



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

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y RED DE  
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN PLANTA DE ELABORACIÓN DE NUTRIMENTOS  
BALANCEADOS**

**Deyris Humberto Palencia Méndez**

Asesorado por el Ing. Roberto Guzmán Ortiz

Guatemala, enero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y RED DE  
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN PLANTA DE ELABORACIÓN DE NUTRIMENTOS  
BALANCEADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**DEYRIS HUMBERTO PALENCIA MÉNDEZ**  
ASESORADO POR EL ING. ROBERTO GUZMÁN ORTIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, ENERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y RED DE  
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN PLANTA DE ELABORACIÓN DE NUTRIMENTOS  
BALANCEADOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 15 de mayo de 2017.



**Deyris Humberto Palencia Méndez**

Guatemala, 24 de Octubre de 2018

Ingeniero  
Julio Cesar Campos Paiz  
Director Escuela Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

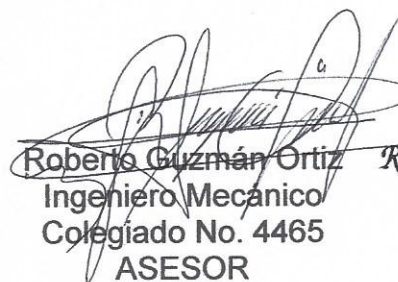
Ingeniero Campos:

Por medio de la presente informo a usted que, como asesor del estudiante universitario **DEYRIS HUMBERTO PALENCIA MÉNDEZ**, registro académico 201212533 y CUI 2265269760101, procedí a revisar el contenido, así como las conclusiones y recomendaciones expuestas, en el trabajo final de graduación titulado: **“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN PLANTA DE ELABORACIÓN DE NUTRIMENTOS BALANCEADOS”**.

Después de haber discutido en reuniones conjuntas con el interesado y habiéndole hecho las modificaciones pertinentes, me permito emitir el dictamen favorable, pues satisface los requisitos para su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo.

Atentamente,

  
**Roberto Guzmán Ortiz**  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado No. 4465  
ASESOR

*Roberto Guzmán Ortiz*  
INGENIERO MECANICO  
COLEGIADO No. 4465

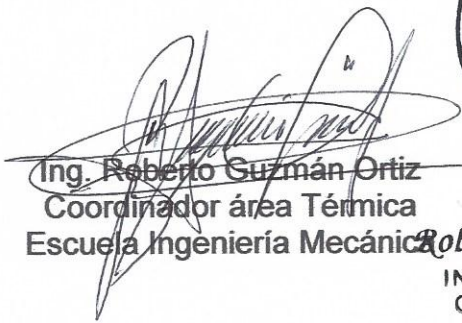
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

El Coordinador del Área Térmica de la Carrera de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN PLANTA DE ELABORACIÓN DE NUTRIMENTOS BALANCEADOS”**, del estudiante universitario **DEYRIS HUMBERTO PALENCIA MÉNDEZ**, registro académico 201212533 y CUI 2265269760101, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Coordinador área Térmica  
Escuela Ingeniería Mecánica



*Roberto Guzmán Ortiz*  
INGENIERO MECANICO  
COLEGIADO No. 4465

Guatemala, octubre de 2018.



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.328.2018

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 y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN PLANTA DE ELABORACIÓN DE NUTRIMENTOS BALANCEADOS** desarrollado por el estudiante **Deyris Humberto Palencia Méndez**, CUI **2265269760101**, Registro Académico **201212533** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre de 2018

/aej

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

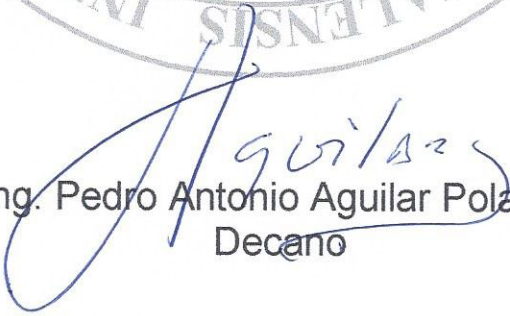


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.01.2019

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 del trabajo de graduación titulado: **“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN PLANTA DE ELABORACIÓN DE NUTRIMENTOS BALANCEADOS”** presentado por el estudiante universitario: **Deyris Humberto Palencia Méndez** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, Enero de 2019

/echm



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser mi fortaleza a lo largo de mi vida, por demostrarme que sin Él no soy nada y nada puedo hacer.
- Mis padres** Jaime Palencia y Martha Méndez. Quienes siempre me han apoyado, por creer en mi y esforzarse junto conmigo. Este logro es para ustedes y ustedes también se gradúan conmigo.
- Mi hermana** Joseline Palencia. Por apoyarme y estar conmigo en los momentos más difíciles. Te amo hermanita.
- Mi novia** Paula Vásquez. Por su apoyo incondicional, por ser parte de mí vida y por compartir este logro conmigo.
- Mi tía** Esmeralda Palencia. Quién siempre creyó en mí y me apoyó en los momentos más difíciles de mi carrera. Este logro también lo compartes tú.
- Mis abuelitas** Estela y Martha. Quienes siempre me han dado su amor, siempre me han cuidado y sé que están muy orgullosas.

**Mis primos**

Por estar conmigo a lo largo de mi vida.

**Mi familia**

Palencia Méndez. Quienes me han dado ánimos y me han apoyado para alcanzar mis metas.

**Mis amigos**

A todos los que estuvieron conmigo en este proceso, por tantas aventuras y buenos ratos, los quiero mucho a todos.

**Mi asesor**

Roberto Guzmán. Por sus enseñanzas, consejos y por ser un excelente catedrático.

**Mis catedráticos**

Por compartir con excelencia sus conocimientos conmigo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser la universidad que formó en mi un carácter y me enseñó a luchar por mis metas.

**Facultad de Ingeniería**

Por inspirar mi formación como profesional.

**Mis amigos de  
la Facultad**

Renato Castillo y Jarol Herrera. Por ser parte importante de este proceso y por ser un gran apoyo en mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE NUTRIMENTOS	
BALANCEADOS .....	1
1.1. Generalidades de la empresa.....	1
1.1.1. Historia .....	1
1.1.2. Misión .....	2
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Servicios .....	2
1.1.5. Diagrama de la planta de nutrientes.....	3
1.2. Departamento de mantenimiento .....	3
1.2.1. Actividades .....	4
1.2.2. Estructura organizacional .....	4
2. ELEMENTOS INVOLUCRADOS EN EL ÓPTIMO	
FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN Y RED	
DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR .....	5
2.1. Descripción de los elementos de red de conducción de	
vapor.....	5
2.1.1. Calderas .....	5

2.1.2.	Tubería .....	7
2.1.3.	Material aislante .....	8
2.1.4.	Juntas de dilatación.....	9
2.1.5.	Válvulas.....	10
2.1.6.	Filtros.....	10
2.1.7.	Trampas de vapor .....	11
2.1.8.	Soportes .....	12
3.	SITUACIÓN ACTUAL .....	13
3.1.	Diagnóstico general.....	13
3.2.	Área de mantenimiento .....	13
3.3.	Área de calderas .....	14
3.3.1.	Ubicación.....	15
3.3.2.	Personal encargado del área .....	16
3.3.3.	Procedimientos de mantenimiento .....	17
3.3.4.	Registros de mantenimiento.....	18
3.4.	Sistema de generación y distribución de vapor.....	19
3.4.1.	Diagramas de los sistemas de generación y distribución de vapor .....	19
3.4.1.1.	Sistemas de peletizado .....	21
3.4.2.	Evaluación actual de los sistemas de generación y distribución de vapor .....	23
4.	DEMANDA DE VAPOR ACTUAL EN LA PLANTA DE NUTRIMENTOS.....	25
4.1.	Vapor.....	25
4.1.1.	Propiedades del vapor .....	26
4.1.1.1.	Calor sensible.....	26
4.1.1.2.	Calor latente .....	27

4.1.1.3.	Entalpía .....	27
4.1.1.4.	Humedad del vapor .....	27
4.2.	Demanda y consumo.....	28
4.3.	Equipo y sistema .....	29
4.4.	Equipo existente y en funcionamiento .....	30
4.5.	Determinación de consumo de vapor de los equipos .....	32
4.6.	Cálculo de consumo de vapor .....	32
5.	CAPACIDAD DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN DE VAPOR.....	37
5.1.	Características generales de las calderas .....	37
5.2.	Sistema de agua de alimentación.....	37
5.3.	Demanda de agua en las calderas .....	38
5.4.	Tanques de alimentación de las calderas.....	39
5.5.	Consumo de combustible .....	43
5.6.	Eficiencia de las calderas .....	47
5.7.	Pérdidas en la generación de vapor .....	47
5.8.	Producción de vapor por caldera.....	48
6.	DETERMINACIÓN DE LA SIMULTANEIDAD DE OPERACIÓN DE EQUIPOS.....	51
6.1.	Análisis de consumo y generación de vapor .....	51
6.2.	Mantenimiento periódico de calderas .....	52
6.3.	Jornadas de trabajo de calderas .....	54
6.4.	Pruebas individuales de operación de calderas en períodos de tiempo.....	56
6.5.	Comparación de consumo de combustible operando calderas simultáneamente.....	57
6.6.	Comparación de consumo de combustible operando calderas individualmente .....	57

6.7.	Determinación del impacto ambiental .....	57
7.	PLAN DE TRABAJO PERIÓDICO DE OPERACIÓN PARA CALDERAS.....	59
7.1.	Factores favorables de la rotación periódica de equipos .....	59
7.2.	Reducción del impacto ambiental .....	59
7.3.	Procedimiento para mantener una caldera fuera de servicio ...	61
7.4.	Estudio de tiempo de inactividad de calderas .....	63
7.5.	Determinación del tiempo de rotación de quipos .....	64
8.	ESTUDIO ECONÓMICO COMPARATIVO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y GENERACIÓN DE VAPOR .....	65
8.1.	Inversión económica actual para producción de vapor .....	65
8.2.	Costo de operación ambas calderas .....	68
8.3.	Proyección económica de operación individual de calderas ....	69
8.4.	Beneficios de operar calderas individualmente por períodos de tiempo .....	70
	CONCLUSIONES.....	71
	RECOMENDACIONES .....	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	75
	APÉNDICE .....	77
	ANEXO.....	79

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Sistemas de generación y distribución de vapor .....	3
2.	Caldera pirotubular .....	6
3.	Red de distribución y colector de vapor .....	7
4.	Aislamiento térmico de tuberías .....	9
5.	Filtros-Y para uso en vapor .....	11
6.	Trampa de vapor .....	12
7.	Caldera Cleaver-Brooks .....	14
8.	Caldera Fulton Boiler .....	15
9.	Ubicación del área de calderas .....	16
10.	Calderas .....	19
11.	Tanques de retorno de condensado .....	20
12.	Sistema de peletizado uno .....	22
13.	Sistema de peletizado dos .....	22
14.	Peletizadora CPM .....	30
15.	Válvula reguladora de temperatura .....	40
16.	Tanque para caldera Cleaver-Brooks .....	42
17.	Reducción del impacto ambiental .....	61
18.	Coste de producir vapor .....	66

### TABLAS

I.	Demanda de agua caldera Cleaver-Brooks .....	38
II.	Demanda de agua caldera Fulton .....	39



III. Datos de caldera Cleaver-Brooks .....	43
IV. Datos de caldera Fulton .....	44
V. Soluciones .....	48
VI. Tiempos de operación de caldera Cleaver-Brooks .....	55
VII. Tiempos de operación de caldera Fulton .....	56

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>BHP</b>	Boiler HorsePower, Caballo de fuerza de caldera
<b>BTU</b>	British Thermal Unit, Unidad Térmica Británica
<b>CC</b>	Consumo de Combustible
<b>Cca</b>	Consumo de combustible anual
<b>CO<sub>2</sub></b>	Consumo de Combustible
<b>Cv</b>	Coste del vapor
<b>D</b>	Diámetro
<b>N</b>	Eficiencia de combustión de la caldera
<b>HI</b>	Entalpía específica de agua saturada
<b>Hv</b>	Entalpía específica de vapor saturado
<b>Fe</b>	Factor de emisión
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kJ</b>	Kilojulio
<b>L</b>	Longitud
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>NBHP</b>	Número de Boiler HorsePower
<b>Pc</b>	Precio del combustible
<b>PCC</b>	Poder calorífico del combustible
<b>Pv</b>	Producción de vapor
<b>Q</b>	Quetzales
<b>r</b>	Radio
<b>TMH</b>	Tonelada métrica por hora



## GLOSARIO

<b>Acuotubular</b>	Concepto utilizado para clasificar a una caldera que opera con tubos llenos de agua.
<b>Almidón</b>	Sustancia blanca, inodora, insípida, granulada o en polvo, que abunda en otras feculentas, como la papa o los cereales; se emplea en la industria alimentaria, textil y papelera.
<b>Caldera</b>	Equipo utilizado para la generación de vapor.
<b><i>Checklist</i></b>	Listados de control o listados de chequeo.
<b>Condensado</b>	Es el líquido formado cuando el vapor pasa de fase de gas a fase líquida.
<b>Ebullición</b>	Proceso físico en el que un líquido pasa a estado gaseoso.
<b>Gelatinización</b>	Proceso de hidratación que confiere un estado gelatinoso típico de coloides coagulados (gel). Hidratación que se consigue mediante tratamiento térmico, a veces acompañado por presión y humedad.
<b>Hidrolavado</b>	Lavado a presión de agua.

<b>Manifold</b>	Conducto que recoge varios gases o líquidos en un solo colector.
<b>Nutrimientos</b>	Sustancias contenidas en los alimentos que participan activamente en las reacciones metabólicas para mantener las funciones del organismo.
<b>Pélet</b>	Término utilizado para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido de diferentes materiales.
<b>Peletizado</b>	Es un proceso en el que la mezcla de nutrientes es procesada y transformada en pequeños trozos de alimento llamados pélet.
<b>Pirotubular</b>	Concepto utilizado para a una caldera que opera con tubos llenos de humo.
<b>Purga</b>	Procedimiento que consiste en eliminar solidos disueltos dentro de una caldera mediante la expulsión de una cantidad de agua y vapor.

## **RESUMEN**

Para la resolución de la problemática actual en la empresa de nutrimentos se realizó una evaluación de costos en la generación de vapor, un análisis acerca del consumo en cada línea de producción para determinar si el sistema se encuentra sobredimensionado. Posteriormente se determinó si los sistemas son capaces de abastecer las cuatro líneas individualmente. Se realizó un estudio para comprobar la viabilidad de alternar equipos para la producción de vapor reduciendo así los costos de mantenimiento. Se determinó que una de las calderas tiene filtraciones a través de los tubos por lo que es necesario hacer la expansión de tubos previo recomendar rotar las calderas periódicamente.

Para hacer más eficientes los sistemas se deben hacer las correcciones planteadas y poder operar las calderas en períodos de tiempo. Un sistema de control de suministro de vapor dio como resultado un impacto positivo en la huella ecológica, costos de regeneración y acondicionamiento de agua, reducción de consumo de combustible y energía eléctrica.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar una propuesta de optimización en el sistema de generación y red de distribución de vapor en planta de elaboración de nutrimentos balanceados.

### **Específicos**

1. Describir los equipos y sistemas en la planta de nutrimentos relacionados con el vapor.
2. Definir el estado actual del sistema de generación, conducción y consumo de vapor.
3. Establecer la demanda de vapor actual en planta de nutrimentos.
4. Determinar la capacidad de los sistemas de vapor individualmente.
5. Concluir si es necesario que los equipos de generación de vapor trabajen al mismo tiempo.
6. Hacer un plan de trabajo periódico de operación para calderas.
7. Realizar un estudio económico comparativo del consumo de combustible y generación de vapor.





## INTRODUCCIÓN

La propuesta de optimización presentada a continuación surge con la necesidad de que los sistemas de generación de vapor trabajen de la manera más eficiente para el proceso de producción en la planta de nutrimentos balanceados. Un sistema optimizado de generación de vapor dará como resultado menor cantidad de consumo de combustible y menor emisión de gases al ambiente mejorando considerablemente la huella ecológica.

Parte importante para la optimización de los sistemas es tener el conocimiento actual del funcionamiento de las calderas, máquinas que operan con vapor, productos que necesitan suministro de vapor y consumo total de vapor dentro de la planta.

A continuación, también se presenta un plan de operación periódica de equipos como resultado de los análisis realizados. La realización de un estudio económico refleja la efectividad del plan de rotar equipos en determinada cantidad de tiempo.



# **1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE NUTRIMENTOS BALANCEADOS**

## **1.1. Generalidades de la empresa**

La planta de producción de nutrimentos balanceados se encarga de realizar alimento para distintos tipos de animales de granja y acuicultura. Para fabricar los distintos productos la planta opera máquinas peletizadoras capaces de procesar hasta cuatro toneladas de alimento por hora, para realizar el proceso de peletizado es necesario utilizar vapor producido por dos calderas que operan simultáneamente. Dentro de la planta existen equipos complementarios para realizar todo el proceso desde el almacenamiento de la materia prima, la molienda, el transporte del producto, mezclado, acondicionamiento de la mezcla, peletizado, secado del producto final, control de calidad, empacamiento, distribución y almacenamiento. La empresa cuenta con personal que opera los equipos las veinticuatro horas al día debido a la alta demanda de nutrimentos balanceados.

### **1.1.1. Historia**

La planta de nutrimentos balanceados dio inicio en el año de 1894 en un almacén en la ciudad de San Luis Missouri, para esa época la producción de alimento para animales no requería mayor ciencia para su elaboración, tras el avance de los laboratorios y estudios para mejorar los nutrimentos, surge la apertura de la primera planta en Canadá, posteriormente expandiéndose a países como Colombia, Venezuela y Guatemala en el año de 1961 dando inicio a las primeras operaciones en el país.

En 2001 la planta de nutrimentos pasa a ser parte de una empresa de carácter internacional y se convierte en una de las más prestigiosas del país produciendo alimentos balanceados para animales con mejores características, diversidad de productos y con la más alta calidad del mercado.

### **1.1.2. Misión**

Crear un valor distintivo para nuestros clientes.

### **1.1.3. Visión**

Ser el líder global en alimentación humana.

### **1.1.4. Servicios**

La planta de nutrimentos balanceados pone a la disposición del público alimentos de alta calidad para diferentes especies animales como: cerdos, ganado lechero, aves de postura, pollo de engorde, caballos, camarón, tilapia y conejos. A continuación, se detalla un listado de productos que fabrica la planta de nutrimentos.

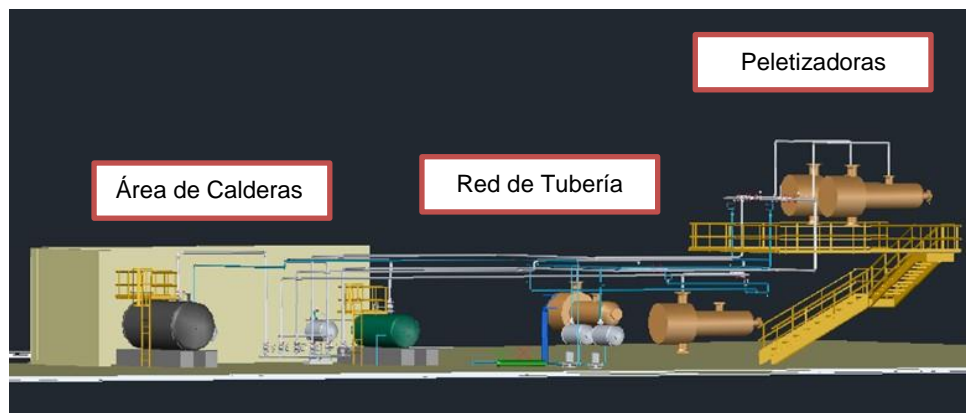
- Nutrimento Pre-Startina
- Nutrimento Bio-Crecentina
- Nutrimento Fatina 400-550
- Alimento de pollo Pre-Iniciarina
- Nutrimento complejo Conejina
- Nutrimento para vacas Lecherina Rural
- Nutrimento para vacas Lecherina 5000
- Nutrimento para cerdos Jamonina

- Nutrimiento para cerdos Bio-Nova 4
- Nutrimiento para yeguas Omalina 300
- Nutrimiento para caballos Omalina 100

### 1.1.5. Diagrama de la planta de nutrimentos

A continuación, se muestra el diagrama de la planta de nutrimentos balanceados diseñado en tercera dimensión en donde se puede apreciar la distribución de los equipos de generación de vapor, sistema de red de distribución de vapor y equipos de peletizado.

Figura 1. **Sistemas de generación y distribución de vapor**



Fuente: elaboración propia.

### 1.2. Departamento de mantenimiento

El departamento de mantenimiento en la planta de nutrimentos es el encargado de hacer reparaciones en todas las instalaciones, equipos, máquinas, infraestructura y supervisión de contratistas. En la planta de nutrimentos es de suma importancia la seguridad industrial por lo que el

departamento se encarga también de evaluación de tareas críticas y de la realización de permisos para que los contratistas puedan realizar trabajos de mantenimiento.

### **1.2.1. Actividades**

- Mantenimiento preventivo y correctivo
- Chequeos generales
- Realizar planes de lubricación
- Supervisión de calderas
- Montajes de equipo
- Solución de problemas mecánicos diversos
- Control de repuestos
- Planificación e informes de actividades

### **1.2.2. Estructura organizacional**

- Jefe de área de mantenimiento
- Sub jefe de área de mantenimiento
- Mecánico 1
- Mecánico 2
- Mecánico 3
- Mecánico 4
- Mecánico 5

## **2. ELEMENTOS INVOLUCRADOS EN EL ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN Y RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR**

Cuando empleamos al vapor como medio de transmisión de energía, es indispensable conocer los elementos involucrados desde su generación, distribución y sistemas de consumo.

### **2.1. Descripción de los elementos de red de conducción de vapor**

Los elementos de red de conducción de vapor conforman parte importante en los procesos producción y distribución, permiten que por medio de ellos se transporte el fluido a los distintos puntos de consumo y aplicación. En el proceso de transporte de vapor se involucran accesorios que permiten una distribución de vapor de manera óptima y eficiente. El vapor es un fluido que requiere suma importancia para su transporte ya que el proceso puede ocasionar que el vapor se condense antes de llegar a su destino y no se cumpla la función que se requiera.

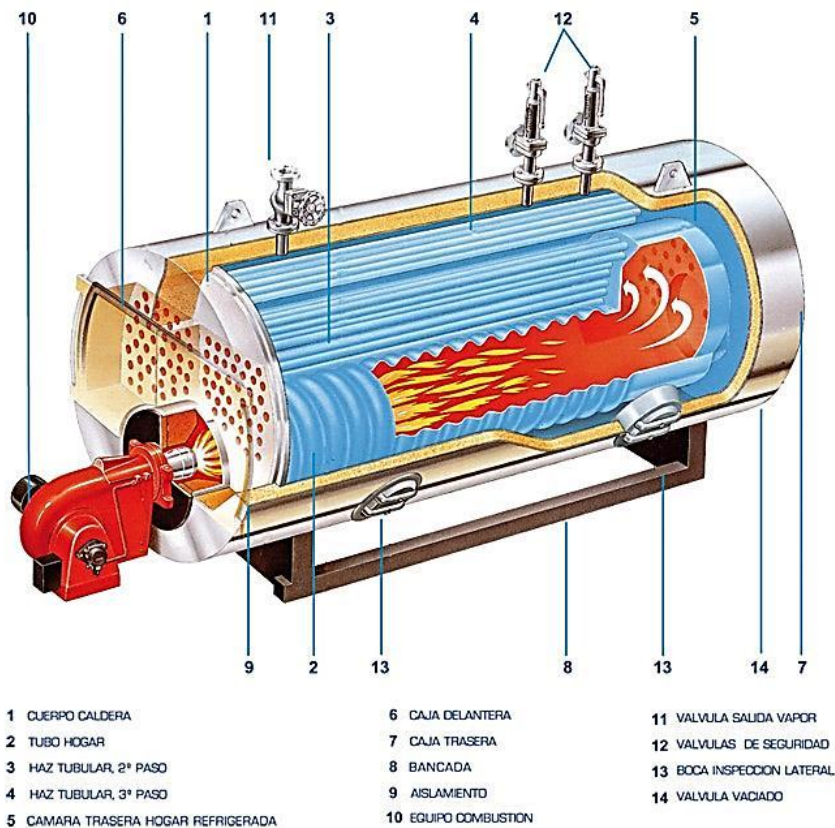
#### **2.1.1. Calderas**

Son equipos diseñados para generar un cambio de fase en el agua convirtiéndola a vapor, es decir, pasa de un estado líquido a un estado gaseoso. Este proceso se realiza mediante la transferencia de calor a presión constante. Generalmente el calor lo proporcionan los combustibles de carácter sólido o líquido; siendo estos: carbón, biomasa y los derivados del combustóleo.



Las calderas mayormente utilizadas en la industria pueden ser pirotubulares o acuatubulares. Las calderas pirotubulares se componen de un hogar encargado de quemar el combustible. Los humos de la combustión viajan a través de los tubos cediendo su energía por convección hacia el agua. Las calderas acuatubulares en su defecto son tubos que transportan el agua a través de un hogar donde se quema el combustible necesario para convertir el agua a vapor.

Figura 2. **Caldera pirotubular**



Fuente: SOGECAL. *Caldera pirotubular*. [www.sogecal.com/caldera-pirotubular/](http://www.sogecal.com/caldera-pirotubular/). Consulta: 4 de enero de 2018.

### 2.1.2. Tubería

Los sistemas de distribución de vapor están conformados mayormente por tuberías que están conectadas con las calderas y se emplean para transportar el vapor hacia las máquinas o puntos de consumo. Los sistemas de distribución de vapor están compuestos básicamente por:

- Colector de vapor

El colector también es llamado manifold, está formado por un sistema de tuberías en red controlado generalmente por válvulas de compuerta. El sistema colector es el encargado de captar todo el vapor del o los sistemas generadores al mismo tiempo, previó a su distribución en cada línea de consumo. Este sistema es conveniente cuando se tienen diferentes puntos de consumo dentro de una planta. Es necesario colocar un sistema de trampeo en el colector para drenar el condensado y asegurar un vapor seco a distribuir.

Figura 3. **Red de distribución y colector de vapor**



Fuente: PRODINCO. *Colector de vapor*. [www.prodinco.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=41&Itemid=146&lang=es](http://www.prodinco.es/index.php?option=com_content&view=article&id=41&Itemid=146&lang=es). Consulta: 4 de enero de 2018.

- Tuberías principales

Las tuberías principales son las encargadas de transportar el vapor a sus puntos de destino, durante el trayecto es necesario mantener la calidad de vapor y tener la menor caída de presión posible. Es importante tomar en cuenta que, para reducir la caída de presión en el sistema debido a los trayectos largos y pérdidas por accesorios, es necesario seleccionar adecuadamente el diámetro de la tubería. Algunos sistemas que emplean vapor como elemento de trabajo necesitan una menor presión a la proporcionada por la caldera, por lo que es preciso colocar sistemas reguladores de presión y temperatura.

- Tuberías de retorno de condensado

En cada proceso que emplea vapor de forma directa o ya sea un sistema cerrado, habrá retorno de condensado. El vapor no utilizado o que ya ha cedido su energía calorífica retorna como agua saturada y posteriormente debe de ser ingresada nuevamente al sistema de alimentación de agua de la caldera.

### **2.1.3. Material aislante**

El material aislante en tuberías de vapor se emplea principalmente para reducir la cantidad de energía perdida por conducción en el transporte del fluido. El completo aislamiento de las tuberías asegura una reducción del costo de generación y reduce la posibilidad de condensación del vapor a lo largo del recorrido por la tubería. El aislamiento térmico en las tuberías es ideal también para asegurar la protección de quemaduras por contacto para las personas y evita que materiales combustibles provoquen incendios. Entre los materiales más comunes para el aislamiento térmicos están: Espuma elastomérica, lana mineral (fibra de vidrio) y polietileno.

Figura 4. **Aislamiento térmico de tuberías**



Fuente: Instalaciones y eficiencia energética. *Ahorro energético con aislamiento térmico para tuberías*. [www.instalacionesyeficienciaenergetica.com/ahorro-energetico-con-aislamiento-termico-para-tuberias/](http://www.instalacionesyeficienciaenergetica.com/ahorro-energetico-con-aislamiento-termico-para-tuberias/) Consulta: 10 de agosto de 2018.

#### **2.1.4. Juntas de dilatación**

Las juntas de dilatación térmica son elementos formados por fuelles flexibles utilizados para absorber el movimiento que puede existir en las tuberías. Cuando conducimos vapor a través de tuberías estas tienden a calentarse y puede ocurrir un fenómeno de expansión por lo que es necesario colocar una junta de dilatación de manera que pueda tener flexibilidad dando lugar a que el fluido avance de forma segura.

Existen distintos materiales para la fabricación de juntas de dilatación térmica, las que son realizadas de goma pueden trabajar temperaturas de hasta 150°C; mientras que las metálicas alcanzan temperaturas de soporte de hasta 750°C ideales para la conducción de vapor. Las juntas de dilatación metálicas son necesarias cuando el fluido que estamos transportando es de elevada presión y utilizan un fuelle de acero inoxidable.

### **2.1.5. Válvulas**

Las válvulas son dispositivos que abren y cierran el paso de un fluido a través de un conducto con el fin de controlarlo. Algunas válvulas se caracterizan por su capacidad para permitir el paso total o parcial del fluido. El uso incorrecto de las válvulas para controlar un caudal puede provocar daños en ella, por lo que es necesario conocer las adecuadas para cada aplicación. Las válvulas más comunes utilizadas en la industria son:

- Válvula de bola
- Válvula de mariposa
- Válvula de globo
- Válvula de compuerta
- Válvula de diafragma

### **2.1.6. Filtros**

Los filtros empleados en vapor son utilizados para prevenir que trampas, válvulas y sistemas de control se llenen de suciedad o partículas extrañas que pueden filtrarse durante el recorrido por la tubería. Es recomendado colocarlos antes de cualquier accesorio para evitar la obstrucción y mantener el vapor libre de contaminación. Es necesario realizar inspecciones periódicas de los filtros de tubería de condensado y en la red de distribución de vapor, los elementos de los filtros de vapor reducen la caída de presión y eliminan las sustancias contaminantes sedimentadas evitando la permanente acumulación de contaminantes.

Figura 5. **Filtros-Y para uso en vapor**

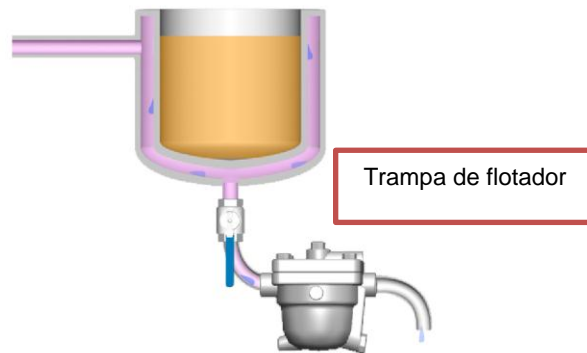


Fuente: TLV. *Filtros-Y*. [www.tlv.com/global/LA/products/150100.html](http://www.tlv.com/global/LA/products/150100.html). Consulta: 10 de agosto de 2018.

### **2.1.7. Trampas de vapor**

Las trampas de vapor son elementos que permiten eliminar el condensado y desecharlo, las trampas de vapor son capaces de ventear aire sin fugar vapor, son importantes en los sistemas de generación y distribución de vapor, estas funcionan atrapando el vapor después de que este ya ha realizado trabajo. El vapor pierde presión y se enfría convirtiéndose en condensado, es necesario recuperar ese condensado ingresándolo nuevamente al sistema de alimentación. Existen diferentes mecanismos para la descarga automática de condensado y gases no condensables en las trampas de vapor, estas se clasifican en: trampas mecánicas, termostáticas y termodinámicas.

Figura 6. **Trampa de vapor**



Fuente: *Trampas de vapor*. <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/what-is-a-steam-trap.html>. Consulta: 1 de marzo de 2018.

### **2.1.8. Soportes**

Los soportes de tubería conforman un elemento importante para la sujeción y pendiente de la tubería por espacios en donde se transportará el fluido. El diseñador de la red de distribución debe de analizar la flexibilidad y las distancias de sujeción de la tubería para colocar de manera adecuada los soportes anclados. Para los soportes en tubería es necesario tomar en cuenta criterios de espacio y la posición de la tubería tanto horizontal como vertical, soportes rígidos o flexibles según sea el diseño.

### **3. SITUACIÓN ACTUAL**

#### **3.1. Diagnóstico general**

Actualmente la planta de nutrimentos balanceados cuenta con dos calderas pirotubulares marca Fulton y Cleaver-Brooks de 100 y 60 BHP respectivamente, ambas calderas se utilizan para la generación y el suministro de vapor necesario para iniciar un proceso de gelatinización de los almidones que contenga la mezcla. El suministro de vapor se realiza en el acondicionador de la maquina peletizadora. El vapor viaja en una tubería de 0.0762 metros hacía las máquinas peletizadoras en donde hace contacto directo con el producto en un acondicionador previo a ser peletizado.

El vapor utilizado pasa por un sistema de reducción de presión y una dosificación previa al contacto con los nutrimentos, el vapor que no es necesario se atrapa en los sistemas de trapeo y es retornado como condensado a alta temperatura para ser aprovechado nuevamente en la generación.

#### **3.2. Área de mantenimiento**

El departamento de mantenimiento cumple la función de realizar la planificación de mantenimientos preventivos y asignación de presupuestos para cada necesidad. El equipo de mantenimiento está conformado por personal capacitado encargado de velar por el correcto funcionamiento de calderas, redes de distribución de vapor, acondicionadores, elevadores, bandas transportadoras, sistema de bombas, tanques de almacenamiento de materia



prima, mantenimiento a montacargas, máquinas de peletizado y regímenes de lubricación.

### 3.3. Área de calderas

En el área de calderas se encuentran ubicadas las calderas Fulton y Cleaver-Brooks cada una con su respectivo tanque de retorno de condensado y sistema de alimentación de agua previamente tratada. El sistema de distribución de vapor es manipulado por un manifold encargado de direccionar el fluido hasta su punto de empleo.

Figura 7. **Caldera Cleaver-Brooks**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 8. Caldera Fulton Boiler**

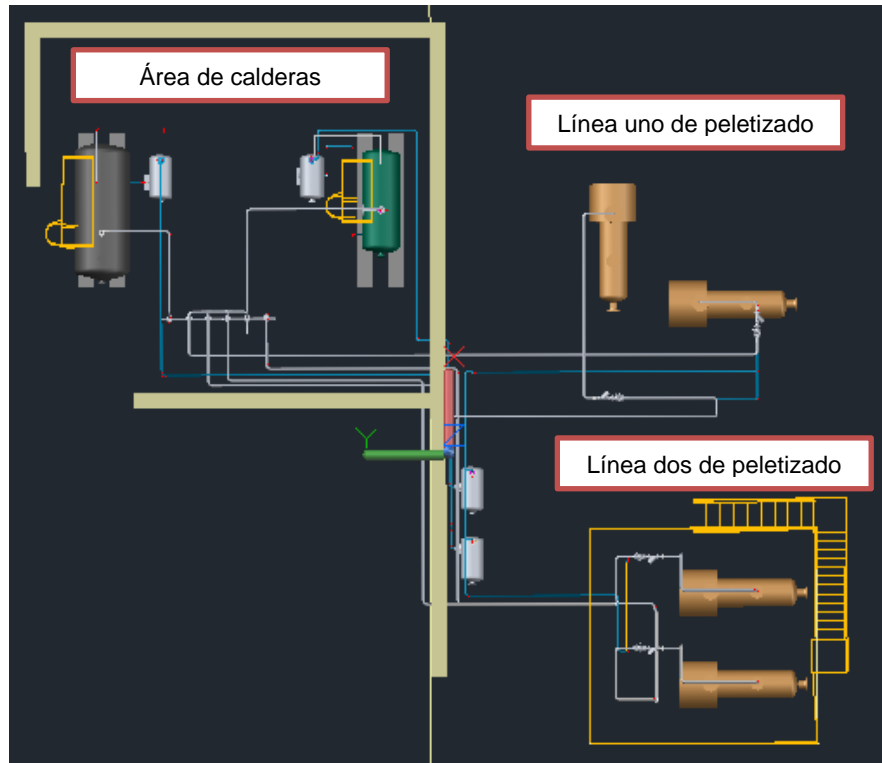


Fuente: elaboración propia.

### **3.3.1. Ubicación**

El área de calderas se encuentra ubicada muy cerca de la planta de producción, tal y como se ilustra en la siguiente imagen. La ilustración mostrada es una réplica exacta de la planta de elaboración de nutrimentos balanceados.

Figura 9. **Ubicación del área de calderas**



Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2. **Personal encargado del área**

El área de supervisión de calderas está conformada por el personal de mantenimiento. Las calderas requieren rutina de inspección, purga, aplicación de químicos para el tratamiento de agua de alimentación y manipulación del manifold. Las rutinas de inspección son realizadas por el mecánico de turno y siguen una bitácora checklist para mantener un control ordenado, realización de mantenimientos preventivos y correcta distribución del vapor.

Personal encargado del área de calderas:

- Jefe de área de mantenimiento
- Sub jefe de área de mantenimiento
- Mecánico 1
- Mecánico 2
- Mecánico 3
- Mecánico 4
- Mecánico 5

### **3.3.3. Procedimientos de mantenimiento**

El departamento de mantenimiento de la planta de nutrimentos balanceados se basa en la realización de mantenimientos preventivos evitando así detener la producción y garantizando el funcionamiento adecuado de los equipos. Las calderas requieren mantenimiento e inspecciones periódicas asegurando su correcto funcionamiento. El plan de mantenimiento semestral para calderas es el siguiente.

- Realización de hidrolavado de lodos existentes en la caldera.
- Inspección interna de la caldera (tubos, espejos, hogar, cuerpo de presión). Es importante determinar si existen incrustaciones o corrosión de los tubos.
- Colocación de nuevos empaques.
- Revisión y cambio de la válvula de seguridad de las calderas.

- Verificación y limpieza del quemador y boquilla.
- Comprobación del correcto funcionamiento de guarda nivel de agua de la caldera y cheques.
- Prueba de equipo a presiones normales de trabajo.
- Análisis de los gases de chimenea y regulación de combustible para determinar la eficiencia de la caldera.
- Elaboración de informe técnico para registro e historial de las calderas.

#### **3.3.4. Registros de mantenimiento**

Los registros de mantenimiento y control de funcionamiento de las calderas son detallados semanalmente e incluyen los siguientes aspectos de supervisión:

- Presiones: Bomba de agua, quemador de diésel, salida de vapor, aire del compresor.
- Temperaturas: Tanque de condensado, salida de gases de chimenea.
- Modulación: Baja, media o alta modulación.
- Niveles: Condensado, químicos, aceite compresor.
- Purgas: Fondo, columna, cristal.
- Partículas por millón del agua de la caldera.
- Tiempo estimado de la inspección.
- Consumo de combustible.

Encontrará la hoja de control de funcionamiento de las calderas del departamento de mantenimiento en anexo 1.

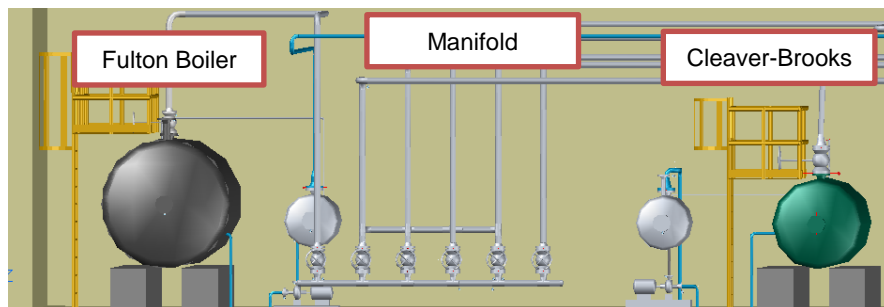
### 3.4. Sistema de generación y distribución de vapor

Los sistemas de generación de vapor son los encargados de proveer el vapor necesario para el proceso de peletizado, las calderas deben de tener la capacidad de suministrar un flujo constante de vapor sin variaciones en la presión. Para suministrar un vapor seco las calderas deben de operar en el rango de 0,7 MPa y posteriormente es reducida al rango de presión entre 0,10 MPa y 0,14 MPa psi. El vapor producido por las calderas es suministrado a través de un manifold y dirigido hasta los acondicionadores para realizar el proceso.

#### 3.4.1. Diagramas de los sistemas de generación y distribución de vapor

- Área de calderas

Figura 10. Calderas

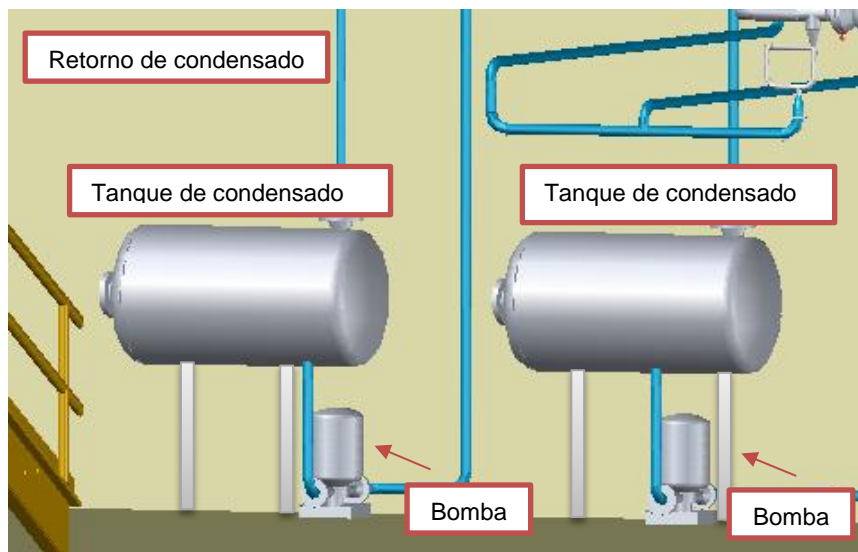


Fuente: elaboración propia.

- Área de retornos de condensado

Dentro de la planta de nutrientes se ubica un área específica para la acumulación de condensado. Existen dos tanques en los que se almacena condensado y posteriormente es bombeado hacia los tanques de alimentación de las calderas. Los tanques operan con sistemas de bombeo diferentes, un tanque opera con una bomba mecánica que funciona con vapor generando una presión interna y bombeando el fluido, la otra bomba es una bomba eléctrica vertical que funciona con un electrodo de nivel censando la altura de llenado del tanque. A continuación, se muestra un diagrama de los tanques de recuperación de condensado.

Figura 11. **Tanques de retorno de condensado**



Fuente: elaboración propia.

#### **3.4.1.1. Sistemas de peletizado**

El peletizado es un proceso de preparación de nutrimentos balanceados especiales para el alimento de animales, convierte una mezcla de ingredientes molidos en aglomerados. La formación de los pélets ocurre cuando la masa pasa por los rodillos y es rotada presionándola a través de un dado que permite la salida en forma de palitos diminutos. La preparación adecuada de los nutrimentos radica en el acondicionamiento de harina por lo que de esto depende la durabilidad, la humedad y la gelatinización. Este proceso es llevado a cabo al alcanzar temperaturas en el acondicionador de entre 60 °C y 80 °C aproximadamente, el nivel de humedad proporcionado por el vapor alcanza un 17 % que posteriormente disminuye en el enfriador hasta alcanzar la humedad a temperatura ambiente de 12 %. Entre más temperatura alcanza la mezcla en el acondicionador mayor será el grado de gelatinización. La gelatinización es un proceso de ruptura completa de los gránulos de almidón producido por la temperatura, humedad y presión en el acondicionador. La gelatinización proporciona habilidad para absorber agua por parte de los almidones que dan como resultado una mejor digestibilidad para los animales.



Figura 12. **Sistema de peletizado uno**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Sistema de peletizado dos**



Fuente: elaboración propia.

### **3.4.2. Evaluación actual de los sistemas de generación y distribución de vapor**

El sistema de generación de vapor actual cuenta con las siguientes deficiencias:

- No hay un control de la demanda de vapor y la cantidad de vapor generado dentro de la planta.
- Alto consumo de combustible en caldera Cleaver-Brooks.
- No existe sistema de precalentamiento en el tanque de agua de alimentación de la caldera Cleaver-Brooks.
- Tanque de alimentación de la caldera Cleaver-Brooks es de 151 litros por lo que resulta muy pequeño para la caldera dando lugar a pérdidas de agua tratada.
- Pérdida de condensado en los sistemas de recuperación.
- Mal funcionamiento en las bombas de retorno de condensado.
- La caldera Cleaver-Brooks presenta filtraciones de agua a través de los tubos después de dos días de haberla detenido.
- Los tubos de la red de distribución de vapor necesitan aislamiento térmico para evitar pérdidas de energía.



## **4. DEMANDA DE VAPOR ACTUAL EN LA PLANTA DE NUTRIMENTOS**

### **4.1. Vapor**

El vapor es un estado gaseoso del agua que se produce mediante la exposición del líquido a alta temperatura; el agua al superar su punto de ebullición pasa de un estado líquido a vapor saturado. El vapor se puede encontrar en dos condiciones previo a realizar un trabajo y posterior a haberlo realizado, vapor saturado seco y vapor húmedo. El vapor húmedo se manifiesta cuando las moléculas de agua han cedido su energía y posteriormente se convierten en lo que comúnmente es llamado condensado. El vapor juega un papel muy importante a nivel industrial, es empleado para distintos usos entre los más comunes están: vapor como fuente de energía, como fuente de calor, para calentamiento, para realizar impulso o movimiento, para limpieza y desinfección, para humidificación, entre otras.

En la planta de nutrientes balanceados, el vapor es empleado en las máquinas peletizadoras para acondicionar la masa de harina haciendo posible el peletizado, la durabilidad del pélet depende del acondicionamiento adecuado de la harina. El suministro de vapor en una excelente calidad humecta la masa para una mejor transmisión de calor y aumenta la temperatura para lograr la gelatinización de los nutrientes en donde se activan los almidones necesarios para el proceso. Bajo las condiciones adecuadas el vapor entra en contacto con la masa y se condensa parcialmente, el resto lo entrega como calor. El vapor debe ingresar a baja presión para lograr ceder toda su energía siempre en condiciones de vapor seco.

#### **4.1.1. Propiedades del vapor**

El vapor saturado es el vapor que se encuentra a la temperatura de ebullición del líquido es decir a 100 °C a presión atmosférica. Dentro de las cualidades del vapor saturado se encuentra el calentamiento a través del calor latente y el control de la temperatura del vapor mediante la modificación de la presión. un ejemplo claro de este tipo de vapor es el que producen las calderas.

El vapor sobrecalentado es el punto alcanzado por el vapor debido al calentamiento sobre el punto de saturación, el vapor sobrecalentado tiene la característica de ser un vapor de agua con una mejor calidad ideal para realizar movimientos en turbinas o secados en procesos industriales y no es recomendado para las aplicaciones de transferencia de calor.

El agua a diferentes temperaturas y presiones presenta distintas cualidades como vapor, propiedades de entalpía, entropía, punto de ebullición, título o calidad de vapor.

##### **4.1.1.1. Calor sensible**

El calor sensible es el calor añadido o extraído a un cuerpo sin que físicamente sea alterado en su forma o en un cambio de fase, el calor sensible se puede demostrar con el ejemplo de calentar agua sin que llegue a su punto de ebullición, en la adición de calor al agua es un calor sensible que se transmite cambiando únicamente la temperatura del líquido. El calor absorbido o cedido depende de la presión que sobre ella se ejerce, tomando como referencia la temperatura de 0 °C.

A mayor presión, mayor calor sensible y a menor presión, menor calor sensible. Cuando se calienta una sustancia que tiene una temperatura inferior a su punto de ebullición, absorbe calor y aumenta su temperatura (calor sensible), hasta alcanzar el punto de ebullición correspondiente a la presión a que esté sometida, luego de alcanzado este se detiene el ascenso de la temperatura y cualquier cantidad adicional de calor que se le suministre ya no aumentará la temperatura.

#### **4.1.1.2. Calor latente**

El calor latente es lo contrario del calor sensible, es decir, cualquier alteración de calor sobre la sustancia, provoca un cambio de estado, la energía del calor latente se invierte para un cambio de fase mas no para un cambio de temperatura. El calor latente también es llamado calor que se encuentra escondido.

#### **4.1.1.3. Entalpía**

La entalpía es una propiedad que expresa cuanto varía la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

#### **4.1.1.4. Humedad del vapor**

La humedad que proporciona el vapor es de suma importancia para el proceso de peletizado, la mezcla de harina e ingredientes para el alimento de animales posee una humedad del 12 % a temperatura ambiente y a medida que incrementa la temperatura en el acondicionador el nivel de humedad alcanza un 17 %. Este porcentaje final a la salida del acondicionador es igual a la humedad

de cada ingrediente de la mezcla más la humedad proporcionada por el vapor. Debe tomarse en cuenta que los porcentajes de humedad de los productos terminados no deben ser mayor a 17 %, esto puede atascar el dado debido a la alta cantidad de agua en la mezcla. El vapor utilizado en el proceso de peletizado deber ser saturado seco y capaz de suministrar una alta cantidad de energía a baja presión. Las calderas no son capaces de suministrar el vapor saturado seco en un 100 %, en el proceso de generación de vapor algunas burbujas se rompen y se condensan dando lugar al arrastre de agua a través de las tuberías. La sequedad del vapor es de suma importancia, de este depende directamente la cantidad de energía transferible en el vapor a lo cual llamamos calor latente. Para determinar la cantidad de sequedad que posee el vapor generado por nuestros equipos utilizamos la siguiente ecuación.

$$\text{Sequedad del vapor} = 100 \% - (\% \text{ de contenido de agua en masa})$$

#### **4.2. Demanda y consumo**

La producción de vapor en una planta de nutrimentos está ligada altamente a la demanda requerida por los sistemas que consumen vapor. Si la demanda de vapor es mínima y los sistemas de generación de vapor entregan más vapor, la producción se encuentra por encima de la demanda, en este caso se dice que el sistema se encuentra sobredimensionado y por el contrario si la demanda de vapor excede la capacidad de producción de vapor, representaría un sistema sub dimensionado. Ambas situaciones dan como resultado un consumo de recursos excesivo en todos los aspectos, en la generación de vapor se ven involucrados factores como: combustible, agua previamente tratada, energía eléctrica y químicos. Para mantener la relación mucho más estrecha entre la demanda y la producción de vapor es necesario determinar los más exacta posible la cantidad de vapor utilizado.

La producción actual de vapor en la planta de nutrimentos es realizada por las dos calderas trabajando conjuntamente para suministrar a las peletizadoras. El vapor no utilizado es retornado como condensado y reutilizado para la generación de vapor.

#### **4.3. Equipo y sistema**

Actualmente la planta de nutrimentos balanceados cuenta con cuatro peletizadoras y dos calderas para el suministro de vapor. El proceso de peletizado da inicio a través del alimentador, posteriormente se suministran las toneladas programadas de mezcla de harina y nutrientes, el acondicionador recibe la mezcla y la dirige por medio de un tornillo sin fin hasta la entrada del dado en donde dos rodillos giratorios comprimirán la mezcla acondicionada a través de agujeros milimétricos dando lugar a la producción de pélets. La entrada de vapor suministra el vapor necesario para la mezcla y es controlado mediante una válvula shut off.



Figura 14. **Peletizadora CPM**



Fuente: CERVANTES, Juan Francisco. *Ingeniería del proceso, enfocada a molienda y peletizado*. [www.engormix.com/balanceados/articulos/ingenieria-proceso-enfocada-molienda-t33071.htm](http://www.engormix.com/balanceados/articulos/ingenieria-proceso-enfocada-molienda-t33071.htm). Consulta: 15 de agosto de 2018.

#### 4.4. **Equipo existente y en funcionamiento**

- Línea de peletizado uno

La línea de peletizado uno cuenta dos peletizadoras; CPM Century y Paladin 600B respectivamente.

Peletizadoras Modelo: CPM Century y Paladin 600B

- Producción promedio: 4,0 TMH
- Presión: 0,14 MPa
- Temperatura en el acondicionador
  - Pollos: 60 °C
  - Ganado lechero: 50 °C

- Caballos: 50 °C

Los rangos de humedad a la salida del acondicionador para todos los productos se manejan de la siguiente manera: (13 % - 13,76 %). Tomando la humedad inicial al ingreso del acondicionador del 12 %.

- Línea de peletizado dos

La línea de peletizado uno cuenta dos peletizadoras modelo Paladin 1200D.

#### Peletizadoras Paladin 1200D

- Producción promedio
  - (chows): 6,0 THM
  - (camarón): 2,0 THM
  - (bio novas): 2,75 THM
- Presión y temperatura:
  - Chows: (40 psi y 70 °C)
  - Bionovas: (0,17 MPa y 50 °C – 60 °C)
  - Camarón: (0,28 MPa y 80 °C – 90 °C)

Los rangos de humedad para todos los productos se manejan de la siguiente manera: (13 % - 13,76 %). Tomando la humedad inicial al ingreso del acondicionador del 12 %.

#### **4.5. Determinación de consumo de vapor de los equipos**

Para determinar el consumo real de vapor en un acondicionador que procesa cantidad de toneladas por hora es necesario conocer el porcentaje de humedad de la masa del producto que pasa por el acondicionador. El proceso de acondicionamiento de la masa requiere agregar humedad lo cual representa agregar peso en forma de agua a la mezcla. La empresa de nutrimentos balanceados maneja en todos sus productos las humedades de la masa a 12 % en temperatura ambiente. El proceso de peletizado requiere acondicionar la masa hasta elevar su humedad a un 17 % como máximo y posteriormente extraer en un enfriador toda la humedad agregada hasta reducirla a la humedad normal del producto de 12 %. Es posible determinar la cantidad de vapor agregado en el proceso restando la masa inicial a la humedad del 12 % del total de masa a la humedad final.

#### **4.6. Cálculo de consumo de vapor**

- Línea de peletizado uno

Considerando:

- TMH: 4 toneladas métricas por hora, masa total procesada
- Masa total (representada como 100 %): masa seca + humedad
- Humedad inicial: 12 %
- Tomando un valor máximo de humedad igual a 15 % debido a que la empresa no sobrepasa este valor a la salida del acondicionador.

El cálculo de las toneladas de masa seca que pasa por el acondicionador se obtiene por:

$$4 \text{ toneladas} * (100 \% - 12 \%) = 3,52 \text{ toneladas de masa seca}$$

En el proceso se agrega agua de la condensación de vapor dentro del acondicionador para elevar la masa seca a 15 %.

$$\frac{3,52 \text{ toneladas}}{(100 \% - 15 \%)} = 4,14 \text{ toneladas de alimento humedo al 15 \%}$$

Cantidad de vapor agregado a la masa:

$$\text{Cantidad de vapor} = 4,14 \text{ toneladas} - 4 \text{ toneladas}$$

$$\text{Cantidad de vapor} = 0,14 \text{ toneladas de vapor}$$

$$\text{Cantidad de vapor} = 140 \text{ kg de vapor/hora}$$

En la línea de peletizado uno, trabajan dos peletizadoras bajo las mismas condiciones de producción por lo que el consumo de vapor es el doble de lo calculado anteriormente.

Consumo total línea uno: 280 kg de vapor/hora

- Línea de peletizado dos

Considerando:

- TMH: 6 toneladas métricas por hora, masa total procesada
- Masa total (representada como 100 %): masa seca + humedad
- Humedad inicial: 12 %

- Tomando un valor máximo de humedad igual a 15 % debido a que la empresa no sobrepasa este valor a la salida del acondicionador.

El cálculo de las toneladas de masa seca que pasa por el acondicionador se obtiene por:

- TMH: 6 toneladas métricas por hora
- Humedad inicial: 12 %

Tomando un valor máximo de humedad igual a 15 % debido a que la empresa no sobrepasa este valor a la salida del acondicionador.

Calculando las toneladas de masa seca que pasa por el acondicionador

$$6 \text{ toneladas} * (100 \% - 12 \%) = 5,28 \text{ toneladas de masa seca}$$

En el proceso se agrega agua en de la condensación de vapor dentro del acondicionador para elevar la masa seca a 15 %.

$$\frac{5,28 \text{ toneladas}}{(100 \% - 15 \%) } = 6,21 \text{ toneladas de alimento humedo al 15 \%}$$

Cantidad de vapor agregado a la masa:

$$\text{Cantidad de vapor} = 6,21 \text{ toneladas} - 6 \text{ toneladas}$$

$$\text{Cantaidad de vapor} = 210 \text{ kg de vapor/hora}$$

En la línea de peletizado dos, trabajan dos peletizadoras bajo las mismas condiciones de producción por lo que el consumo de vapor es el doble de lo calculado anteriormente.

Consumo total línea dos: 420 kg de vapor/hora

- Retorno de condensado total en la planta

El vapor no utilizado en la preparación de los nutrimentos es retornado como agua tratada cerca de su punto de ebullición. El condensado tiene un valor monetario alto en el costo de producción de vapor por lo que es necesario recuperarlo. Para determinar el retorno de condensado fue necesario optimizar el funcionamiento de las dos bombas que trasladan el condensado debido a las pérdidas significativas. Se realizó una corrida de datos con los valores obtenidos durante un tiempo de medición.

Retorno total de condensado: 82 litros/hora

1 litro = 1 kg de vapor

$$82 \frac{\text{litros}}{\text{hora}} * 1 \frac{\text{kilogramo de vapor}}{\text{litro}} = 82 \text{ kilogramos de vapor/hora}$$

Consumo de vapor total:

Consumo de vapor línea de peletizado uno: 280 kg/h

Consumo de vapor línea de peletizado dos: 420 kg/h

Retorno de condensado: 82 kg/h

Consumo total: 280 kg/h + 420 kg/h – 82 kg/h

Consumo total: 618 kg/h



## **5. CAPACIDAD DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN DE VAPOR**

### **5.1. Características generales de las calderas**

- Caldera Cleaver-Brooks

Potencia: 60 BHP

Presión máxima: 0,7 MPa

Presión mínima: 0,4 MPa

Temperatura agua de alimentación: 25 °C

Eficiencia de combustión: 80 % (ya se restaron pérdidas por radiación)

- Caldera Fulton Boiler

Potencia: 100 BHP

Presión máxima: 100 psi

Presión mínima: 60 psi

Temperatura agua de alimentación: 60°C

Eficiencia de combustión: 80 % (ya se restaron pérdidas por radiación)

### **5.2. Sistema de agua de alimentación**

Los sistemas de agua de alimentación de las calderas emplean dos tanques de suministro de agua previamente acondicionada al ingreso de las calderas. Estos tanques almacenan el condensado recolectado del retorno es decir el vapor no utilizado y se mezcla con el agua a temperatura ambiente



suministrando así el agua necesaria para la caldera. El sistema de agua de alimentación de la caldera Fulton si cuenta con precalentamiento previo su ingreso a la caldera mientras que el tanque de la caldera Cleaver-Brooks es de 151 litros por lo que resulta muy pequeño para la caldera dando lugar a pérdidas de agua tratada.

### 5.3. Demanda de agua en las calderas

Para determinar el consumo total de agua por las calderas fue necesario colocar previamente contadores y realizar monitoreos por períodos de tiempo. La demanda de agua se calcula restando al consumo total de agua el retorno de condensado del vapor no utilizado durante el proceso de peletizado.

Tabla I. **Demanda de agua caldera Cleaver-Brooks**

Fecha	Contador de agua (litros)	Horas de caldera (h)
10/05/2017	0	39 548
13/05/2017	14 425,4	39 570
15/05/2017	25 424,3	39 588
17/05/2017	30 237,9	39 595
31/05/2017	77 876,5	39 671
23/06/2017	119 262,1	39 739
18/07/2017	218 035,1	39 913
Total	218 035,1	365

Fuente: elaboración propia.

Demanda de agua:

$$\frac{218\,035,1 \text{ litros}}{365 \text{ h}} = 597,4 \text{ litros/h}$$

Tabla II. **Demanda de agua caldera Fulton**

<b>Fecha</b>	<b>Contador de agua (litros)</b>	<b>Horas de caldera (h)</b>
10/05/2017	0	20 529
13/05/2017	21 858,3	20 557
15/05/2017	39 494,2	20 580
17/05/2017	45 547,3	20 587
31/05/2017	131 541,8	20 698
23/06/2017	305 587,5	20 912
18/07/2017	454 438,4	21 120
<b>Total</b>	<b>454 438,4</b>	<b>591</b>

Fuente: elaboración propia.

Demanda de agua:

$$\frac{454\,438,4 \text{ litros}}{591 \text{ h}} = 768,93 \text{ litros/h}$$

Caldera Cleaver-Brooks: 597.4 litros/h

Caldera Fulton Boiler: 768,93 litros/h

#### **5.4. Tanques de alimentación de las calderas**

Los tanques de alimentación de las calderas son los encargados de suministrar el agua requerida por la caldera para la generación de vapor. Para reducir el consumo actual de combustible de la caldera Cleaver-Brooks, es necesario optimizar el sistema de precalentamiento en el agua de alimentación de la caldera. El agua de alimentación de la caldera es una mezcla de agua a temperatura ambiente y condensado con la temperatura aproximada en el rango de 88° - 92 °C. Esta mezcla resulta una temperatura mayor a la

temperatura ambiente del agua, por lo que es necesario elevar a temperatura ideal de 77 °C para lograr la reducción de consumo de combustible.

Los sistemas de precalentamiento están conformados por un tanque dimensionado adecuadamente al flujo de alimentación de la caldera y una válvula reguladora de temperatura. Esta válvula se compone de un termostato y una sonda con un electrodo que determina la temperatura a la que el agua se encuentra dentro del tanque regulando el flujo de vapor ingresado y de esta manera alcanzar la temperatura deseada del agua de precalentamiento.

Figura 15. **Válvula reguladora de temperatura**



Fuente: *Accesorios*. [www.grupoipcalderas.com/accesorios.php](http://www.grupoipcalderas.com/accesorios.php). Consulta: 16 de agosto de 2018.

El diseño del tanque de agua de alimentación de la caldera dará una mayor capacidad para retener el condensado de retorno de esa línea de producción y de esta manera podrá aprovecharse completamente. Es importante mantener el nivel de agua de alimentación a la temperatura ideal, porque el tanque requiere un mayor volumen de almacenamiento de agua.

Para diseñar correctamente el tanque de alimentación se deben tomar consideraciones teóricas:

Longitud: la longitud del tanque debe ser tres veces el diámetro de este.

$$L = 3D$$

Para sostener la evaporación del agua dentro de la caldera, se supone un tiempo de 20 minutos.

Volumen del tanque

$$\text{Volumen del tanque} = NBHP * (\text{tiempo})$$

NBHP: número de Boiler HP

Tiempo para sostener la evaporación: 20 minutos

1 BHP: 15,65 kg de vapor/h

$$\text{Volumen del tanque} = 60BHP * (20 \text{ minutos})$$

Volumen del tanque

$$= 60 * 15,65 \frac{\text{kg vapor}}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{60 \text{ minutos}} * (20 \text{ minutos}) * \frac{1 \text{ litro}}{1 \text{ kg}}$$

$$\text{Volumen del tanque} = 313 \text{ litros}$$

El tanque debe de mantener un 30 % libre:

$$\text{Volumen del tanque} = \frac{\text{Volumen de agua} * 100 \%}{70 \%}$$

$$\text{Volumen del tanque} = \frac{313 \text{ litros} * 100 \%}{70 \%} = 447 \text{ litros}$$

$$\text{Volumen del tanque} = 0,4478 \text{ m}^3$$

$$V = \pi * r^2 * L$$

$$0,447 = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * (3D)$$

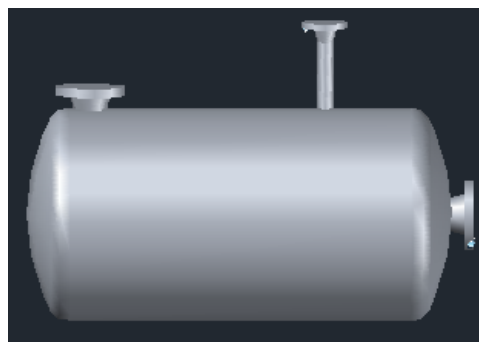
$$0,447 = 2,36 D^3$$

$$D = 0,57 \text{ m}$$

$$L = 3(0,57)$$

$$L = 1,71 \text{ m}$$

Figura 16. **Tanque para caldera Cleaver-Brooks**



Fuente: elaboración propia.

D: 0,57 m = 0,60 m

L: 1,71 m = 1,75 m

## 5.5. Consumo de combustible

- Consumo real

El consumo de combustible real de las calderas fue determinado mediante la colocación de contadores para medir la cantidad de diésel utilizado en la generación de vapor por hora de trabajo de caldera. A continuación, se encuentran las tablas que representan los datos medidos durante un período de tiempo aproximado de tres meses.

Tabla III. **Datos de caldera Cleaver-Brooks**

<b>Fecha</b>	<b>Contador de diésel (litros)</b>	<b>Horas de caldera (h)</b>
10/05/2017	0	39 548
13/05/2017	2 150,1	39 570
15/05/2017	3 506,3	39 588
17/05/2017	4 036,3	39 595
31/05/2017	6 212,3	39 671
23/06/2017	16 447,6	39 739
18/07/2017	29 803,7	39 913
Total	29 803,7	365

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Datos de caldera Fulton**

<b>Fecha</b>	<b>Contador de diésel (litros)</b>	<b>Horas de caldera (h)</b>
10/05/2017	0	20 529
13/05/2017	2 584,5	20 557
15/05/2017	4 258,2	20 580
17/05/2017	4 820,9	20 587
31/05/2017	13 162,5	20 698
23/06/2017	28 238,6	20 912
18/07/2017	40 347,1	21 120
Total	40 347,1	591

Fuente: elaboración propia.

- Cálculo de consumo de combustible por hora

Para calcular el consumo de combustible por caldera, se toman los datos de diésel empleado en cierta cantidad de horas de trabajo de caldera y se procede a dividir para obtener el dato. Como los datos tomados están en metros cúbicos, es necesario realizar la conversión equivalente a litros por hora.

1 metro cúbico: 1 000 litros

- Consumo de diésel caldera Cleaver-Brooks

29 893,7 litros / 365 hora de caldera = 82 litros / hora

La caldera Cleaver-Brooks consume 82 litros de diésel por hora.

- Consumo de diésel caldera Fulton

40 347,1 litros / 591 horas de caldera = 68 litros / hora

La caldera Fulton consume 68 litros / hora galones de diésel por hora.

Caldera Cleaver-Brooks: 82 litros/hora

Caldera Fulton Boiler: 68 litros/hora

- Consumo teórico

Para determinar el consumo teórico de combustible se deben tomar las condiciones ideales para la caldera con un 100 % de carga y 100 % de eficiencia. El factor de combustión está determinado para cada combustible que emplean las calderas tomando como base la combustión en galones en una hora BHP reales.

Factor de combustión del diésel: 0,295 gal/hora BHP reales

Factor de combustión del diésel en litros: 1,12 litros/hora BHP reales

N: eficiencia de combustión

$$\text{Consumo de diésel} = \text{Cantidad BHP} * \text{Factor de combustión diésel}$$

Caldera Cleaver-Brooks

$$\text{Consumo de diésel} = 60 \text{ BHP} * 1,12 \frac{\text{litros}}{\text{hora BHP}}$$

$$\text{Consumo de diésel} = 67 \text{ litros/hora}$$



Caldera Fulton

$$\text{Consumo de diésel} = 100 \text{ BHP} * 1,12 \frac{\text{litros}}{\text{hora BHP}}$$

$$\text{Consumo de diésel} = 112 \text{ litros/hora}$$

Caldera Cleaver-Brooks: 67 litros/hora

Caldera Fulton Boiler: 112 litros/hora

Los resultados obtenidos para el consumo teórico de combustible coinciden con la información de consumo especificada para cada caldera en la placa informativa por lo que se toma ese dato para realizar las comparaciones correspondientes.

El consumo de combustible real de la caldera Cleaver-Brooks es mayor al consumo teórico debido a que el agua de alimentación no se encuentra a temperatura ideal para la generación de vapor y refleja un mayor consumo para la generación de vapor.

En cuanto al consumo de combustible teórico de la caldera Fulton resulta ser mayor que el real ya que la caldera no tiene una carga significativamente alta en la producción de vapor, la mayor carga se ve representada en la caldera Cleaver-Brooks, ambas calderas unifican el vapor generado en un manifold para su distribución.

## **5.6. Eficiencia de las calderas**

La empresa de nutrimentos balanceados contrata a personal especializado para el mantenimiento y control de eficiencia de las calderas, las mediciones que realizan para determinar la eficiencia se basan en el consumo de combustible, control en el suministro de combustible y temperatura de los gases de chimenea. Por lo que el reporte refleja una eficiencia de combustión para ambas calderas dentro del rango de (80 % - 85 %) mediante el análisis de gases de combustión, medición de la temperatura y concentración de gases. Este proceso se realiza introduciendo una sonda en el hogar tomando una muestra de gas, se mide la temperatura de los gases de escape y del aire de combustión. Con base en estos datos el analizador de gases determina la eficiencia de combustión.

## **5.7. Pérdidas en la generación de vapor**

Existen diferentes pérdidas corregibles en los sistemas de generación de vapor, todas las pérdidas que existan se reflejan directamente en el consumo excesivo de combustible. A continuación, se detallan las pérdidas existentes y las correcciones necesarias.

Tabla V. **Soluciones**

Problemas	Correcciones
Pérdida de condensado en el sistema de recolección dentro de la planta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el correcto funcionamiento de las bombas de retorno de condensado.</li> <li>• Limpieza de los electrodos de nivel del sistema de bombeo.</li> <li>• Realizar mantenimiento y limpieza a los filtros de las bombas de retorno de condensado.</li> </ul>
Condensación excesiva en tubería de distribución de vapor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insular térmicamente la tubería de distribución de vapor.</li> <li>• Verificar el correcto funcionamiento de las trampas de vapor.</li> </ul>
Consumo excesivo de combustible en caldera Cleaver-Brooks debido a la falta de acondicionamiento del agua de alimentación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acondicionar el agua de alimentación a 77°C.</li> <li>• Verificar incrustaciones, limpieza del hogar de la caldera.</li> <li>• Limpieza de la boquilla alimentadora de combustible de la caldera.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

### 5.8. Producción de vapor por caldera

Para determinar la producción de vapor por caldera es necesario conocer el valor del poder calorífico del diésel, consumo de combustible real por hora de la caldera, la eficiencia real de la caldera, valores de entalpía para la presión de trabajo y entalpía a la temperatura de agua de alimentación de la caldera.

Aplicando las mejoras en el precalentamiento del agua que ingresa a la caldera se logra un aumento de la producción de vapor. La producción de vapor por caldera será calculada con la entalpía específica de agua saturada a temperatura entre el rango de (60 °C – 77 °C).

La eficiencia de combustión tomada para realizar el cálculo de producción de vapor en la planta de nutrimentos balanceados es de 85 %, se debe considerar restarle las pérdidas por radiación siendo las más significativas y representando un 5 %. La eficiencia para fines de cálculos será del 80 % para ambas calderas.

- Poder calorífico del diésel: 140 000 BTU/gal
- Poder calorífico del diésel en BTU/litro: 39 020 KJ/litro

$$PV = \frac{CC * PCC * N}{h_v - h_l}$$

- CC: consumo de combustible (litro/h)
- PCC: poder calorífico del combustible
- N: eficiencia de combustión de caldera
- H<sub>v</sub>: entalpía específica de vapor saturado (basada en presión manométrica)
- H<sub>l</sub>: entalpía específica de agua saturada (temperatura de agua de alimentación)
  - Producción de vapor caldera Cleaver-Brooks

Presión de trabajo: 0,7 MPa

Temperatura de agua de alimentación: 77 °C

Eficiencia de combustión de la caldera: 80 %

Consumo real de combustible: 82 litros / hora

$$PV = \frac{\left(82 \frac{\text{litros}}{\text{h}}\right) * 39\,020 \frac{\text{KJ}}{\text{litro}} * 80\%}{\left(2\,767,83 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} - 322\,361 \text{ KJ/kg}\right)} = 1\,047 \text{ kg/h}$$

$$PV = 1\,047 \text{ kg/h}$$

- Producción de vapor caldera Fulton

Presión de trabajo: 0,7 MPa

Temperatura de agua de alimentación: 77 °C

Eficiencia de la caldera: 80 %

Consumo real de combustible: 68 litros / hora

$$PV = \frac{\left(68 \frac{\text{litros}}{\text{h}}\right) * 39\,020 \frac{\text{KJ}}{\text{litro}} * 80\%}{\left(2\,767,83 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} - 322\,361 \text{ KJ/kg}\right)} = 868 \text{ kg/h}$$

$$PV = 868 \text{ kg/h}$$

Caldera Cleaver-Brooks: 1 047 kg/hora

Caldera Fulton Boiler: 868 kg/hora

Producción total de vapor: 1 915 kg/h

## **6. DETERMINACIÓN DE LA SIMULTANEIDAD DE OPERACIÓN DE EQUIPOS**

### **6.1. Análisis de consumo y generación de vapor**

La producción de vapor máxima calculada con anterioridad demuestra que las calderas son capaces de operar individualmente y suministrar el vapor necesario para alimentar cuatro peletizadoras. Esto es posible realizarlo con las mejoras en el precalentamiento del agua a la temperatura de 77 °C y corrigiendo pérdidas de condensando durante la recuperación. El precalentamiento del agua de alimentación también reduce el costo de la generación de vapor, es decir, el consumo de combustible es menor por lo que es más fácil evaporar agua que entra a la caldera cerca del punto de ebullición a diferencia de agua que ingresa a temperatura ambiente. Todas las mejoras necesarias en el proceso de generación de vapor se ven reflejadas en los arranques por minuto que tengan las calderas, la falta de aislamiento térmico condensa el vapor más rápidamente dando lugar a que la caldera deba trabajar más para elevar la presión del sistema.

Operando en óptimas condiciones las calderas de la planta de nutrimentos balanceados suministran la cantidad de vapor necesario, se reduce el costo de generación de vapor, se reduce la carga que tenga la caldera y se incrementa la capacidad para generar vapor.

## 6.2. Mantenimiento periódico de calderas

Para que la planta de nutrimentos balanceados opere las calderas de manera eficiente es necesario realizar mantenimientos periódicos preventivos e inspecciones diarias de rutina.

- Inspecciones diarias de rutina

Las inspecciones diarias de rutina constan en llevar un control y monitoreo del funcionamiento de las calderas, así como el chequeo general del sistema de red de distribución de vapor. A continuación, se detalla un checklist de rutina diaria para los sistemas de generación y red de distribución de vapor.

- Inspección general de la caldera
  - Inspección visual de fugas en los quipos.
  - Inspección de los controladores de nivel de agua de la caldera.
  - Funcionamiento de las bombas de agua de alimentación de las calderas.
  - Pérdidas en los tanques de retorno de condensado.
  - Chequeo y regulación de la temperatura de agua de alimentación de la caldera.
  - Monitoreo de la temperatura de gases de chimenea.
  - Realizar las purgas cada 4 horas recomendado y el tiempo de purga recomendado por el especialista químico.

- Inspecciones en red de distribución de vapor
  - Inspección general de la tubería y aislamiento térmico.
  - Verificación del funcionamiento de las válvulas en la tubería.
  - Comprobación del funcionamiento de las trampas de vapor.
  - Inspección de las válvulas shutoff y válvulas reguladoras de presión.
  
- Mantenimiento general de la caldera

El mantenimiento preventivo general de las calderas es realizado semestralmente y consiste en vaciar por completo la caldera e inspeccionar la parte interna, espejos, tubos y compuertas. Las calderas debido a los minerales y los químicos internamente forman lodos e incluso incrustaciones en los tubos por lo que es necesario desprender si fuera el caso estas incrustaciones, remover los lodos y limpiar el hollín que se almacena en el hogar de la caldera en donde se da lugar a la combustión. A continuación, se detalla la inspección y las acciones requeridas para efectuar un correcto mantenimiento en una caldera.

- Lavado a presión de los lodos depositados en el fondo de la caldera si existen.
- Inspección interna del cuerpo de presión, placas, hogar, tubos y la formación de incrustaciones o corrosión en los materiales. El registro de la caldera es importante por lo que es necesario tomar fotografías del estado de la caldera.
- Reemplazo de los empaques o juntas de las compuertas y revisión de asientos de tapas.



- Limpieza de elementos controladores nivel de agua en la caldera, revisar flotes si los hubiera, corroborar aislamiento de cables, limpieza de electrodos en las superficies que tiene contacto con el agua.
- Prueba hidráulica del equipo a 1,5 veces la presión de trabajo durante 5 horas para verificar que no existan fugas y mal funcionamiento.
- Limpieza de tubería, accesorios del ingreso del agua a la caldera.
- Verificación de apertura de las válvulas de seguridad a la presión regulada.
- Inspección de los refractarios, quemador y limpieza de este.
- Realizar mantenimiento a pintura y accesorios.
- Análisis de gases y regulación de combustión ( $O_2$ ,  $CO_2$  y  $CO$ ). Medición de la temperatura de los gases de chimenea y rendimiento térmico de la caldera en la operación diaria anotada en la bitácora.
- Elaboración de un informe técnico con los resultados obtenidos en la medición de eficiencia de combustión y el estado general del equipo.
- Realizar pruebas de seguridad (bajo nivel de agua de la caldera, sobrepresión, presostato y válvula de seguridad).

### **6.3. Jornadas de trabajo de calderas**

La planta de nutrimentos balanceados actualmente opera las calderas todos los días exceptuando los períodos de mantenimiento, en esta ocasión una caldera trabaja mientras la otra está detenida y viceversa. Tomando en consideración que las dos calderas operan para suministrar vapor de manera

simultánea, fueron monitoreados los tiempos que se mantienen arrancadas expresándose de la siguiente manera.

Tabla VI. **Tiempos de operación de caldera Cleaver-Brooks**

<b>Fecha</b>	<b>Horas de caldera</b>
10/05/2017	39 548
13/05/2017	39 570
15/05/2017	39 588
17/05/2017	39 595
31/05/2017	39 671
23/06/2017	39 739
18/07/2017	39 913
<b>Total</b>	<b>365</b>

Fuente: elaboración propia.

- Caldera Cleaver-Brooks

Horas diarias trabajadas por caldera

Número de días: 70

Horas totales: 365

$$365 \text{ horas} / 70 \text{ días} = 5,21 \text{ horas/diarias}$$

Tabla VII. **Tiempos de operación de caldera Fulton**

<b>Fecha</b>	<b>Horas de caldera</b>
10/05/2017	20 529
13/05/2017	20 557
15/05/2017	20 580
17/05/2017	20 587
31/05/2017	20 698
23/06/2017	20 912
18/07/2017	21 120
<b>Total</b>	<b>591</b>

Fuente: elaboración propia.

- Caldera Fulton

Horas diarias trabajadas por caldera

Número de días: 70

Horas totales: 591

$$591 \text{ horas} / 70 \text{ días} = 8,44 \text{ horas/diarias}$$

#### **6.4. Pruebas individuales de operación de calderas en períodos de tiempo**

Se determinó que las dos calderas son capaces de suministrar la cantidad de vapor necesarias trabajando solamente una caldera a la vez; en la planta de nutrimentos balanceados se han realizado las pruebas alternando calderas semanalmente y como resultado se ha obtenido un consumo de diésel reducido y no se han presentado problemas de falta de vapor para la producción de nutrimentos balanceados.

### **6.5. Comparación de consumo de combustible operando calderas simultáneamente**

El consumo de combustible trabajando calderas conjuntamente representaba un exceso de retorno de condensado, las calderas trabajan conjuntamente para mantener la presión en la tubería, un bajo consumo de vapor con relación a una cantidad mayor de producción da como resultado la condensación del vapor y una caída de presión por lo que las calderas aumentan sus arranques por minuto para elevar esa presión. El consumo de combustible para las calderas operando simultáneamente es igual a 150 litros por hora.

### **6.6. Comparación de consumo de combustible operando calderas individualmente**

El consumo de combustible operando solamente una caldera para suministrar el vapor necesario para la planta es de 70 litros/hora. Se ha reducido el consumo de combustible en un 47 %, esto nos indica que el vapor suministrado para el acondicionamiento de la mezcla en los acondicionadores de la peletizadora ha sido la necesario por lo que no hay una cantidad excesiva en el retorno de condensado.

### **6.7. Determinación del impacto ambiental**

Las calderas son potencialmente contaminantes para el medio ambiente; dentro de ellas se da lugar a la combustión y la generación de gases dañinos para la atmósfera. La contaminación ambiental está ligada altamente a la producción de  $CO_2$  mayormente es producto de combustionar gasóleo. Para determinar el impacto ambiental que produce una caldera, se determina la

cantidad de  $CO_2$  que se emite al ambiente producto de la combustión. A continuación, se muestra el impacto ambiental de operar las dos calderas de manera simultánea. Es importante destacar que para fines de cálculos se tomará el factor de emisión equivalente al  $2,79 \text{ Kg } CO_2 / L$ .

Impacto ambiental actual

$$CO_2 = F_e * C_{ca}$$

Donde:

$F_e$ : factor de emisión ( $2,79 \text{ Kg } CO_2/L$ )

$C_{ca}$ : consumo de combustible anual

Consumo combustible total por hora: 150 litros/h (operando calderas simultáneas).

Consumo de combustible anual: 1 313 144,21 litro/año

$$CO_2 = 2,79 \text{ Kg } \frac{CO_2}{L} * 1\,313\,144,21 \frac{L}{\text{año}}$$

$$CO_2 = 3\,663\,672,35 \text{ kg } CO_2/\text{año}$$

## **7. PLAN DE TRABAJO PERIÓDICO DE OPERACIÓN PARA CALDERAS**

### **7.1. Factores favorables de la rotación periódica de equipos**

La rotación de operación de equipos reduce muchos factores importantes que se reflejan en costos de producción de vapor, operar dos calderas simultáneamente produciendo vapor no utilizado representa un excedente de recursos para generación de vapor en la planta de nutrimentos balanceados. A continuación, se mencionan los factores de reducción favorables con la rotación periódica de las calderas.

- Menor cantidad de combustible utilizado
- Reducción de los contaminantes debido a combustión
- Disminución de pérdidas de condensado
- Reducción del consumo de electricidad
- Menores pérdidas por realización de purgas
- Ahorro en costos de químicos para tratamiento de agua

### **7.2. Reducción del impacto ambiental**

El impacto ambiental se ve reducido al operar solamente una caldera para suministrar el vapor necesario para la producción de nutrimentos, a diferencia de operar las dos calderas de manera simultánea y aumentar la producción de gases contaminantes como el  $CO_2$ . A continuación, se presenta la reducción del impacto ambiental.

## Reducción del impacto ambiental

$$CO_2 = F_e * C_{ca}$$

Dónde:

Fe: factor de emisión (2,79 Kg CO<sub>2</sub>/L)

Cca: consumo de combustible anual

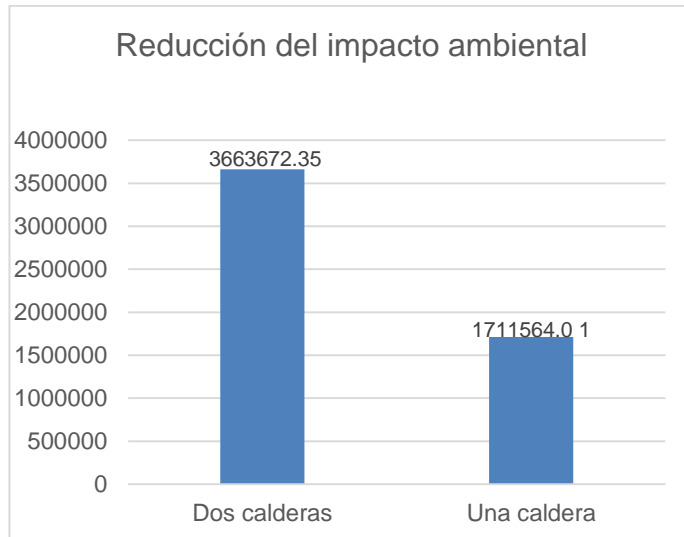
Consumo combustible total por hora: 70 litros/h (operando una sola caldera).

Consumo de combustible anual: 613 463,83 litro/año

$$CO_2 = 2,79 \text{ Kg} \frac{CO_2}{L} * 613\,463,83 \frac{L}{\text{año}}$$

$$CO_2 = 1\,711\,564,01 \text{ kg}CO_2/\text{año}$$

Figura 17. **Reducción del impacto ambiental**



Fuente: elaboración propia.

### 7.3. Procedimiento para mantener una caldera fuera de servicio

Para la paralización de una caldera se deben tomar ciertas consideraciones de almacenamiento, el equipo debe de protegerse de la corrosión durante el período fuera de servicio, básicamente existen dos métodos para realizarlo: húmedo y seco. Cuando seleccionamos alguno de estos métodos se debe de tomar en cuenta el tiempo de inactividad de la caldera. Se recomienda que para períodos prolongados se proceda con el método seco y para períodos más cortos de tiempo se utilice el método húmedo. Cualquier método utilizado para almacenar los equipos requieren inspecciones periódicas.



- Método seco

Para almacenar la caldera un largo período de tiempo es preferible emplear el método seco, este método consiste en vaciar completamente la caldera, lavar todas las partes internas de manera que salgan todos los residuos químicos, lodos, hollín y demás sustancias no deseadas. Posteriormente se inspecciona y se seca la caldera por medio de aire caliente. Si las condiciones climáticas son adecuadas y el lugar es ventilado se puede dejar la caldera abierta para contribuir al secado. Es necesario utilizar un absorbente de humedad, cal viva o sílice gelatinosa. El absorbente debe colocarse internamente en la caldera y se requiere cerrar todas las aberturas. Es necesario revisar constantemente y reemplazar los materiales absorbentes.

A continuación, se detalla la cantidad de material absorbente que debe de colocarse según el dimensionamiento de la caldera.

- Cal viva: 2 libras (0,9 kg) por cada 3 pies cúbicos (85 litros) de volumen.
  - Sílice gelatinosa: 5 libras (2,3 kg) por cada 30 pies cúbicos (850 litros) de volumen.
- Método húmedo

En este proceso la caldera se llena a un nivel normal y se hierve el agua durante un período corto de tiempo para expulsar los gases disueltos, posteriormente se debe llenar la caldera completamente con agua, puede utilizarse el agua normal tratada de la caldera; es recomendado emplear una mezcla de sosa cáustica (400 ppm) y sulfato sódico (100 ppm) o bien el uso de

cromato sódico en una concentración de 100 ppm. Es necesario circular el agua ocasionalmente con una bomba, con esto se evita la concentración de la mezcla en ciertas áreas y se asegura que no exista la reacción química de la corrosión en las superficies metálicas.

#### **7.4. Estudio de tiempo de inactividad de calderas**

Realizando las pruebas correspondientes a la rotación de calderas semanalmente en la planta de nutrimentos, se determinó que la caldera Cleaver-Brooks al estar inactiva por más de dos semanas en método húmedo presenta filtraciones de agua a través de los tubos de humo, mientras que la caldera Fulton no presenta anomalías en la inactividad en el método húmedo.

Antes de hacer una recomendación para la rotación periódica de quipos y el tiempo de inactividad de la caldera Cleaver-Brooks es necesario corregir las filtraciones existentes de agua al momento de dejar la caldera inactiva por más de dos días. Se requiere expandir los tubos de humo de la caldera Cleaver-Brooks y trabajar con la caldera Fulton para suplir la demanda de vapor.

Para realizar la expansión de los tubos es necesario realizar la prueba hidrostática elevando 1,5 veces la presión normal de trabajo y dejarla trabajar en un período de 5 horas, posteriormente los tubos serán marcados de manera que se identifiquen los tubos con problemas y se proceda a expandirlos. La expansión de los tubos es viable de realizar porque estos tubos no han sido expandidos en ninguna ocasión con anterioridad.

## **7.5. Determinación del tiempo de rotación de quipos**

Tomando en consideración las filtraciones de agua a través de los tubos que presenta la caldera Cleaver-Brooks y antes de determinar un plan de rotación de operación de equipos es necesario que los tubos con filtraciones sean identificados a través de la prueba hidrostática y posteriormente se realice la expansión de los tubos. Habiendo corregido las filtraciones ya es posible determinar el tiempo de rotación de equipos.

Con base en los métodos para la inactividad de calderas y la caldera Cleaver-Brooks operando adecuadamente se recomienda realizar la rotación de calderas semanalmente siendo el método húmedo el más adecuado. Se debe mantener el agua acondicionada dentro de la caldera y conservar presurizado el sistema hasta el momento del arranque. Las inspecciones se deben realizar diariamente para asegurar el correcto funcionamiento de cada caldera.

## **8. ESTUDIO ECONÓMICO COMPARATIVO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y GENERACIÓN DE VAPOR**

### **8.1. Inversión económica actual para producción de vapor**

El coste para la generación de vapor es de suma importancia, en ella refleja la inversión monetaria para realizar los procesos de producción en la planta de nutrimentos balanceados, el objetivo principal de un análisis del coste de generación de vapor es optimizar en todos los aspectos los sistemas y reducir la cantidad de dinero gastado en producir vapor.

Los factores que inciden para determinar el coste de producir vapor en una planta normalmente están relacionados con:

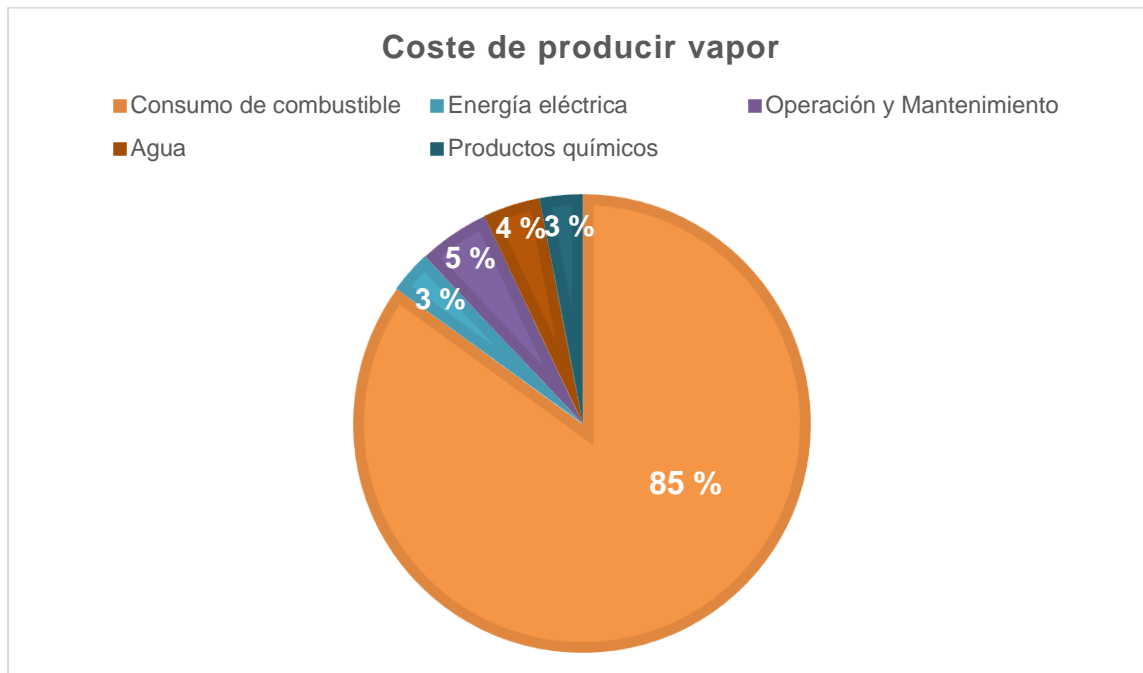
- Coste de la caldera
- Coste de la instalación
- Años de vida de la caldera
- Gastos en mantenimiento
- Precio de combustible y variaciones durante el período de vida
- Rendimiento real del combustible
- Pérdidas de calor en las redes de distribución

Los costes asociados a la generación de vapor dependen de las siguientes variables:

- Consumo y coste de combustible
- Consumo y coste de productos químicos

- Consumo y coste del agua de alimentación y purga
- Consumo y coste de energía eléctrica
- Costes por operación y mantenimiento de la caldera

Figura 18. **Coste de producir vapor**



Fuente: elaboración propia.

Analizando la gráfica anterior podemos observar que el coste de combustible representa un 85 % del coste total de producción, por lo que el objeto de estudio será el consumo de combustible para la generación de vapor.

A continuación, se muestra el cálculo para el costo de la generación del vapor bajo las condiciones de las dos calderas operando y la caldera Cleaver-Brooks sin el sistema propuesto de precalentamiento del agua de alimentación de la caldera.

$$C_v = \frac{(H_v - H_l)}{PCC * N} * P_c$$

Donde:

Cv: coste del vapor

Hv: entalpía específica del vapor saturado

Hl: entalpía específica de agua saturada

PCC: poder calorífico del combustible

N: eficiencia de combustión de la caldera

Pc: precio del combustible

- Costo del vapor de la caldera Cleaver-Brooks

Presión de trabajo: 0,7 MPa

Temperatura de agua de alimentación: 25 °C (sin sistema de precalentamiento).

Eficiencia de combustión de la caldera: 80 %

Precio del diésel: Q 5,8/litro

$$C_v = \frac{(2\,767,83 \text{ KJ/kg} - 104\,838 \text{ KJ/kg})}{39\,020 \text{ KJ/litros} * 80 \%} * Q5,8/\text{litro}$$

$$C_v = Q0,5/\text{kg}$$

- Costo del vapor de la caldera Fulton

Presión de trabajo: 0,7 MPa

Temperatura de agua de alimentación: 77 °C

Eficiencia de la caldera: 80 %

Precio del diésel: Q 5,8/litro

$$C_v = \frac{(2\,767,83 \text{ KJ/kg} - 322\,361 \text{ KJ/kg})}{39\,020 \text{ KJ/litros} * 80 \%} * Q5,8/\text{litro}$$

$$C_v = Q0,45/\text{kg}$$

## 8.2. Costo de operación ambas calderas

El costo de operar las calderas simultáneamente para suministrar el vapor en la planta de nutrimentos requiere mayormente una inversión de combustible, se ha determinado que la operación de ambas calderas es innecesaria, las calderas son capaces de suplir la demanda de vapor operando individualmente; se hace una evaluación del gasto económico de combustible operando calderas simultáneamente.

- Costo de operar caldera Cleaver-Brooks

Consumo de combustible: 82 litros/h

Producción de vapor: 1 047 kg/h

Costo del vapor: Q 0,5/kg

$$\text{Costo por generación} = \frac{1\,047 \text{ kg}}{h} * \frac{Q\,0,5}{\text{kg}} = Q\,523/h$$

La caldera representa un gasto de Q 523 por hora de generación.

- Costo de operar caldera Fulton

Consumo de combustible: 68 litros/h

Producción de vapor: 868 kg/h

Costo del vapor: Q 0,45/kg

$$\text{Costo por generación} = \frac{868 \text{ kg}}{h} * \frac{Q 0,45}{\text{kg}} = Q 391/h$$

La caldera representa un gasto de Q 391 por hora de generación.

### 8.3. Proyección económica de operación individual de calderas

Con base a las recomendaciones anteriormente dadas, es posible realizar la proyección económica enfocada en ahorro de combustible alternando calderas semanalmente. Las pruebas realizadas en la planta de nutrientes balanceados muestran un consumo de combustible promedio de 70 litros por hora operando solamente una caldera. Aplicando las mejoras en el precalentamiento del agua de alimentación de la caldera es posible determinar la producción de vapor y el costo de consumo de combustible para operar la caldera.

$$\text{Costo por generación} = 70 \frac{\text{litros}}{h} * Q 5,8/\text{litro}$$

$$\text{Costo por generación} = Q 406/h$$



#### **8.4. Beneficios de operar calderas individualmente por períodos de tiempo**

Se ha determinado que la planta de nutrientes balanceados es capaz de trabajar con el vapor suministrado por una sola caldera, para ello se recomienda llevar a cabo las propuestas de optimización y realizar la rotación de quipos semanalmente, las inspecciones periódicas son esenciales para el correcto funcionamiento de las calderas y sistemas de red de distribución de vapor.

La rotación periódica de las calderas dará como resultado menor gasto de consumo de combustible y menor costo de producción del vapor. Las emisiones de gases debido a la combustión se ven reflejados en el impacto ambiental de la planta de producción por lo que utilizar menor cantidad de diésel para suministrar vapor reducirá las emisiones de  $CO_2$  en un 47 %.

Suministrando la cantidad adecuada de vapor a los sistemas de peletizado dará como resultado menor cantidad de condensado, reducción de energía eléctrica por operación de equipos innecesarios, menor cantidad de químicos a utilizar, menor desgaste en el regenerador de agua de alimentación y reducción de las pérdidas por purga.

## CONCLUSIONES

1. La demanda de vapor promedio para realizar el proceso de peletizado en las cuatro máquinas es de 618 kg de vapor/hora.
2. Las dos calderas son capaces de suministrar la cantidad total de vapor requerida por la planta, trabajando individualmente; cada una dio como resultado una producción de 1 047 kg de vapor/hora y 868 kg de vapor/hora con capacidad de aumentar su producción de vapor.
3. Debido a los resultados obtenidos sobre la capacidad de producción de los equipos y la demanda actual de vapor, no es necesario operar las dos calderas conjuntamente para suplir la demanda.
4. La caldera Cleaver-Brooks presenta filtraciones de agua, evidentes de forma física a través de los tubos de humo, después de inactivarla por más de dos días.
5. No es posible recomendar una rotación periódica de calderas para suministrar el vapor en la planta de nutrimentos, si la caldera Cleaver-Brooks no es sometida previamente a una prueba hidrostática y una expansión de los tubos para corregir filtraciones de agua.
6. La rotación periódica de calderas es posible realizarla después de hacer las correcciones necesarias para su correcto funcionamiento, y el tiempo recomendado es rotación semanal de equipos.

7. El costo del consumo de combustible con la operación de una sola caldera para suministrar la cantidad necesaria de vapor es de Q 406/h, mientras que operar las dos calderas tiene un costo de Q 914/h.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar el mantenimiento preventivo a los filtros y electrodos de nivel de los tanques de recolección de condensado, para evitar pérdidas.
2. Dimensionar correctamente el tanque de alimentación de la caldera Cleaver Brooks y colocar el sistema de precalentamiento de agua, para ingresarla a temperatura ideal.
3. Colocar aislamiento térmico en la tubería de la red de distribución de vapor para aumentar la eficiencia energética, y evitar la condensación del vapor prematuramente.
4. Debido a las filtraciones de agua que ocurren al dejar de operar la caldera Cleaver-Brooks, se recomienda realizar una prueba hidrostática y posteriormente realizar la expansión de los tubos.
5. Se recomienda realizar la rotación de quipos únicamente si la expansión de los tubos de la caldera Cleaver-Brooks es exitosa, y el período recomendado corresponde una rotación semanal.
6. Llevar a cabo una vez al día un chequeo general del sistema de la red distribución de vapor y verificar que las bombas de retorno de condensado y suministro de agua, estén trabajando en óptimas condiciones.



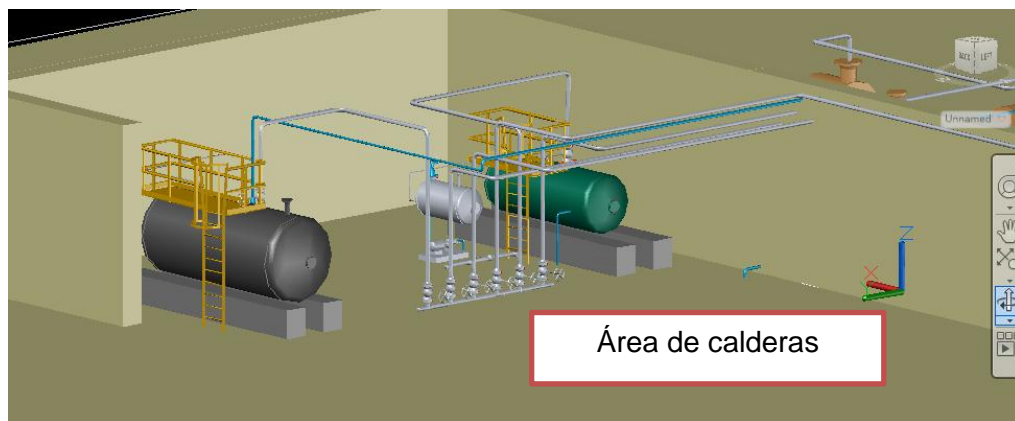
## BIBLIOGRAFÍA

1. BHNKE, Keith C. IndustriaAvícola. *El arte del peletizado*. [en línea]. <<https://www.google.com.gt/amp/s/www.industriaavicola.net/nutricion-y-fabricacion-de-alimentos-balanceados/el-arte-ciencia-del-peletizado/%3famp>>. [Consulta: 12 de julio de 2018].
2. CLEAVER-BROOKS, *Manual de operación y mantenimiento de calderas*. USA: Cleaver Brooks, 1989. 253 p.
3. Colaboradores de Engormix. *% de vapor a kg/h vapor en proceso de peletizado*. [en línea]. <<https://www.engormix.com/balanceados/foros/vapor-vapor-proceso-peletizado-t39858/>>. [Consulta: 15 de agosto de 2018].
4. GONZALEZ FERNANDEZ, José A. *Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión*. Madrid, España: GRAFIMAD, 1984. 684 p.
5. JIMENEZ BORGES, Reiner. *Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor*. [en línea]. <[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-5901201600200007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-5901201600200007)>. [Consulta: 2 de septiembre de 2018].
6. JUTGLAR BANYERAS, Lluís. *Aislamiento térmico*. Barcelona, España: Ediciones CEAC, 1998. 184 p.

7. MOLINA IGARTUA, Luis A.; ALONSO GIRÓN, Jesús María. *Calderas de vapor en la industria*. España: Bilbao, 1996. 129 p.
8. SMITH, Edward H. *Manual del ingeniero mecánico*. 3a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1998. 215 p.

## APÉNDICE

### Apéndice 1. **Vistas del sistema de generación y red de distribución de vapor**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD Palnta 3D.







