.00	23.91	2.99	23.81	0.84	6.69	1.60	32.88	31.91	31.88	23.10	140.00	5.60
07-ene-13	7.96988	93.20	2.65	21.14	3.01	24.01	3.03	24.17	0.84	6.72	1.60	32.60	31.60	31.59	23.10	140.00	5.60
08-ene-13	7.95036	93.21	2.68	21.32	3.03	24.11	3.09	24.55	0.84	6.69	1.60	32.60	31.60	31.59	23.10	140.00	5.60
09-ene-13	7.93307	93.08	2.64	20.95	3.05	24.16	3.08	24.46	0.83	6.54	1.56	32.60	31.60	31.59	23.10	140.00	5.60
10-ene-13	7.90678	93.81	2.65	20.97	3.03	23.94	3.07	24.24	0.83	6.55	1.56	33.88	32.91	32.45	23.10	140.00	5.60
11-ene-13	7.90917	93.60	2.61	20.60	3.01	23.77	3.06	24.19	0.81	6.39	1.53	33.88	32.91	32.45	22.95	140.00	5.60
14-ene-13	7.89830	94.27	2.61	20.61	3.06	24.20	3.13	24.73	0.80	6.30	1.50	33.83	32.86	32.37	22.95	140.00	5.60
15-ene-13	7.88209	93.26	2.56	20.20	3.00	23.66	3.10	24.40	0.80	6.33	1.51	33.83	32.86	32.37	22.95	140.00	5.60
16-ene-13	7.86883	94.28	2.59	20.35	3.01	23.66	3.06	24.06	0.80	6.32	1.51	33.83	32.86	32.37	22.95	140.00	5.60
17-ene-13	7.85367	95.49	2.62	20.61	3.02	23.71	3.07	24.13	0.81	6.34	1.51	33.83	32.86	32.37	22.95	140.00	5.60
18-ene-13	7.85896	95.61	2.65	20.82	3.05	24.00	3.09	24.26	0.83	6.55	1.56	33.83	32.86	32.37	22.98	140.00	5.60
22-ene-13	7.84381	96.09	2.66	20.86	3.06	24.03	3.12	24.46	0.87	6.79	1.62	33.05	32.07	31.44	22.98	140.00	5.60
23-ene-13	7.84280	95.06	2.66	20.88	3.07	24.10	3.14	24.59	0.86	6.74	1.61	33.05	32.07	31.44	22.98	140.00	5.60
24-ene-13	7.84275	95.35	2.67	20.90	3.09	24.20	3.14	24.61	0.86	6.78	1.62	33.05	32.07	31.44	22.66	140.00	5.60
25-ene-13	7.84679	95.15	2.69	21.11	3.05	23.94	3.11	24.43	0.86	6.73	1.61	33.05	32.07	31.44	22.66	140.00	5.60

Fuente: Ministerio de energía y minas de Guatemala. [http://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_pri\\_spt\\_s1\\_d.htm](http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm). Consulta: 22 de agosto de 2014.

## 2.7. Análisis energético y medioambiental

La principal razón para la instalación de la caldera a biomasa es que pese al proceso de combustión, sigue un ciclo neutro de CO<sub>2</sub>. Esto quiere decir, que la cantidad de dióxido de carbono emitido anualmente derivado del proceso de combustión, es la misma que necesita la planta (en este caso, la gallinaza y leña) para volver a generar biomasa. Por ello, el ciclo se denomina neutro o circular.

Sin embargo, aunque bien es cierto que el proceso de combustión no aumenta la cantidad total de CO<sub>2</sub> que hay en la atmósfera, algunos procesos o trabajos desarrollados durante la actividad de la planta, si que lo hacen.

En general, este CO<sub>2</sub> emitido proviene de los vehículos y máquinas que intervienen en el proceso. En el caso del presente proyecto, la recolección, remoción y chipiado mediante tractores y el transporte en camión, emiten CO<sub>2</sub> que sí aumenta la cantidad total en la atmósfera.

### **2.7.1. Controles ambientales**

A pesar de la evolución de las tecnologías, las centrales de generación de vapor siguen generando grandes cantidades de emisiones que hay que gestionar adecuadamente tales como:

- Emisiones atmosféricas

Proceden principalmente de los subproductos de la combustión y son evacuados por la chimenea:

- Dióxido de azufre SO<sub>2</sub>.
  - Óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>.
  - Partículas de ceniza volante en polvo.
  - Trazas de otros materiales.
- Emisiones de sólidos

Se concentran principalmente en:

- Desechos del sistema de tratamiento de aguas

### **2.7.2. Gases de combustión emitidos durante la operación**

Los gases contaminantes más significativos originados en los procesos de combustión son:

- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub> simbolizados conjuntamente como NO<sub>x</sub>)
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metales pesados:
  - Arsénico (As)
  - Cadmio (Cd)
  - Cromo (Cr)
  - Cobre (Cu)
  - Mercurio (Hg)
  - Níquel (Ni)
  - Plomo (Pb)
  - Selenio (Se)
  - Zinc (Zn)

Contaminantes orgánicos volátiles (COV):

- Contaminantes orgánicos volátiles no metálicos (COVNM)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Monóxido de carbono (CO)
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

La composición de los gases de combustión depende directamente de la composición química del combustible. En el caso de la combustión de biomasa, muchos de los componentes citados anteriormente no aparecen.

### **2.7.3. Análisis de los porcentajes en pesos de los componentes**

Para la biomasa, su análisis elemental indica que su contenido en carbono está en torno al 50 %, hidrógeno 5,5 %, nitrógeno menor a 1 % y oxígeno 40 %, siendo despreciable la concentración en azufre.

A continuación se detalla la fracción de otros componentes.

#### **2.7.3.1. Cenizas**

Comprende los residuos sólidos no quemados resultantes de la combustión incompleta del combustible. Producen escorias y depósitos en los refractarios y disminuyen el poder calorífico del combustible, pues además de no aportar calor absorben calor sensible en el hogar. En la biomasa estos contenidos son superiores a los de otros combustibles, pudiendo alcanzar porcentajes superiores al 5 %, aunque los valores más comunes varían entre 2 y 5 %.

#### **2.7.3.2. Humedad**

Es el agua contenida en el combustible, que puede ser de dos clases: humedad libre superficial, de fácil eliminación; y humedad retenida en los poros de la biomasa, que precisa temperaturas elevadas para ser eliminada, y que puede conllevar degradación de la materia orgánica. La humedad superficial en

la biomasa es elevada, existiendo combustibles en torno al 8 % de humedad y otros en los que se supera el 50 %, dependiendo mucho de la procedencia, tiempo de recogida y tratamientos posteriores.

### **2.7.3.3. Materias volátiles**

Son combinaciones de carbono (C), hidrógeno (H), y otros gases, que determinan la forma y longitud de la llama. La biomasa, en general, tiene un contenido en volátiles muy alto (>65 %) que favorece su combustión.

### **2.7.3.4. Carbono fijo**

Es la fracción residual del carbono combinado químicamente. El contenido en carbono se deduce de la siguiente fórmula:

$$C (\%) = 100 - \% \text{ humedad} - \% \text{ volátiles} - \% \text{ cenizas}$$





### **3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

#### **3.1. Levantamiento de información y estudios**

El levantamiento de información incluye la inspección del terreno, la recopilación bibliográfica y el desarrollo de estudios específicos, tales como: topografía, estudio de suelos, ingeniería básica, análisis del balance térmico y caracterización biofísica del área de instalación.

Siendo la caldera un equipo indispensable para la obtención de vapor, es necesario hacer un completo análisis de los diferentes factores que se emplean para la selección de la caldera, teniendo como objetivo hacer técnica, económica y ambientalmente factible la adquisición de la caldera a biomasa, en sustitución de las actuales calderas que utilizan combustibles fósiles. Lo primero que se tomará en cuenta para determinar la capacidad de la o las calderas a seleccionar es la demanda de vapor existente en el proceso de transformación de los subproductos, para así estar seguro que la caldera no sea antieconómica o que no cubra la demanda necesaria.

Las calderas son recipientes cerrados y a medida que se va generando vapor dentro de estas, se va a necesitar más espacio, por lo que tiene que comprimirse, es por este motivo que el vapor se expande en todas las direcciones ejerciendo presión sobre las paredes de las calderas y sobre la superficie del agua, esta presión se conoce como presión de trabajo, que es otro factor importante que se debe considerar en el proceso térmico donde va a ser utilizado la caldera.

Entonces, la selección de la caldera de vapor debe ser tal, que este funcione de manera adecuada y brinde el servicio de la manera más eficiente posible.

### **3.1.1. Balance térmico**

Se debe determinar las cargas caloríficas existentes en el proceso, que van estar expresadas en unidades de potencia kilo calorías por hora o caballos caldera (BHP), sabiendo que un caballo caldera (CC) es igual a 34.5 Btu /h. Para la elaboración de los subproductos se tiene una gran cantidad de equipos que utilizan vapor.

- Procedimiento a seguir

Las pérdidas de energía por radiación y convección natural de los equipos se los estimará como regla general un 10 % de la carga térmica de cada equipo cuando estos se encuentren aislados correctamente, y del 20 % cuando estos no poseen ningún aislamiento térmico.

Datos específicos de los productos a procesar:

- Plumas
- Vísceras
- Otros

### **3.1.2. Cálculos de las cargas caloríficas**

- Equipos que necesitan vapor.
  - Cocinadores

- Marmitas
- Cocinadores

La planta trabaja con cinco cocinadores para la cocción del producto y tienen distinta capacidad volumétrica, presión de trabajo y tiempos de cocción, para el presente caso se tomará como base los siguientes datos.

$P_{max} = 120 \text{ psi}$

Capacidad = 4000 kg

Tiempo de cocción = 12 horas

Se utiliza la siguiente ecuación para determinar el flujo de energía consumido por equipo.

$$Q = m_o C_p \Delta T = m_o C_p (T_v - T_l)$$

Donde:

$m_o = \text{kg/h}$  flujo masico

$C_p = \text{calor específico}$

$\Delta T = \text{cambio de temperatura de proceso.}$

El cálculo para un cocinador genérico da la siguiente información:

$$Q = (4\,000 \text{ kg/h})(0,955 \text{ Kcal/kg.}^\circ\text{C})(130^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 420\,000 \text{ Kcal/h}$$

Si se cuenta con 5 equipos de consumo aproximado se tiene un dato aproximado de 2 101 000 Kcal/h y realizando conversiones se tiene:

$$1 \text{ Kcal/h} = 4,02 \text{ Btu/h y}$$

$$1 \text{ Bhp} = 33,479 \text{ Btu/h}$$

$$(2\ 101\ 000 \text{ Kcal/h}) / (4,02 \text{ Btu/h/1 Kcal/h}) / (1 \text{ Bhp}/33\ 479 \text{ Btu/h}) = 252,3 \text{ Bhp}$$

Se hace el mismo procedimiento de cálculo, obteniendo la información según la siguiente matriz.

Tabla IV. **Demanda de vapor en una planta de procesamiento de subproductos**

<b>DEMANDA DE VAPOR</b>		
<b>EQUIPOS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>DEMANDA CC</b>
Cocinadores	5	252
Marmitas	3	15
	<b>TOTAL</b>	<b>276</b>

Fuente: elaboración propia.

A este valor se considera un factor de seguridad de 20 %, debido a pérdidas por radiación y convección en las tuberías y en la operación de los equipos.

$$\text{Por lo que se tiene } 276 \times 0,20 = 55,2$$

$$276 + 55,2 = 331,2 \text{ CC} = 331,2 \text{ BHP}$$

También se debe tener en consideración el agua de alimentación, debido a que esta ingresa a la caldera a una presión ligeramente mayor que la presión de operación y a una temperatura aproximada de (100–120°C), menor que la

temperatura de saturación correspondiente a la presión de operación, es por eso que se va a necesitar de calor adicional (calor sensible) para calentar el agua hasta obtener líquido saturado.

Este calor adicional se calcula por medio de tablas, en donde se involucra un factor de evaporación FE, que depende de las condiciones de presión de operación de la caldera y de la temperatura del agua de alimentación; para el presente caso, 150 psig y 100 °C. Este se define como: factor de evaporación.

Tabla V. **Factor de evaporación**

Presión de operación de la caldera <i>versus</i> temperatura de agua de alimentación.															
TEMP °C	PRESION ( Psi )														
	5	10	20	50	70	90	100	110	130	150	170	190	200	225	250
0	1.19	1.19	1.2	1.214	1.219	1.223	1.225	1.226	1.229	1.231	1.233	1.235	1.236	1.237	1.239
4.4	1.18	1.18	1.19	1.206	1.211	1.215	1.217	1.218	1.221	1.223	1.225	1.227	1.227	1.229	1.231
10	1.17	1.17	1.18	1.196	1.201	1.205	1.206	1.208	1.211	1.213	1.215	1.216	1.217	1.219	1.22
15.6	1.16	1.16	1.17	1.185	1.19	1.194	1.196	1.198	1.2	1.202	1.204	1.206	1.207	1.209	1.21
21.1	1.15	1.15	1.16	1.175	1.18	1.184	1.186	1.187	1.19	1.192	1.194	1.196	1.196	1.198	1.2
26.7	1.14	1.14	1.15	1.162	1.17	1.174	1.176	1.177	1.18	1.182	1.184	1.185	1.186	1.188	1.189
32.2	1.13	1.13	1.14	1.154	1.16	1.164	1.165	1.167	1.17	1.172	1.173	1.175	1.176	1.178	1.179
37.8	1.12	1.12	1.13	1.144	1.149	1.153	1.155	1.156	1.159	1.161	1.163	1.165	1.166	1.167	1.169
43	1.11	1.11	1.12	1.134	1.139	1.143	1.145	1.146	1.149	1.151	1.153	1.155	1.155	1.157	1.159
49	1.1	1.1	1.11	1.124	1.129	1.133	1.134	1.136	1.139	1.141	1.143	1.144	1.145	1.147	1.148
54	1.09	1.09	1.1	1.113	1.118	1.123	1.124	1.126	1.128	1.13	1.132	1.134	1.135	1.137	1.138
60	1.08	1.08	1.09	1.103	1.108	1.112	1.114	1.115	1.118	1.12	1.122	1.124	1.125	1.126	1.128
66	1.07	1.08	1.08	1.093	1.098	1.102	1.104	1.105	1.108	1.11	1.112	1.114	1.114	1.116	1.118
71	1.06	1.07	1.07	1.082	1.088	1.092	1.093	1.095	1.097	1.1	1.102	1.103	1.104	1.106	1.107
77	1.05	1.05	1.06	1.072	1.077	1.081	1.083	1.084	1.087	1.089	1.091	1.093	1.094	1.095	1.097
82	1.04	1.04	1.05	1.062	1.067	1.071	1.073	1.074	1.077	1.079	1.081	1.083	1.083	1.085	1.087
88	1.03	1.03	1.04	1.052	1.057	1.061	1.062	1.064	1.066	1.069	1.071	1.072	1.073	1.075	1.076
93	1.02	1.02	1.03	1.041	1.047	1.05	1.052	1.053	1.056	1.058	1.06	1.062	1.063	1.064	1.066
99	1.01	1.01	1.02	1.031	1.036	1.04	1.042	1.043	1.046	1.048	1.05	1.052	1.052	1.054	1.056

Fuente: SOISSON E, Harold. *Manual de calderas industriales*. p. 40.

- FE = evaporación nominal/evaporación real

Se refiere a la demanda de vapor en todos los puntos de consumo en el proceso, este valor ya fue calculado anteriormente y es de 331,2 C.C, con 100 °C y 150 psig, se obtiene de la tabla un factor de operación de 1,048.

Por lo tanto, la evaporación nominal o capacidad nominal deberá ser de:

Evaporación Nominal = 331,2 x 1,048

Evaporación Nominal = 347,09 = 347 BHP

Con el propósito de tener siempre vapor en la planta, se debe de considerar un 20 % de vapor adicional, además de los proyectos de ampliación que se tienen considerados para nuevos procesos se adquiere una caldera a biomasa Hurst Boiler de 400 Bhp Hybrid de 150 PSI.

### **3.2. Localización y superficies de las instalaciones previa al montaje de la caldera a biomasa Hurst Boiler**

Desde el punto de vista físico, cabe mencionar, que el proyecto no genera intervención de especies o áreas protegidas, ni riesgo para la salud de las personas o efectos adversos significativos sobre los recursos naturales renovables. Tampoco causa reasentamiento de comunidades humanas ni altera sus costumbres.

Esta nueva alternativa de generación de vapor se realizará en un sector intervenido anteriormente, debido a la proximidad con la zona de operación industrial. En definitiva, el proyecto no tiene impactos ambientales negativos significativos, tanto en la cantidad, disposición y manejo de las emisiones.

### **3.3. Factores que Intervienen en el montaje e instalación de la caldera**

En la selección de la caldera, además de la demanda de vapor que se requiere para la elaboración de productos finales como los concentrados y harinas, se debe también considerar otros factores importantes, como los siguientes:

#### **3.3.1. Agua de alimentación disponible**

El agua para el proceso y funcionamiento de la caldera es suministrado desde la extracción de los pozos y almacenamiento en cisternas para su posterior distribución, de manera que este recurso se tiene en forma abundante y no presenta obstáculo alguno. Es un factor importante debido a que el agua debe ser tratada correctamente, y que el vapor generado depende directamente de este tratamiento.

La temperatura recomendada para el agua de la caldera es de 210 °F (100 °C), cuando se utiliza a temperaturas más bajas de estas, la temperatura de los gases de la combustión disminuye de tal manera que el vapor de agua se condensa y podría ocasionar problemas de corrosión a diferentes partes de la caldera. En la figura 7 se observan los tanques de suministro hacia los equipos en funcionamiento.



Figura 7. **Alimentación de agua a tanques extraída de los pozos**



Fuente: planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

### **3.3.2. Tiempo de operación de la caldera**

El tiempo de la operación diaria de la caldera va influir en la cantidad de vapor por día que se necesite, así como también, en el tipo de combustible a utilizar. En el presente caso, la caldera operará las 24 horas al día.

### **3.3.3. Selección del combustible**

La caldera seleccionada está diseñada para trabajar con biomasa, siendo el recurso la leña, gallinaza y la mezcla de ambas de acuerdo con las pruebas de rendimiento de poder calorífico, porcentaje de humedad, costo y adquisición. Dentro de estas pruebas que se realizan se tienen 2 tolvas que reciben y distribuyen la gallinaza y las astillas por medio de bandas transportadoras hacía el gusano helicoidal, las tolvas y bandas transportadoras se manejan con variadores de frecuencia para lograr el porcentaje que se requiere, como se observa en las figuras 8 y 9.

Figura 8. **Proceso de mezcla y alimentación de combustible**



Fuente: planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

A continuación, una tabla de porcentajes con valores que hacen referencia al variador de frecuencia de cada motorreductor, con lo cual se hace la mezcla del combustible hacia la caldera.

Tabla VI. **Pruebas de consumo de combustible según rendimiento**

<b>PRUEBAS DE RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLES EN LA CALDERA HURST</b>		
<b>CONSUMO DE MATERIA PRIMA</b>		
<b>COCINADOS</b>	<b>% CHEAP</b>	<b>% GALLINAZA</b>
<b>1</b>	<b>30</b>	<b>70</b>
<b>2</b>	<b>40</b>	<b>60</b>
<b>3</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>4</b>	<b>60</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>70</b>	<b>30</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Variadores de alimentación de combustible**



Fuente: panel de control. Planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

El objetivo final es tener como biomasa principal la gallinaza, recurso que será proveído por las granjas propias de la corporación, ya que su rendimiento es eficiente para esta aplicación.

### 3.3.4. El espacio disponible

Este es un factor que se ha considerado por la magnitud del proyecto y cumple con lo requerido para cubrir las dimensiones de la caldera, remoción de biomasa y transporte.

a galera en construcción cubre un área de 1 350 m<sup>2</sup> con las dimensiones y figura siguiente.

Ancho: 25,00 m

Largo: 54,00 m

Altura: 14,00 m

Figura 10. **Área de construcción de caldera de biomasa**



Fuente: área de construcción, planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

### **3.3.5. Disponibilidad de energía eléctrica**

Otro factor importante a considerar, de acuerdo a los requerimientos de voltaje, número de fases, pues toda caldera necesita para su funcionamiento es la electricidad para los motores de turbinas, bombas y controles. El suministro de energía es ininterrumpido, sin embargo, es necesario contar con una fuente de suministro propio debido a que puede haber cortes de energía prolongados. En la figura 11 se observa el panel de alimentación eléctrica en construcción.

Figura 11. **Alimentación eléctrica principal**



Fuente: área de montaje, planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

### **3.4. Características generales de la caldera seleccionada**

En la tabla VII se muestran las características más importantes de la caldera a biomasa seleccionada.

Tabla VII. **Características generales de la caldera**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Marca</b>	<b>HURST BOILER</b>
<b>Serie</b>	<b>HYB2740-150-1</b>
<b>Modelo</b>	<b>2013</b>
<b>Tipo de caldera</b>	<b>Híbrida (pirotubular-acuatubular)</b>
<b>Potencia BHP</b>	<b>400 BHP</b>
<b>Vapor generado (lb/h)</b>	<b>13,800 lb/h</b>
<b>Combustible</b>	<b>Gallinaza, leña, mezcla de ambas</b>
<b>Presión de diseño</b>	<b>150 psi<sub>g</sub></b>

Fuente: *Manual de caldera Hurst y placa del equipo. p. 55.*

### **3.5. Diseños de las cimentaciones y fases de la construcción en cuanto a la obra civil y estructural**

En cuanto a las obras civiles que serán necesarias de efectuar, corresponden a:

- Cimentaciones de la caldera, que tomando datos de diseño de la misma, recomienda que se debe usar concreto con capacidad mínima de soporte de 3 000 libras por pulgada cuadrada, con 28 días de dureza, el suelo con capacidad de 2 500 PSF mínimo.
- Cimentaciones del área de almacenamiento de la biomasa.
- Cimentaciones del cuarto de control.

Tal como se plantea habitualmente, el problema geotécnico consiste en proyectar la cimentación de un edificio de la forma más funcional y económica, teniendo en cuenta la naturaleza del terreno, de forma que se consiga una seguridad suficiente y unas deformaciones compatibles con las tolerancias de la estructura.

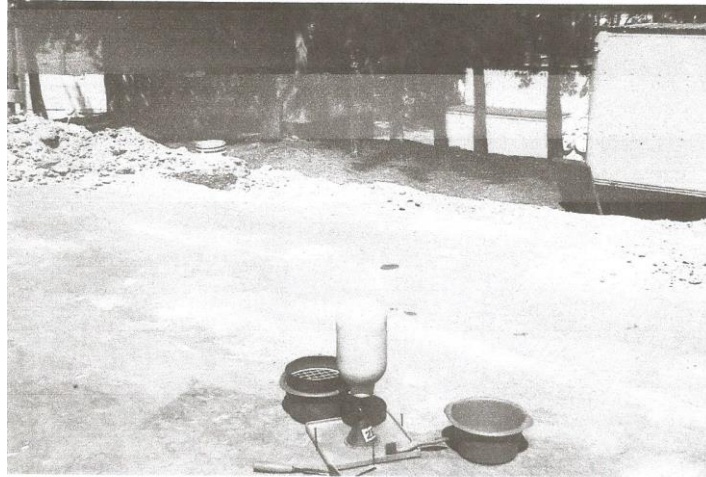
La realización de la cimentación del área de montaje de la caldera se va dividir en las siguientes fases:

### **3.5.1. El estudio geotécnico**

Frisa S. A. subcontrata el estudio geotécnico a una empresa privada, ellos realizan un estudio de evaluación geotécnica en donde detallan las características del terreno, definición de las diferentes capas y el informe de los antecedentes de la zona.

Partiendo de las informaciones geológicas y geotécnicas existentes, así como de los antecedentes de cimentación en la zona, se realiza un reconocimiento del terreno, tomando muestras para su ensayo en laboratorio y definiendo los parámetros geotécnicos característicos, como se muestran en las figuras 12 y 13.

**Figura 12. Pruebas y ensayos Procton**



Fuente: planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

**Figura 13. Pruebas y ensayos Procton de la muestra**



Fuente: planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.



### 3.5.2. Criterios para la selección de la cimentación

Una vez conocida la naturaleza y propiedades del terreno se elige la solución de cimentación más adecuada con base en las teorías de la mecánica del suelo y la experiencia tecnológica. Se define tanto el tipo de cimentación como su nivel de apoyo en el terreno, las presiones de trabajo y los asientos asociados con las mismas.

Figura 14. **Resumen de pruebas y ensayos de suelos donde es montada la caldera**

Interesado: <u>Frigodigicos de Guatemala S.A.</u>							
Proyecto: <u>Bodega de Caldera Planta de Harina Palin</u>							
Ubicación: <u>Plataforma Caldera</u>							
Fecha: <u>27-jul-13</u>							
<b>COMPACTACIONES DE CAMPO.</b>							
<b>RESUMEN DE ENSAYOS REALIZADOS</b>							
# densidad	Estacion. Ubicación	P.U.S Laboratorio	% humedad optima.	P.U.S Campo	% humedad Campo	% compactacion	Capa a evaluar.
# 1	Plataforma	Lbs / pie3	17,0	Lbs / pie3	14,6	96,1	Base
	Caldera	94,3		90,6			
# 2	Plataforma	Lbs / pie3	17,0	Lbs / pie3	17,7	97,9	Base
	Caldera	94,3		92,4			
# 3	Plataforma	Lbs / pie3	17,0	Lbs / pie3	17,0	95,5	Base
	Caldera	94,3		90,1			
# 4	Plataforma	Lbs / pie3	17,0	Lbs / pie3	18,5	95,2	Base
	Caldera	94,3		89,8			
Observaciones <u>Densidades efectuadas en capa de base en área de Plataforma Caldera</u>							

Fuente: empresa externa que realiza el estudio.

### 3.6. Montaje de la caldera

Las actividades de montaje e instalación de la caldera y sus sistemas auxiliares serán instaladas por la empresa CADINSA S. A., donde también se considera la conexión de tuberías de agua y vapor al sistema del proceso, trabajos de instrumentación, entre otros.

La figura 15 muestra algunos de los principales materiales, equipos y maquinarias que se emplearán en la fase de construcción y montaje tales como: camiones, grúas, equipos de soldadura, hormigón, estructuras metálicas de acero, materiales para las instalaciones eléctricas, cañerías, andamios, caldera, bandas transportadoras, ventiladores, tuberías, intercambiador de calor, entre otros.

Figura 15. Montaje de la caldera por CADINSA S. A.



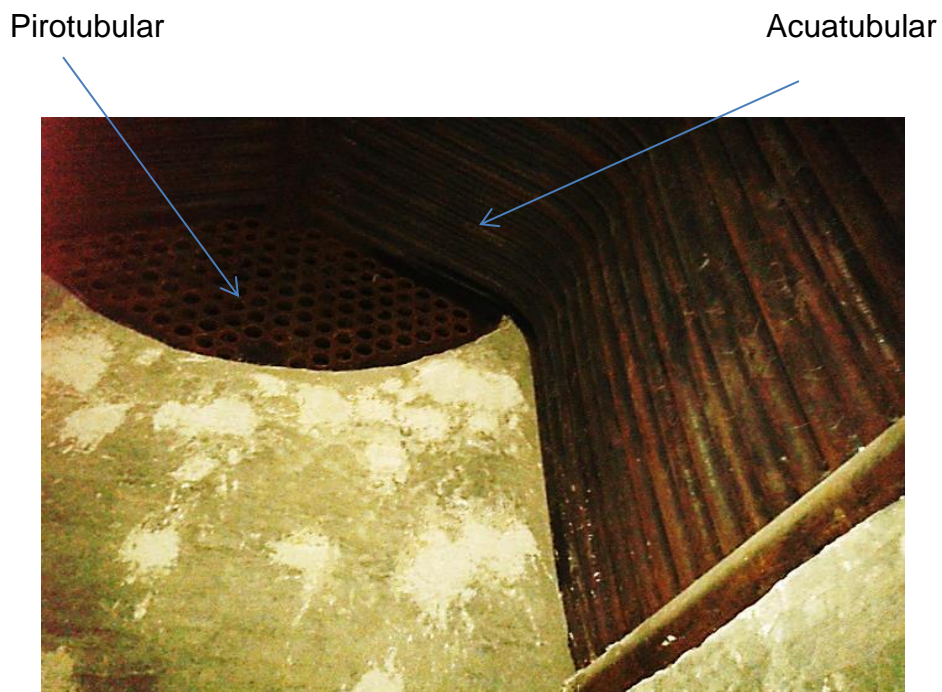
Fuente: área del montaje, planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

### 3.7. Descripción del nuevo sistema de generación de vapor

En este proyecto se ha optado por un generador de vapor híbrido fabricado por la compañía Hurst. Se denomina caldera híbrida, ya que tiene una etapa pirotubular y otra acuatubular.

En la figura 16 pueden distinguirse la sección acuatubular y la sección pirotubular.

Figura 16. **Vista interior de la combinación acuatubular y pirotubular de la caldera**



Fuente: interior de la caldera de la planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

### 3.7.1. Cámara de combustión

La cámara de combustión de la caldera está construida con un material refractario desarrollado y patentado por Hurst, con alta eficiencia. Las paredes y el arco refractario están contruidos por este material y una aplicación de 9 pulgadas de grosor hace que disminuyen las pérdidas térmicas. Su desarrollo, construcción y secado se llevó en un periodo de 2 meses, la misma incluye un periodo de fraguado que consta del arranque de caldera a fuego bajo hasta alcanzar los 1 500 °F y luego hacer descender la misma a 0°F, tal como se muestran en las figuras 17, 18 y 19.

Figura 17. **Construcción lateral de la cámara de combustión**



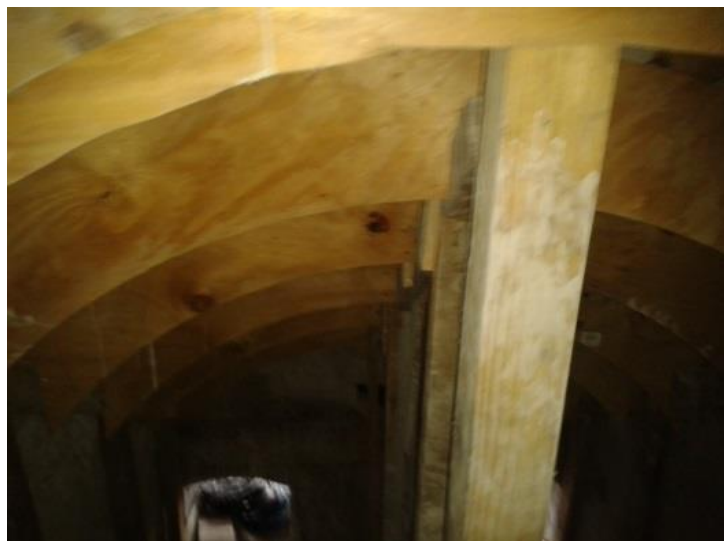
Fuente: construcción del horno en la planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

Figura 18. **Construcción del área de alimentación de combustible**



Fuente: construcción del horno en la planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

Figura 19. **Construcción del arco refractario**



Fuente: construcción del horno en la planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

### 3.7.2. Sistema de parrillas móviles

La caldera cuenta con un sistema hidráulico de parrillas móviles que garantiza una combustión homogénea de la biomasa. Para conseguir una combustión uniforme y eficiente, la caldera dispone de un ventilador bajo la parrilla y otro sobre ella llamados *under* y *over fire* de forma que se alimente con el aire necesario.

Figura 20. Sistema hidráulico y parrillas móviles



Fuente: interior de la caldera en la planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

### 3.7.3. Sistema de colección de cenizas multi-clone *fly ash*

La caldera cuenta con equipos encargados de retornar las cenizas que han sido arrastradas por los gases mediante la aplicación del multi-clone *fly ash*, sistema que convierte la salida de los gases de alta presión a baja presión haciendo la separación de ceniza que es colectada y gases que van hacia la chimenea.

El sistema de recolección de cenizas está totalmente automatizado, trasladando las cenizas hasta un depósito externo o cenicero.

Figura 21. **Sistema de colector de cenizas**



colector fly ash

Fuente: planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

#### **3.7.4. Sistema de aire de alta presión**

La caldera posee un sistema de aire comprimido de alta presión que tiene como función principal limpiar de sedimentos y residuos de cenizas los tubos de fuego y parrilla y así evitar que estos se acumulen dentro de ellos, y que interfieran en la transferencia térmica y combustión adecuada respectivamente.

Es importante que la alimentación de aire sea seco para evitar formar sólidos al contacto con los restos de ceniza existente en los tubos. La aplicación es monitoreada desde el panel de control, donde se programa el tiempo en que actúan las electroválvulas instaladas en cada tubo y que dentro del cuerpo están instalados dispersores.

Figura 22. **Sistema de aire de alta presión**



Fuente: sistema de aire en la planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

### **3.8. Funcionamiento genérico de la caldera Hurst**

La biomasa preparada es introducida en la caldera por medio de 2 tornillos sin fin. En este caso, la caldera dispone de una parrilla de gradas móviles hidráulicas, que se encargan de distribuir de manera uniforme el combustible para que la combustión sea adecuada. Una vez quemada, los gases de la combustión, ascienden hasta la primera etapa de generación de vapor: la



sección de tubos de agua. En esta sección, los gases transmiten parte de su calor al agua que circula por los tubos.

Tras el paso por la sección acuatubular, los gases penetran en la parte inferior de la sección pirotubular de la caldera, que corresponde al primer paso de los gases por esta sección. Aquí, vuelven a transmitir calor al agua que rodea a los tubos.

### **3.9. Instrumentación y sistemas de controles auxiliares de la caldera híbrida Hurst**

La caldera Hurst cuenta con un sistema de control PLC Biomaster es uno de los más avanzados sistemas disponibles para la combustión de biomasa en el mercado actual. El panel de control está totalmente automatizado y monitoreado continuamente por medio de un controlador lógico programable. Los flujos de aire y las tasas de alimentación de combustible son constantes y ajustados automáticamente por medio de unidades de variadores de frecuencia para asegurar una temperatura de agua caliente o aire caliente que se mantiene dentro de 3 a 5 grados del punto de ajuste deseado.

Los motores del sistema de alimentación de combustible, ventiladores de combustión conocidos como de fuego inferior y superior, y el ventilador de tiro inducido se ejecutan en frecuencia variable y con ello se logra garantizar la combinación adecuada de aire de combustión con el combustible. La unidad se ajusta automáticamente según la carga de la demanda. Todos los controles y la vigilancia del sistema se accede a través del monitor de 10 pulgadas, pantalla táctil en color situada en la parte frontal del panel de control principal, tal como se muestra en la figura 23.

Figura 23. **Panel de control Biomaster**



Fuente: panel de control de la planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

En la caldera de vapor hay varios instrumentos, accesorios y equipos auxiliares que deben instalarse, todos con el objetivo de medir variables, mejorar el funcionamiento, eficacia y seguridad del sistema en conjunto, misma que se observa en la instrumentación tanto digital y analógica. Las conexiones de la caldera con el circuito de instalación se realizan correctamente y los equipos y elementos auxiliares que se monten están adecuados para las condiciones de presión y temperatura de la caldera. Entre los principales están los siguientes:

### **3.9.1. Válvulas de seguridad**

Uno de los accesorios importantes de la caldera es la válvula de seguridad. Su función es proteger el cuerpo de la caldera de sobrepresión y evitar que surja una explosión.

Hay muchos tipos y modelos de válvulas de seguridad instaladas en las calderas, en el presente caso serán utilizadas de las series 6 000, modelos 6 010, 6 021, 6 030 todas deben cumplir el siguiente criterio:

- La válvula deberá dar salida a un caudal de vapor equivalente a la potencia térmica de la caldera.
- El rango de capacidad de descarga total de las válvulas de seguridad debe estar entre el 110 % de la presión de diseño de la caldera.
- La tara máxima de la válvula de seguridad será la presión máxima permisible de trabajo de la caldera.
- Debe haber un margen adecuado entre la presión normal de trabajo (120 psi actual) de la caldera y la tara de la válvula de seguridad (150 psi de fabricante).

### **3.9.2. Sistema de purga automática**

La caldera Hurst cuenta con un sistema de purga automática mediante el uso de un controlador de conductividad que actúa por medio de la cantidad programada.

Figura 24. **Sistema de control de purga automática**



Fuente: módulo de purga de la planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

### **3.10. Puesta en marcha de la nueva caldera**

- Preparaciones iniciales

Fue necesario revisar nuevamente todos los puntos donde pudieran existir piezas flojas y demás elementos como soportes, abrazaderas o similares que pese a salir con el par de apriete adecuado de fábrica pueden haberse visto afectadas por las vibraciones del transporte y montaje.

Después de comprobar visualmente que las válvulas de seguridad, las válvulas de aislamiento de los visores de nivel, las válvulas de purga del visor de nivel y las válvulas de control no presentan ninguna anomalía a simple vista, se cierran todas, salvo las de aislamiento de los visores de nivel y las de succión y descarga de la bomba de alimentación que deben permanecer abiertas.

A continuación se detalla el procedimiento genérico para la puesta en marcha de la caldera Hurst de 400 BHP, tomando en cuenta que se poseen tres opciones para operar y que se pueden ajustar según las necesidades en manual, apagado y automático.

- Verificar en el panel de control que todas las funciones estén activadas y que no estén bloqueadas por algún paro de emergencia o que indique alguna señal de falla.
- Dejar en función automática la operación de alimentación de agua (feedwater) esté o no encendida la caldera.
- Encender el ventilador ID identificado como ID FAN en el panel con la función manual a 25 % y definir la misma.
- Abrir la compuerta del horno, verificar que la misma este libre de residuos sólidos y otros que impidan la recirculación de aire.
- Encender el ventilador del fuego superior identificado como *Underfire* dejándolo en la función manual a 20 %.

- Dejar funcionando el alimentador de combustible (*stoker*) a la caldera en automático.
- Encender la función de combustible (*fuel jog*).
- Encender el transportador que alimenta el combustible (*metering*) a un 20 %.
- Encender la función de combustible directo (*fuel chain*) en automático para que acumule combustible y pueda comenzar a formar una fogata.
- Una vez que haya combustible en el horno, proceder a encender la misma con una estopa húmeda con un líquido no muy volátil, para el presente caso se utiliza diésel.
- Apagar el transportador que alimenta combustible (*metering*).
- Cerrar compuertas.
- Desactivar la función de combustible (*fuel jog*).
- Mantener por un momento estas funciones en este modo, hasta que estabilice la combustión.
- Cambiar la función del ventilador del fuego superior (*overfire*) en automático.
- Poner el regulador (*throttle*) y el combustible en 25 %.

- Encender el ventilador de fuego inferior (*underfire*) y *metering* en automático.
- Encender las otras opciones en automático y monitorear que la temperatura del horno suba a 900 °F para alimentar con gallinaza en forma constante.

Lo mencionado anteriormente es una forma genérica para poner en marcha la caldera en forma automática, las mismas son variables que se ajustan a las necesidades de la combustión y eficiencia de la caldera, no obstante, la modificación de ellas sin el conocimiento adecuado conlleva problemas de ineficiencia, problemas de baja presión entre otras averías.

## **4. FASE DE DOCENCIA**

### **4.1. Acciones que se debe seguir si el sistema falla**

Considerando que el vapor es un servicio que se utiliza para proporcionar energía térmica a los procesos de transformación de materiales a productos, por lo que la eficiencia del sistema para generarlo, la distribución adecuada y el control de su consumo, tendrán un gran impacto en la eficiencia total de la planta y en consecuencia, en la competitividad y sustentabilidad de la empresa.

Es necesario saber el funcionamiento del sistema y poder llevar a cabo las correcciones debidas, para impedir que la caldera deje de funcionar, o de ser necesario, parar la marcha de la misma.

### **4.2. Fases de operación**

Durante el desarrollo del proyecto, que consistió en la sustitución de combustible fósil por combustible renovable en la generación de vapor para la planta de subproductos, a través de la implementación de una caldera a biomasa que suplirá la actividad de 2 calderas de combustible fósil. La caldera de biomasa de marca Hurst tiene una generación promedio de vapor diario de 7 000 lb/hora según el consumo promediado y tiene una generación máxima de 13 800 lb/hora. Es importante considerar que esta sustitución no significa un aumento de consumo de energía térmica de la planta.

Así como fue mencionado, la caldera de biomasa Hurst tiene como objetivo usar exclusivamente biomasa agroindustrial denominada gallinaza, la



misma será abastecida por camiones y la remoción dentro de la planta se realizará mediante de cargador frontal tipo Bobcat.

Una vez finalizado el proyecto las otras calderas quedaran de respaldo para cubrir las actividades de la caldera Hurst, en caso de que esta deba detener su operación, ya sea por mantenimiento programado, fallas o emergencias. Las mismas tendrán la siguiente configuración:

Tabla VIII. **Configuración de calderas activas y de respaldo**

<b>CALDERA</b>	<b>ESTADO</b>
Biomasa HURST	Activo
Caldera 1, 2 y 3	Respaldo

Fuente: elaboración propia.

Los resultados son positivos, ya que gracias al funcionamiento de esta nueva caldera Hurst a biomasa se están evitando emisiones generadas por combustión de bunker, las que serán reemplazadas por las emisiones de la combustión de biomasa que son comparativamente menores y en otro rango. A continuación se muestra una tabla comparativa entre biomasa *versus* petróleo-carbón.

Tabla IX. **Comparación de emisión de gases de bunker, carbón y biomasa**

EMISIONES DE	UNIDAD	BUNKER	CARBÓN	BIOMASA
NO <sub>x</sub>	ppm	350	500	100
SO <sub>2</sub>	ppm	486	757	10
CO <sub>2</sub>	toneladas	1.940	2.620	0
<b>Ventajas</b>		No	No	Sí
<b>Mano de obra</b>		1	2	3
<b>importaciones</b>		Sí	Sí	No

Fuente: AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER, Theodore. *Manual de mantenimiento de calderas*. p. 55.

Si de costos fuera la comparación, se muestra la siguiente tendencia, demostrada actualmente hasta un 60 % de ahorro global.

Figura 25. **Gráfico de costo y gasto acumulado en 5 años**



Fuente: Biomasa–ingeniería y soluciones energéticas globales/google.com.3. Consulta: 20 de septiembre de 2014.

### **4.3. Análisis y tratamiento del agua de alimentación de la caldera Hurst**

El sistema de agua de alimentación representa una de las partes más importantes de un sistema de vapor; pues el agua es la materia prima que utiliza la caldera para generar vapor, y la ausencia de esta podría tener consecuencias fatales.

#### **4.3.1. Problemas que existen en el agua de alimentación**

El agua es una sustancia que tiene la capacidad de disolver de forma excelente muchas sustancias, pero es difícil de encontrarlo en estado puro en la naturaleza. El agua que se obtiene de los pozos actuales no es la excepción del caso, y por lo tanto, contiene algunos tipos de sustancias que deben ser eliminadas totalmente o en su mayoría por medios físicos o químicos para evitar futuros daños y una operación ineficiente de la caldera.

Las impurezas que se encuentran en el agua que alimenta la caldera son sustancias disueltas o suspendidas de origen orgánico o inorgánico que causarán varios problemas en la caldera. Los problemas que causan estas impurezas son incrustaciones, corrosión, fragilidad cáustica, espumeo y arrastre, estas a su vez producen una reducción en la vida de la caldera, una operación ineficiente de la caldera y, por consiguiente un consumo excesivo de combustible.

La tabla X describe las impurezas de origen químico que se encuentran, generalmente en el agua de alimentación de las calderas.

Tabla X. Descripción de las impurezas del agua y sus efectos

Nombre	Fórmula	Efecto que causa
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	Incrustaciones
Bicarbonato de calcio	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Incrustaciones
Sulfato de calcio	CaSO <sub>4</sub>	Incrustaciones
Cloruro de calcio	CaCl <sub>2</sub>	Corrosión
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub>	Incrustación y corrosión
Bicarbonato magnesio	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Incrustación y corrosión
Cloruro de magnesio	MgCl <sub>2</sub>	Incrustación
Hidróxido de magnesio	Mg(OH) <sub>2</sub>	Incrustación
Nitrato de magnesio	NO <sub>3</sub> Mg	Corrosión
Cloruro de sodio	NaCl	Corrosión
Carbonato de sodio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Alcalinidad
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	Corrosión
Bicarbonato de sodio	Na(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Espuma
Dióxido de silicio	SiO <sub>2</sub>	Incrustación
Hidróxido de sodio	NaOH	Fragilidad cáustica
Sulfato de sodio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Incrustación

Fuente: AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER, Theodore. *Manual de mantenimiento de calderas*. p. 60.

Las incrustaciones son depósitos de material sólido que se alojan en las regiones de la caldera que están en contacto con el agua y que se encuentran a elevadas temperaturas. Estas incrustaciones son sales de calcio, magnesio y silicio que se presentan como sulfatos, cloruros y carbonatos y se originan a partir de la vaporización de agua que contiene impurezas que se encuentran en forma de sólidos disueltos o suspendidos.

Para evitar los problemas con incrustaciones es necesario controlar la dureza del agua, ya sea por medios físicos o químicos.

La corrosión por el lado del agua en una caldera es causada básicamente por la acción química que esta ejerce sobre la superficie metálica. La presencia de sustancias como oxígeno disuelto, dióxido de carbono, cloruro de sodio, ácidos orgánicos e inorgánicos en el agua de alimentación de la caldera ocasionan este fenómeno de la corrosión, causando la pérdida gradual de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman el generador de vapor.

Para controlar el problema de la corrosión se debe mantener los niveles de pH arriba de 7; es decir, en la región de alcalinidad. Con el objetivo de saber en qué condición se encuentra el agua de la calderas, cuando estas se encuentran operando se deben hacer pruebas de alcalinidad periódicamente. Para poder eliminar el oxígeno disuelto en el agua se deben emplear desaireadores.

El espumeo es otro problema que se produce en las calderas cuando el agua contiene altas concentraciones de sales disueltas, grasas, aceites de origen animal o vegetal, materia orgánica suspendida en el agua lo que produce la formación de pequeñas burbujas estables en forma de espuma. Para poder evitar el espumeo se pueden colocar agentes antiespumantes que están constituidos por compuestos orgánicos complejos de gran peso molecular caracterizados por la presencia de poliamidas o grupos polióxidos.

Si se presenta el espumeo en un sistema de vapor este ocasionará la presencia de arrastre. El arrastre no es más que la presencia de pequeñas gotas de agua y sólidos que son arrastrados por el vapor. El arrastre puede ocasionar recalentamientos erróneos y problemas mecánicos cuando el vapor va a ser utilizado en la línea de proceso.

El arrastre puede ser producido por niveles de agua excesivamente altos, agua contaminada con aceites o una gran cantidad de sólidos disueltos, demanda súbita y excesiva de vapor y defectos en el diseño de la caldera.

#### **4.3.2. Sistema de tratamiento del agua de alimentación de la caldera**

El agua de alimentación de un sistema a vapor puede ocasionar algunos problemas muy significativos en las calderas. Como las calderas son equipos muy caros y pueden ocasionar graves accidentes cuando se encuentran en mal estado, es muy importante aplicar un tratamiento al agua de alimentación para que el equipo permanezca en buen estado, pueda operar de forma eficiente y que no se acorte su vida.

Para poder solucionar los problemas que ocasionan las impurezas contenidas en el agua de alimentación se le aplica tratamientos internos y externos.

El tratamiento interno es el que se aplica a la caldera cuando está en operación y consiste en agregar al agua un conjunto de sustancias químicas. El tratamiento externo se aplica al agua de alimentación antes que ingrese a la caldera y puede realizarse por medios físicos o químicos.

De manera específica, el tratamiento interno se emplea para contrarrestar pequeñas cantidades de dureza remanentes del tratamiento externo, para contrarrestar el efecto corrosivo producido por la presencia de oxígeno disuelto y del dióxido de carbono, para contrarrestar las sales en el agua de reposición, para prevenir incrustaciones, arrastre y espumeo.

La tabla XI muestra los compuestos que se emplean en este tratamiento y sus aplicaciones.

Tabla XI. **Compuestos químicos en el tratamiento interno y sus aplicaciones**

<b>Compuesto químico</b>	<b>Aplicaciones</b>
Fosfato de sodio	Previene incrustaciones
Hidróxido de sodio	Previene incrustaciones y minimiza la corrosión
Polímeros	Previene incrustaciones y acondiciona lodos
Taninos/almidones	Acondiciona lodos
Hidrazina/sulfito sodio	Remueve oxígeno
Antiespumante	Previene arrastre y espumeo
Aminas neutralizantes	Neutralizan CO <sub>2</sub>

Fuente: AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER, Theodore. *Manual de mantenimiento de calderas*. p. 60.

El tratamiento externo se lo aplica antes de que el agua ingrese a la caldera y se lo emplea para extraer la mayor cantidad posible de impurezas del agua y que esta se encuentre dentro los parámetros recomendables. Existen varios métodos para el tratamiento externo del agua de alimentación, pero para este caso se decidió emplear ablandamiento por ser un método del más común, eficaz y de bajo costo de operación.

El ablandamiento consiste en eliminar las impurezas conocidas con el nombre de durezas (calcio y magnesio) y reemplazarlas por otras impurezas que no revisten este carácter (sodio soluble).

El ablandamiento se logrará utilizando suavizadores que utilizan resinas catiónicas, las mismas se detallan a continuación en su forma de regenerar en 5 pasos básicos:

- Retrolavado: se utiliza para el lavado de la resina, eliminando sólidos en suspensión tirándolos directamente en el drenaje, dependiendo de la calidad del agua el tiempo recomendado es de 10 a 20 minutos.
- Salmuera y regenerado: es la encargada de succionar la solución de agua con suficiente sal para el correcto regenerado de la resina catiónica, aquí es donde se realiza el intercambio iónico. Se utilizan 10 libras de sal industrial por pie cúbico y tiene una duración entre 20 a 60 minutos dependiendo del residual de dureza existente en el agua.
- Llenado de salmuera
- Lavado rápido: aquí es donde se elimina el residual de sal que queda dentro del tanque de resina catiónica, el tiempo adecuado para realizar este paso puede ser de 30 minutos.
- Servicio: es la posición normal de servicio, la misma que distribuirá el agua suave a las tuberías.



Figura 26. **Tanques suavizadores**



Fuente: tratamiento de agua en la planta procesadora de subproductos avícolas Frisa S. A.

Tomar en cuenta que la regeneración de cada suavizador depende de los valores obtenidos de las muestra y que las dosis aplicadas en cada *batch* de mezcla de químicos dependen de las mismas.

La principal desventaja de este método es su incapacidad de reducir alcalinidad y sólidos en suspensión.

#### **4.3.3. Control de la calidad del agua de alimentación**

El control de la calidad del agua de alimentación de la caldera consiste en realizar análisis químicos del agua y comparar los resultados obtenidos con los valores recomendados por el fabricante y empresa química contratada.

Con el objetivo de que las calderas operen de forma eficiente, sin ningún inconveniente y no se produzca algún problema inesperado es necesario revisar la calidad del agua por medio de purgas o extracciones que se hacen

cada 3 horas en el sistema de agua de alimentación, en la línea de retorno de condensado y en la caldera misma.

Las pruebas que deben realizarse en el agua de la caldera son: dureza, alcalinidad P (fenolftaleína), alcalinidad M (anaranjado de metilo), cloruros, fosfatos, sólidos totales disueltos (TDS), sulfito de sodio, hidracina y sílice.

La tabla XII muestra los valores recomendados para las pruebas anteriormente mencionadas.

Tabla XII. **Condiciones recomendadas en el agua para la caldera**

<b>Parámetro a analizar</b>	<b>Valores recomendados</b>
Durezas totales	0 ppm
Alcalinidad total	300 – 900 ppm
Alcalinidad parcial	400 – 500 ppm
Cloruros	Máximo 5 ppm
fosfatos	20 – 50 ppm como fosfatos
Sólidos totales disueltos	Máximo 3500 ppm
Sulfitos	10 – 60 ppm como sulfitos
Hidracina	0,1 – 0,3 ppm
Sílice	Menos de 125
pH	10,5 – 11,5
Hierro	Menos de 5 ppm

Fuente: elaboración propia.

A continuación, un resumen que se tiene de los primeros 9 meses de funcionamiento de la caldera Hurst, en lo que respecta al análisis y tratamiento del agua de alimentación, los resultados y avances de las correcciones para

mantener en niveles óptimos las variables analizadas y que en efecto el buen funcionamiento de la caldera.

Tabla XIII. **Resumen de primer análisis fisicoquímico de la caldera**

<b>Parámetros</b>	<b>Alcalinidad parcial 300 a 700 ppm</b>	<b>Alcalinidad total 400 a 900 ppm</b>	<b>Conductividad (us/cm) 3 000 a 3 500</b>	<b>pH 10,5 a 11,5</b>	
<b>Caldera</b>	187	289	2 320	10,46	
<b>Dureza total 0 ppm</b>	<b>Silice 350 a 500 ppm</b>	<b>Cloruros 0 a 200 ppm</b>	<b>fosfatos 10 a 50 ppm</b>	<b>Sulfitos 10 a 50 ppm</b>	<b>Hierro 0 ppm</b>
0	323	184,3	40	66	0,225

Fuente: elaboración propia.

Los análisis fisicoquímicos muestran una fuga de dureza y que, por lo tanto hay que corregir y determinar la causa antes de que esto provoque incrustaciones, la muestra indica 6 ppm.

Muestra un nivel de concentración bajo de pH y alcalinidad, lo cual no es conveniente para la rápida reacción de los fosfatos, por lo tanto es necesario corregir el parámetro de la purga automática para elevar los niveles de concentración.

Se hace la sugerencia de instalar un agitador para asegurar el 100 % de saturación de la salmuera y así un máximo de rendimiento del suavizador.

Tabla XIV. **Resumen de segundo análisis fisicoquímico en la caldera**

Parámetros	Alcalinidad parcial 300 a 700 ppm	Alcalinidad total 400 a 900 ppm	Conductividad 3 000 a 3 500 (us/cm)	pH 10,5 a 11,5
Caldera	306	357	2 480	10,87

Dureza total 0 ppm	Silice 350 a 500 ppm	Cloruros 0 a 200 ppm	fosfatos 10 a 50 ppm	Sulfitos 10 a 50 ppm	Hierro 0 ppm
0	310	149	30	28	0,085

Fuente: elaboración propia.

En este análisis fisicoquímico se muestran los parámetros más a su valor deseable, sin embargo, persiste la fuga de dureza que en este caso muestra 3 ppm, para esto se recomienda la instalación de contador de agua para tener un valor más justo con base a metros cúbicos en el consumo y cálculo en la regeneración de los suavizadores, sabiendo que se tiene una dureza aproximada de 250 ppm en el agua extraída de los pozos, la misma puede subir o bajar.

Tabla XV. **Resumen de tercer análisis fisicoquímico**

Parámetros	Alcalinidad parcial 300 a 700 ppm	Alcalinidad total 400 a 900 ppm	Conductividad 3 000 a 3 500 (us/cm)	pH 10.5 a 11,5
Caldera	510	629	3 580	10,7

Dureza total 0 ppm	Silice 350 a 500 ppm	Cloruros 0 a 200 ppm	fosfatos 10 a 50 ppm	Sulfitos 10 a 50 ppm	Hierro 0 ppm
0	315	212	40	36	0,182

Fuente: elaboración propia.

Las condiciones de dureza son más estables, los suavizadores operan con normalidad sin fugas de dureza, los niveles de concentración son adecuados con un aceptable control de purgas, niveles de pH y alcalinidad controlados que favorecen la correcta acción de los fosfatos, se define un rango aceptable de conductividad entre 3 000 y 4 000 microsiemens cada centímetro (us/cm) y que se realizaría una medición cada 2 horas comparando la misma con el lector electrónico.

Figura 27. **Comparación análoga y digital del análisis de conductividad**



Fuente: *Comparación de instrumentos*. [http://www.sensores-de-medida.es/sensing\\_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES\\_35/Sensores-de-presi%C3%B3n\\_107/Man%C3%B3metros-digitales\\_115/](http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-presi%C3%B3n_107/Man%C3%B3metros-digitales_115/). Consulta: 20 de septiembre de 2014.

#### **4.4. Capacitaciones en seguridad e higiene industrial a los involucrados**

Por la magnitud del proyecto, en donde se tiene varios puntos de riesgo, es importante que las instrucciones sean cumplidas a cabalidad para evitar accidentes, donde los operarios de caldera tendrán que estar capacitados para reaccionar correctamente ante cualquier situación de emergencia ocurrida durante la operación de la caldera.

Una de las estrategias a usar y apoyar el cumplimiento de los aspectos de salud, higiene y seguridad son los avisos, rótulos o recordatorios que serán instaladas en puertas, paredes, ingresos, entre otros, y que demuestran la preocupación de la empresa por estos aspectos. En este diagnóstico se determina la estructura de capacitación de la seguridad industrial, al equipo de protección necesario para la realización de las labores y así poder minimizar los accidentes del personal así como los daños a la infraestructura y equipo. Otros aspectos que interesan es la protección contra incendios, clasificación de la clase de fuego (ABCD), equipo contra incendios, alarmas, señalización, rutas de evacuación, primeros auxilios, las mismas como lo demandan los artículos del reglamento del seguro social Igss.

#### **4.5. Capacitaciones técnicas y medioambientales para obtener producción más limpia a todos los involucrados**

Es importante informar a todos los involucrados el logro que se da al utilizar la biomasa como recurso combustible, en el presente caso, la gallinaza.

#### **4.6. Programación del mantenimiento preventivo al nuevo sistema**

Para que el sistema no falle es importante tener un control y seguimiento del funcionamiento de cada una de las partes primarias y auxiliares de la nueva caldera. La caldera tiene la opción de desarrollar varios tipos de mantenimiento diario, semanal, quincenal, mensual, semestral y anual, desde el proactivo, predictivo, preventivo y correctivo, las mismas se podrán ejecutar la medida se observan sus interacciones como el mecanismo de turbinas de aire superior e inferior, tiro inducido, sistema de control de temperaturas y presión, instrumentación general, sistema eléctrico y la parte fundamental que es el análisis y tratamiento del agua de alimentación.

La mejor forma de mantener la caldera de vapor es mediante un mantenimiento programado. Con él se realiza un seguimiento del equipo, así como la formación de los operarios de caldera para su uso y mantenimiento en condiciones de seguridad.

#### **4.6.1. Tipos de mantenimiento**

- Mantenimiento correctivo

Es el mantenimiento más simple. Se realizan las tareas mínimas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en la caldera y que son comunicados por los operarios de la caldera.

- Mantenimiento preventivo

Es el más habitual. Tiene por misión mantener un nivel de conservación continuo en la caldera de vapor, programando las intervenciones de sus puntos más vulnerables en el momento más oportuno (periodos de descansos) y coordinados entre el equipo de producción, mantenimiento y de ser necesario, el equipo proveedor externo. De carácter sistemático, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

- Mantenimiento predictivo

No es habitual. Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, presión, vibración, consumo de energía, entre otros), cuya

variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y conocimientos matemáticos, físicos y técnicos. Un ejemplo es el grado de ensuciamiento de la caldera, en el que la temperatura de salida de humos va aumentando a lo largo del tiempo, o bien el tiempo de purga en la caldera.

- Mantenimiento cero horas

Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar la caldera a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen, cambian o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste (presostatos, niveles, transductores, sensores, entre otros).

- Mantenimiento diario

Es el básico de la caldera, realizado por los operarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos), para las que no es necesario una gran formación, sino solo un entrenamiento breve.

#### **4.6.2. Actualización del nuevo sistema de mantenimiento**

En la figura 28 se muestra el sistema de mantenimiento.



Figura 28. Programa de ubicación

Nota de precaución:

Desconecte el voltaje a todas las piezas giratorias antes de dar servicio a cualquier parte de la caldera.

Semanal:

- Ventilador del tiro inducido  
Verifique la grasa de los rodamientos del eje del ventilador, agregue si es necesario.
- Todos los ventiladores  
Verifique la grasa de los rodamientos de los ejes, agregue si es necesario. Revise el estado de todas las fajas de tracción.
- Colector rotativo  
Lubrique rodamientos.
- Todas las bandas transportadoras  
Revise lubricación de los rodamientos de chumaceras, lubrique si es necesario, revisión de niveles de aceite de las cajas reductoras, agregue si es necesario.
- Alimentador del horno  
Lubricación del mecanismo, y revisión de nivel de aceite de la caja reductora.

Trimestral:

- Motores eléctricos  
Lubricación de rodamientos de todos los motores eléctricos, revisión de cableado en las cajas de conexiones eléctricas.

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. La realización del análisis del agua en forma consciente tiene como resultado mantener en buenas condiciones la caldera, ya que cualquier tendencia de desviación de los parámetros se corregiría a tiempo, esto lo demuestra en la primera revisión de tubos durante los primeros 8 meses de trabajo.
2. El monitoreo desde el panel de control es una herramienta fundamental para llevar el control de las variables de la caldera de una forma segura, confiable y eficiente, donde es posible ver la presión, temperatura de agua de alimentación, temperatura del horno, temperatura de chimenea, flujo de vapor, eficiencia, análisis gráfico.
3. La eficiencia del sistema para generar vapor, la distribución y el control de su consumo tiene un gran impacto en la eficiencia total de la planta.



## RECOMENDACIONES

A los operadores

1. Suavizar y realizar el tratamiento químico interno al agua de alimentación de la caldera, porque existen elementos tales como acidez, alcalinidad, hidróxidos, fosfatos, sulfitos, nitratos y sílice, los cuales deben mantenerse dentro de rangos permisibles de operación para evitar otro tipo de daños (corrosión, incrustación, fragilización y arrastres, entre otros).
2. Evitar fugas de vapor y agua caliente, con el objeto de prevenir accidentes y pérdidas de eficiencia en el costo total.
3. Controlar diariamente la temperatura de los gases de chimenea, ya que de esta forma se podrá evaluar el diferencial de eficiencia de la caldera y tomar las debidas consideraciones para corregir algún defecto de combustión.

Al jefe de Producción

4. Elaborar un programa de mantenimiento preventivo para todo el sistema de vapor, para lograr un óptimo funcionamiento del sistema y alargar la vida de los equipos, esto de acuerdo con las necesidades de la caldera, que viene desde limpieza externa hasta limpieza de tubos internos.

5. Establecer una bitácora de seguimiento diario las mismas servirán de respaldo en el momento de realizar análisis de variables y de todos los eventos que sucedan en la operación que, incluya como mínimo los siguientes datos:

- Presión de la caldera.
- Flujo de vapor consumido por turno.
- Niveles del agua.
- Temperatura de agua de alimentación.
- Temperatura de los gases en la chimenea.
- Notas del análisis químico del agua de la caldera y de la regeneración de los suavizadores.
- Realizar las purgas de fondo necesarias.
- Reportar dosificación de productos químicos.

Al director corporativo de mantenimiento

6. Aislar el sistema de distribución de vapor, debido a que las superficies desnudas constituyen no solo un riesgo para la seguridad de los trabajadores, sino también una pérdida de calor que produce condensación de vapor y merma de este, lo cual tiene que ser compensado con mayor aporte de combustible en la caldera.

7. Elaborar un programa de capacitación adecuada y permanente al personal responsable de la operación y manejo del sistema de generación de vapor, para cubrir los requerimientos de seguridad operativa y laboral.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *Artículos de consumo y aprovechamiento energético*. [en línea] <[www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resourcesLocalContent/3856/6/ Tratamiento\\_de\\_agua\\_v1\\_1.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resourcesLocalContent/3856/6/Tratamiento_de_agua_v1_1.pdf)> [Consulta: 02 de mayo de 2009].
2. ASME Power Test Codes. *Código PTC 4.1 para pruebas de potencia en unidades de generación de vapor*. 1964. 55 p.
3. AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico*. 9a ed. México: McGraw-Hill. 1994. 75 p.
4. CENGEL, Yunus; BOLES, Michael; *Termodinámica*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1996. 421 p. ISBN: 970100910x.
5. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. *Tratamiento de agua para su utilización en calderas*. [en línea] <[www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resourcesLocalContent/3856/6/ Tratamiento\\_de\\_agua\\_v1\\_1.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resourcesLocalContent/3856/6/Tratamiento_de_agua_v1_1.pdf)>. [Consulta: 02 de mayo de 2009].
6. *Diagnósticos energéticos del sistema de generación y distribución de vapor de corporativos y pequeñas empresas*. México: Conae, 1999. 285 p.

7. *Manual de calderas Hurst*. [en línea] [http://www.Hurstboiler.com.Montaje e instalación Tratamiento\\_de\\_agua\\_v1\\_1.pdf/](http://www.Hurstboiler.com.Montaje_e_instalación_Tratamiento_de_agua_v1_1.pdf/)>.  
[Consulta: 02 de mayo de 2009].
8. Northeast Regional Biomass Program (NRBP). *Producción más Limpia*. 1999b. Case study 1: Repowering Vienna Station, Vienna, Maryland. Appendix F. Economic and technical feasibility of energy production from poultry litter and nutrient filter biomass on the lower Delmarva Peninsula. [en línea] <[www.nrbp.org/pub20b.pdf](http://www.nrbp.org/pub20b.pdf)> [Consulta: 02 de mayo de 2009].
9. OCKERMAN, Hw. *Industrialización de subproductos de origen animal*. Zaragoza, España: Acriba, S. A. 1994. 80 p.
10. SOISSON E, Harold. *Instrumentación industrial*. México: Limusa, 1988. 105 p.
11. VARGAS ZUÑIGA, Angel. *Calderas industriales y marinas*. 2a.ed. Guayaquil: Series VZ, 1996. 65 p.