



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

**DISEÑO DE INVESTIGACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A LAS
LÍNEAS DE VAPOR PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL PROCESO DE PELETIZADO
EN AGRIBRANDS PURINA DE GUATEMALA S.A.**

Christian Ernesto Ruiz Ramirez
Asesorado por el Ma. Ing. Walter Ramírez

Guatemala, marzo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
EXAMINADORA	Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A LAS
LÍNEAS DE VAPOR PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL PROCESO DE PELETIZADO
EN AGRIBRANDS PURINA DE GUATEMALA S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 26 de octubre de 2019.

Christian Ernesto Ruiz Ramirez

Ref. EEPFI-979-2019
Guatemala, 25 de octubre de 2019

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú:

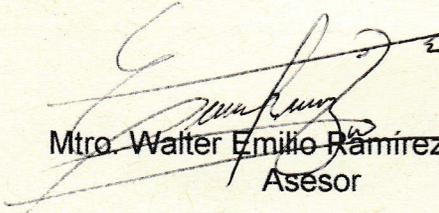
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el **Diseño de Investigación** del estudiante **Christian Ernesto Ruiz Ramírez** carné número **201020110**, quien optó por la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento**.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, se firma y sella la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular,

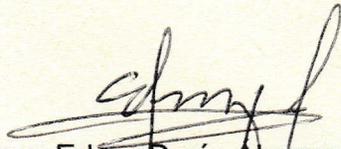
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Walter Emilio Ramírez Córdova
Asesor

Ing. Walter E. Ramírez C.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO 10,049


Mtra. Sandra Ninett Ramírez Flores
Coordinadora de Maestría
Ingeniería de Mantenimiento


Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIMI-028-2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A LAS LÍNEAS DE VAPOR PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL PROCESO DE PELETIZADO EN AGRIBRANDS PURINA DE GUATEMALA S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Christian Ernesto Ruiz Ramirez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, marzo de 2021

DTG. 110.2021.

La Decana 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 Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A LAS LÍNEAS DE VAPOR PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL PROCESO DE PELETIZADO EN AGRIBRANDS PURINA DE GUATEMALA S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Christian Ernesto Ruiz Ramirez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, marzo de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios Todopoderoso	Por guiarme en el camino y brindarme la sabiduría de seguir en el camino correcto y llenarme de bendiciones en mi vida.
Mi madre	Lesbia Ramirez Ruiz por ser una mujer ejemplar, luchadora y de amor incondicional para mi desarrollo y formación como ser humano.
Mi hermano	Gerson Ruiz Ramirez por su apoyo incondicional y por ser una fuente más de inspiración a sobresalir como profesional.
Mi familia	Tíos y primos por aconsejarme, guiarme y apoyarme en momentos difíciles para la toma de buenas decisiones.
Mis amigos	Por los buenos y difíciles momentos que compartimos y nos apoyamos mutuamente para salir adelante en la meta de formarnos como futuros profesionales de la ingeniería. Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

Mi asesor

Ing. Walter Ramírez por brindarme todo su apoyo y sus conocimientos como profesional y como persona.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de formarme como futuro profesional y ayudar al desarrollo de mi país para un mejor futuro.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de formarme dentro de su gloriosa casa.
Facultad de Ingeniería	Por impartirme sus conocimientos para llegar a ser un ingeniero.
Mis amigos de la Facultad	Gabriela Castellanos, Jorge Santos, Berny Yach, Herler Torres, Juan Laroj, Oscar Batz, Carlos Coló y Carlos Culajay por su apoyo y ayuda en los momentos difíciles.
Agribands Purina de Guatemala S.A.	Por darme la oportunidad de empezar a formarme como profesional y desarrollar mi trabajo de graduación.

	7.2.1.3.	Factores que afectan al proceso de peletizado	19
7.3.		Generador de vapor	19
	7.3.1.	Caldera.....	20
		7.3.1.1. Acuotubulares	20
		7.3.1.2. Piro tubulares	20
		7.3.1.3. Vapor.....	21
		7.3.1.3.1. Vapor húmedo.....	21
		7.3.1.3.2. Vapor seco	21
		7.3.1.3.3. Vapor sobrecalentado ...	21
		7.3.1.4. Calidad de vapor	22
		7.3.1.5. Vapor flash	22
	7.3.2.	Líneas de vapor.....	22
7.4.		Mantenimiento.....	24
	7.4.1.	Mantenimiento preventivo	24
	7.4.2.	Mantenimiento correctivo	24
		7.4.2.1. No planificado.....	24
		7.4.2.2. Planificado.....	25
	7.4.3.	Mantenimiento predictivo.....	25
		7.4.3.1. Mantenimiento predictivo mecánico	26
		7.4.3.2. Técnicas comunes para el mantenimiento predictivo.....	26
		7.4.3.2.1. Inspecciones visuales ...	27
		7.4.3.2.2. Análisis de vibraciones	27
		7.4.3.2.3. Termografía.....	27
		7.4.3.2.4. Ultrasonido	27
		7.4.3.2.5. Radiografía industrial	27
		7.4.3.2.6. Líquidos penetrantes.....	28

	7.4.3.3.	Ventajas y beneficios del mantenimiento predictivo	28
	7.4.4.	Plan de mantenimiento	29
	7.4.4.1.	Plan de mantenimiento predictivo	30
	7.4.4.2.	Mantenimiento a líneas de vapor	31
	7.4.4.2.1.	Inspecciones visuales a líneas de vapor	32
	7.4.4.2.2.	Termografía en las líneas de vapor	32
	7.4.4.2.3.	Ultrasonido en líneas de vapor	33
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	35
9.		METODOLOGÍA.....	39
	9.1.	Enfoque	39
	9.2.	Diseño	39
	9.3.	Tipo de estudio	39
	9.4.	Alcances	40
	9.5.	Variables e indicadores	40
	9.6.	Fases.....	41
	9.6.1.	Población y muestra	42
	9.6.2.	Herramientas metodológicas	42
	9.6.3.	Resultados esperados	42
10.		TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	43
11.		CRONOGRAMA.....	45

12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	47
13.	REFERENCIAS	49
14.	APÉNDICES	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	12
2.	Peletizadora CPM Century	15
3.	Diagrama de proceso de peletizado	16
4.	Cronograma de desarrollo	45

TABLAS

I.	Operativización de variables e indicadores	41
II.	Recursos necesarios	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballos de fuerza
X	Calidad de vapor producido
Hz	Hertz
Pdi	Índice de durabilidad de pellet
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
Kw/h	Kilowatt por hora
Ppm	Partes por millón
P	Presión de trabajo de caldera
Psi	Presión en libras por pulgada cuadrada
T	Temperatura en grados Celsius
Ton/h	Toneladas por hora
TDS	Total de sólidos disueltos

GLOSARIO

Acondicionador	Parte de la peletizadora con eje de paletas encargado de homogenizar la mezcla a peletizar a través de la adición de vapor.
Dado	Matriz con agujeros de un diámetro establecido en el cual se comprime la mezcla para la elaboración de alimento peletizado.
Peletizadora	Máquina utilizada para transformar o convertir la materia prima en forma de pellet.sin interrupciones durante un periodo de tiempo determinado.
<i>Pellets</i>	Producto en forma de cilindros de diferentes diámetros que se forman del proceso de compresión entre los rodillos y dado de la máquina peletizadora.
Rodillos	Elemento cilíndrico mecánico de la peletizadora encargado de comprimir la mezcla a peletizar en el dado para formar los pellets.
Válvula dosificadora	Válvula de tipo esfera controlada a través de PLC y se encarga de dosificar vapor en el acondicionador de la peletizadora.

Válvula de retención

Válvula tipo bola pilotada neumáticamente encargada de dar paso al vapor hacia la válvula dosificadora en intervalos de tiempos controlados por el peletizado.

1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo para las líneas de vapor del proceso de peletizado tiene como finalidad sistematizar los procedimientos de rutinas de mantenimiento para obtener información del estado de los equipos, y tener la facilidad de analizar las fallas que puedan afectar a los equipos para mejorar la disponibilidad de las líneas de proceso.

El problema que afecta la eficiencia del proceso de peletizado es el suministro de un vapor de mala calidad por un plan de mantenimiento preventivo de muy poco alcance, que ocasiona fallas que se convierten en mantenimiento correctivo. El Departamento de Mantenimiento no ha logrado solventar con una solución definitiva, por lo que se presentan fallas de manera constante en las líneas de vapor. Este es el cuerpo del trabajo. De aquí en adelante comienza el desarrollo de los conocimientos que se desean presentar en el trabajo de graduación.

El proceso de peletizado es uno de los más importantes para la producción de alimento balanceado. La eficiencia de este depende directamente de la calidad de vapor que se le suministra al acondicionador de la máquina peletizadora, ya que, si es de mala calidad, el proceso de compresión en la recámara de la máquina ocasionará mucha fricción y disminuye el rendimiento de producción. Debido a la importancia del proceso, es importante que la fuente de generación y líneas de vapor se encuentren en las óptimas condiciones mediante una gestión adecuada del mantenimiento.

Si se logra un plan de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor se espera mantener una disponibilidad de eficiencia aceptable para el proceso de peletizado, con rutinas programadas de mantenimiento con técnicas especiales, en conjunto de una mejora a los procedimientos establecidos dentro del mantenimiento de las líneas de vapor para reducir fallas, producir y transportar vapor de calidad a las máquinas peletizadoras.

Con el presente trabajo de investigación se verán beneficios para el Departamento de Mantenimiento y Producción, ya que tendrán las herramientas para analizar las fallas y darle solución con un historial de monitoreo de parámetros de operación de las máquinas y componentes de las líneas de vapor. Producción se verá beneficiado en la mejora de la eficiencia del proceso a través de un monitoreo constante a las líneas de vapor para verificar el suministro de vapor de calidad.

El trabajo de investigación se integrará de cuatro capítulos, los cuales se desarrollarán de la siguiente manera: en el capítulo uno se describirá el marco teórico, comprenderá la historia de la compañía, conceptos generales sobre el proceso de peletizado, ventajas y desventajas del alimento, características del alimento, mantenimiento, tipos de mantenimiento, técnicas de mantenimiento predictivo y conceptos relacionados con el vapor, mantenimiento a líneas de vapor y sus componentes, así como también la frecuencia según el tipo de inspección a realizarle a las líneas.

En el capítulo dos se presentará los resultados de la investigación a través del diagnóstico situacional del mantenimiento de las líneas de vapor y toma de datos de parámetros de operación y eficiencia del proceso de peletizado. En el capítulo tres se discutirá los resultados de la investigación. En el capítulo cuatro se presentará el beneficio del plan de mantenimiento predictivo.

2. ANTECEDENTES

Lluguipuma (2019) indica que el mantenimiento predictivo consiste en la serie de acciones a tomar y que tienen como finalidad detectar las fallas o defectos que se pueden originar por el tiempo de uso en la maquinaria y que afectan al proceso al ocasionar tiempos improductivos y pérdidas económicas.

Así mismo, Lluguipuma (2019) agrega que la manera de asegurar los activos es a través del monitoreo de variables o parámetros de operación de las máquinas con las diversas técnicas de mantenimiento predictivo, las cuales se realizan con la maquinaria en marcha, ya que así se obtiene un panorama más real del estado de las mismas.

Barragán (2016) indica que los mantenimientos predictivos pueden tener falencias si no establece de manera adecuada el cronograma, frecuencia y registros con los análisis de las fallas; estos deben contener de manera detallada la falla, efectos y las consecuencias. Toda esta información debe ser almacenada en el departamento de mantenimiento para facilitar el estudio al momento de tener indicios de una nueva falla.

Guillén (2015) indica que el mantenimiento predictivo se basa en el estudio de la evolución temporal de ciertos parámetros de operación de las máquinas y que se relacionan con la evolución de las fallas que se presentan en los mismos. Con esto se puede determinar el tiempo promedio en el cual la falla puede afectar nuevamente al proceso y así planificar todo lo que se necesite para no incurrir a mantenimientos correctivos.

Lara y Mendoza (2018) indican que los efectos que se desean del vapor se logran con presiones que van desde 1 a 4 kg/cm² y debe ser totalmente seco. Con esto se logra que la mezcla acondicionada logre la homogenización de almidones y grasas para facilitar el proceso de peletizado del alimento.

Campabadal y Maier (2014) indican que el vapor es el insumo más importante para la elaboración del alimento peletizado. La generación de este representa un costo importante para la planta, por lo cual se debe prestar mucha atención para que la generación se haga de forma optimizada y sea suministrada de forma correcta y de calidad.

El vapor que se produce en la caldera se regula antes de suministrarse al acondicionador; con esto se asegura una buena calidad de vapor con alta cantidad de energía, por lo que las válvulas reguladoras deben estar en óptimas condiciones de operación, según Maier (2006).

Los antecedentes anteriores serán utilizados para diseñar la propuesta de un plan de mantenimiento predictivo para las líneas de vapor, con el fin de mejorar la eficiencia en el proceso de peletizado. El estudio apoyará como guía para que el investigador defina los resultados de la investigación y los agrupe para beneficio de la empresa.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema que se presenta en el área de proceso de peletizado es el suministro de un vapor de mala calidad en los acondicionadores de las peletizadoras, ocasionado por un mantenimiento limitado en las líneas de vapor y que da como origen una baja en la eficiencia del proceso. Esto hace que el proceso se vea afectado en el ritmo de producción.

AgribRANDS Purina de Guatemala S.A. ha ido en aumento de su tonelaje de producción de forma mensual. La empresa cuenta con cuatro máquinas peletizadoras y dos calderas que trabajan de forma continua de lunes a sábado, con suministro de vapor de manera constante y que recurrentemente es de mala calidad.

La empresa tiene estándares establecidos en relación con la calidad del alimento peletizado y esto se ve afectado directamente por la calidad de vapor producido y suministrado. A esto se suma que las líneas solo cuentan con mantenimiento preventivo muy limitado, lo cual hace que la disponibilidad de la línea no esté en funcionamiento óptimo, ya que cualquier reparación se vuelve correctiva.

Se hace evidente la necesidad de contar con un plan de mantenimiento predictivo para mantener las líneas en óptimas condiciones de operación y evitar fallas correctivas en las líneas y predecir con antelación un mantenimiento o cambio de cualquier componente de la línea que lo requiera. El Departamento de Mantenimiento debe contar con competencias aptas para interpretar el monitoreo de los parámetros que puedan ser el indicio de una falla.

La pregunta general de este estudio es la siguiente: ¿cómo un plan de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor puede mejorar la eficiencia del proceso de peletizado en Agribands Purina de Guatemala S.A.? Para responder a esta interrogante se debe contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cómo se realiza el proceso de mantenimiento en las líneas de vapor del proceso de peletizado?
- ¿Cuáles son los parámetros de las líneas de vapor que se pueden considerar para el mantenimiento predictivo?
- ¿Qué beneficios se tendrán al utilizar un plan de mantenimiento predictivo en las líneas de vapor del proceso de peletizado?

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se basa en la línea de investigación de gestión del mantenimiento. Se fundamenta en la aplicación de un mantenimiento predictivo como una herramienta de mejora en la fiabilidad y disponibilidad de las líneas de vapor para el proceso de peletizado. El trabajo se relaciona directamente con las asignaturas de Seminario de mantenimiento predictivo, administración del mantenimiento y técnicas de ensayos no destructivos.

La importancia del presente trabajo es debido a que el proceso de peletizado está presentando problemas de eficiencia por el suministro de un vapor de la calidad no adecuada para la elaboración del alimento balanceado. Los equipos deben estar en las óptimas condiciones de operación para evitar paros por mantenimientos correctivos y así mejorar la productividad del proceso. Diseñar un plan de mantenimiento predictivo es necesario para anticipar las fallas y asegurar la disponibilidad de los equipos.

La motivación del investigador es que con la implementación del plan propuesto se mejore la eficiencia y disponibilidad en el proceso de peletizado, se suministre un vapor de calidad, aumente la productividad y se anticipen las fallas para no afectar a la producción. También que los objetivos, en conjunto con el plan, sean alcanzados y que sigan en mejora continua para el proceso.

Se espera implementar el plan de mantenimiento predictivo para mejorar la eficiencia en el proceso de peletizado; que la calidad de vapor que se suministra a los acondicionadores mejore, que las fallas sean anticipadas y que los procedimientos de rutinas de mantenimiento reduzcan los tiempos de paro

mediante el historial de monitoreo de parámetros de operación de las máquinas, para aumentar la disponibilidad de las líneas de proceso.

La necesidad de implementar el mantenimiento predictivo en las líneas de vapor es con el fin de mejorar la eficiencia del proceso, aumentar la calidad del alimento y, a su vez, alargar la vida útil de los componentes de las máquinas peletizadoras y líneas de vapor, y disminuir los tiempos de paro por averías.

Los departamentos beneficiados directos de la propuesta del plan de mantenimiento predictivo serán producción y mantenimiento, ya que se aumentará la eficiencia del proceso junto a una producción de alimento de mayor calidad, como también una disponibilidad de las máquinas y generación de vapor de mejor calidad.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un plan de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor para mejorar la eficiencia en el proceso de peletizado en Agribrands Purina de Guatemala S.A.

5.2. Específicos

- Identificar cómo se realiza el proceso de mantenimiento en las líneas de vapor del proceso de peletizado.
- Analizar los parámetros en las líneas de vapor que se deben considerar en el plan de mantenimiento predictivo.
- Determinar los beneficios de la utilización de un mantenimiento predictivo en las líneas de vapor del proceso de peletizado

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

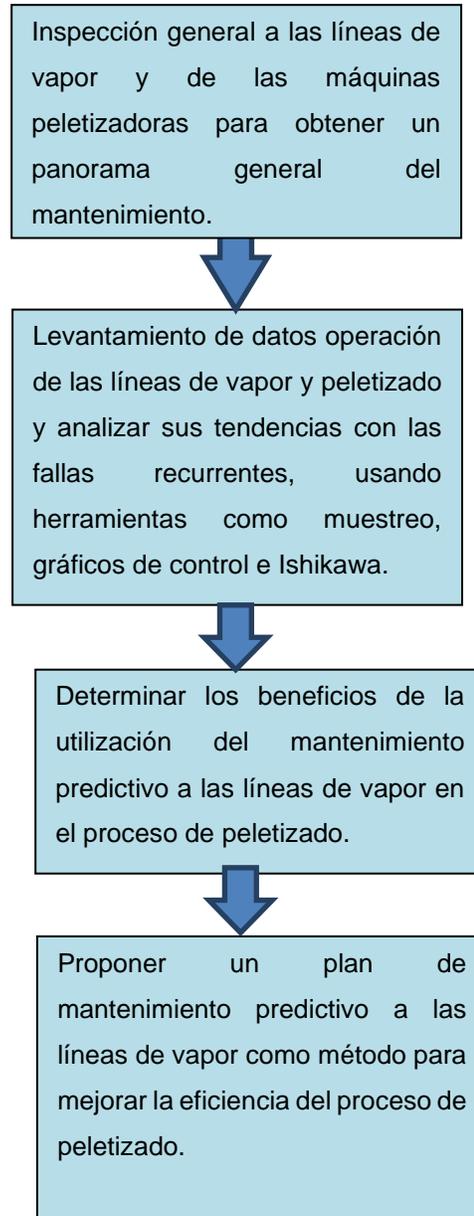
El presente trabajo busca satisfacer la necesidad de mejorar la eficiencia del proceso de peletizado mediante la propuesta de un plan de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor para reducir las fallas. El diagnóstico, análisis y propuesta van ligados a los objetivos.

Dentro de la investigación se busca identificar la situación de mantenimiento que se trabaja en las líneas de vapor del proceso de peletizado. Para ello se aplicará las técnicas de entrevistas a personal involucrado y observaciones directas al proceso.

Se analizará el plan de mantenimiento preventivo para ver los reportes de fallas recurrentes en las líneas de vapor, así como el comportamiento y tendencias de los parámetros de operación durante estas fallas, con el fin de tomar un historial de monitoreo base para el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo y, posteriormente, actuar de forma anticipada.

Para completar las necesidades de este problema se evaluarán los beneficios de la utilización de un mantenimiento predictivo a las líneas de vapor para mejorar el proceso de peletizado. A continuación, en la figura 1 se presenta el esquema para la solución del problema dado en el presente trabajo de investigación.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrollarán los fundamentos teóricos que servirán de respaldo para la investigación. Se hablará un poco de la empresa y se describirán los conceptos teóricos del proceso de peletizado, mantenimiento predictivo, técnicas predictivas y líneas de vapor.

7.1. Agribrands Purina de Guatemala S.A.

Agribrands Purina de Guatemala S.A. es una empresa dedicada a la producción de alimentos balanceados para animales a nivel industrial, cuyos productos ofrecidos al mercado son para camarón, aves de postura, caballos, cerdos, conejos, ganado lechero, ganado de engorde, pollo de engorde, tilapia y gallos de pelea. Para la producción de cada tipo de alimento existen planes de alimentación, según la etapa en la que se encuentre el animal, hasta llegar a la etapa productiva que desea el cliente.

La distribución de sus productos a todo el país es a través de distribuidores exclusivos. También cuenta con la distribución de alimentos para camarón y de cerdos para el área de Centro América, y ofrece gran calidad en sus productos.

7.2. Proceso de peletizado

El proceso de peletizado comprende una secuencia de actividades previo a la elaboración del alimento, las cuales son:

- Premolienda: es la primera fase del procesamiento. Las materias primas pasan a un molino de martillos para obtener una granulometría adecuada para lograr los rendimientos, según la formulación utilizada.
- Preparación de batch: consiste en el pesaje de la materia con los macros y micros ingredientes a través de tolvas básculas, que luego son llevados a la mezcladora a través de un transportador de arrastre.
- Mezclado: consiste en la homogenización de los ingredientes pesados. Se da dentro de una mezcladora de ribbon. Hay dos tipos de mezclado: el seco, en el cual no hay adición de líquidos, y la mezcla húmeda, en la que ya se le adicionan los líquidos necesarios para lograr la homogenización de mezclado.
- Posmolienda: consiste en llevar la mezcla recién homogenizada en la mezcladora hacia un molino de martillos para obtener una granulometría más fina y que la elaboración del alimento peletizado sea más fácil en la máquina.
- Acondicionamiento: consiste en el adicionar vapor a la mezcla previa a peletizar, con el fin de homogenizar almidones y grasas de la mezcla. El vapor ayuda a mejorar la calidad del alimento y a que el proceso de compresión en la peletizadora sea más suave.
- Peletizadora: acá se somete la harina ya acondicionada con vapor a un proceso de compresión en la recámara de la peletizadora, en la cual la mezcla se convierte pellet.

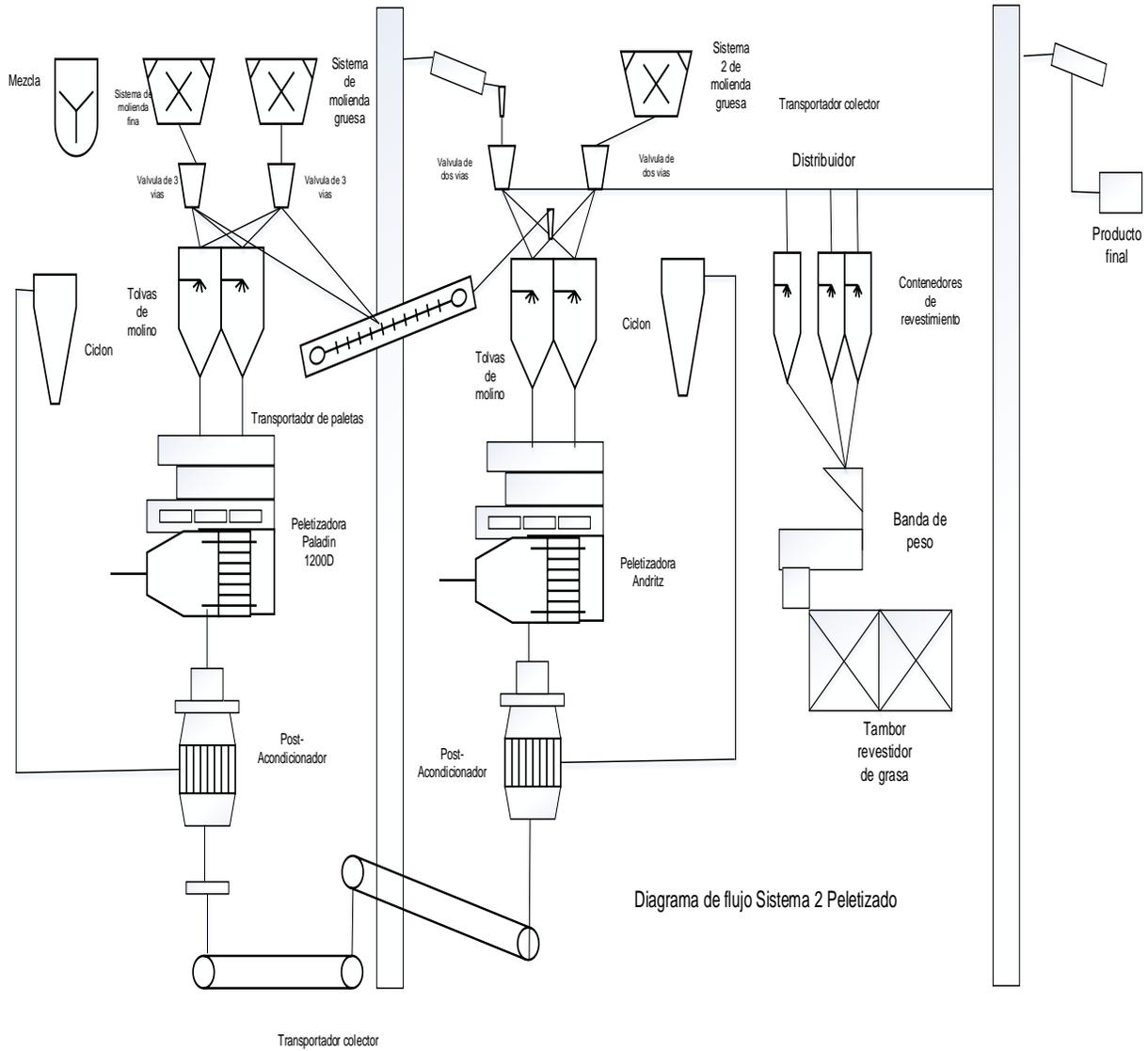
Figura 2. **Peletizadora CPM Century**



Fuente: California Pellet Mill (2019). *Peletizadora CPM*. Consultado el 12 de septiembre 2019.
Recuperado de <https://www.cpm.net/equipment/pellet-mills/1100-series>

- Enfriado de alimento: el alimento peletizado, al salir de la recámara de la máquina, pasa a través de una válvula rotativa para luego depositarse en un enfriador de contraflujo. Su función es extraer el calor del alimento para llevarlo a la humedad formulada para lograr el tiempo de vida estipulado para el mismo.

Figura 3. Diagrama de proceso de peletizado



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2016.

7.2.1. Alimento peletizado

Proceso que consiste en el moldeado de masa de harina en pequeñas partículas en forma de cilindros, con longitudes largas o cortas, a través de un proceso mecánico de compresión con la combinación de presión, calor y humedad. Behnke (2010) define que las actividades como el acondicionamiento, enfriamiento, etc., facilitan el apoyo de contacto en la compresión.

Meinerz (2001) define que el peletizado tiene un gran efecto en el desempeño de los animales y esta demanda una gran cantidad de energía en los equipos, la cual se encuentra entre 10-15 KW/ toneladas por hora para productos para aves.

7.2.1.1. Características del alimento

El aspecto físico y visual del alimento peletizado indica la calidad para el cliente. Dentro de las características principales para la aceptación del alimento se encuentran:

- **Color:** comúnmente, el color del alimento peletizado es café, pero este es solamente un indicativo de los ingredientes utilizados y el tipo de proceso que ha sido utilizado para su elaboración. El color del alimento peletizado debe ser uniforme, ya que si no lo es significa que no hubo una buena molienda, un correcto mezclado de los ingredientes o inclusive un mal cocimiento del alimento en la máquina peletizadora.
- **Tamaño:** la importancia de moler el alimento a un tamaño pequeño es para mejorar la capacidad física del alimento durante el proceso, con lo cual se logra producir un pellet de mejor calidad y aumento en la producción, así

como los máximos beneficios nutricionales para los animales, dependiendo del tamaño a reducir la mezcla en la peletizadora.

Stevens (1987), en sus estudios realizados a los diversos tamaños del peletizado, indica que el tamaño de las partículas afecta el rendimiento de producción y la calidad del pellet. A mayor diámetro del pellet hay mayor rendimiento en la producción; todo es debido a que la compresión en la recámara es menor que en la de un alimento de menor diámetro.

- Fracturas: las fracturas se dan en el alimento solamente cuando no es procesado correctamente con tamaño inadecuado y por un enfriamiento demasiado rápido.
- Aglomeración: una aglomeración en el peletizado es debido a un secado inadecuado del alimento, lo que causa así un deterioro en su valor nutricional.
- Digestibilidad: facilidad de digerir el alimento por parte del aparato digestivo de los animales, lo que facilita el aprovechamiento de los nutrientes del alimento.

7.2.1.2. Ventajas del peletizado para alimentación animal

Dentro de las ventajas que el alimento peletizado brinda al desarrollo de las etapas de los animales se encuentran:

- Mejora el desempeño de los animales
- Facilita la digestibilidad de los animales para los nutrientes
- Hay facilidad de manejarlo y almacenamiento
- Reduce el desperdicio de alimento
- Ayuda a eliminar el organismo patógeno

7.2.1.3. Factores que afectan al proceso de peletizado

La elaboración del alimento peletizado requiere cumplir con estándares de calidad definidos, los cuales se ven afectados por cambios bruscos de las siguientes variables:

- Formulación de ingredientes
- Temperatura inadecuada en el acondicionador
- Desgaste de los dados
- Calidad de vapor utilizado para el proceso
- Mucha humedad en la mezcla

7.3. Generador de vapor

Es la máquina encargada de producir vapor, ya sea para generar energía mecánica, eléctrica o para alimentar las diferentes líneas de un proceso determinado. La máquina principal de generación de vapor y corazón de las industrias es la caldera.

7.3.1. Caldera

Es una máquina utilizada para generar vapor de un a través de un llenado parcial de agua y aplicación de una presión superior a la atmosférica, lo que genera una transferencia térmica procedente del combustible. Los tipos de calderas más utilizadas en la actualidad son las acuotubulares y las pirotubulares.

7.3.1.1. Acuotubulares

Rosaler (2002) indica que en el interior de las calderas circula agua o vapor. Los gases producto de la combustión circulan por el exterior de los tubos, generando un intercambio de calor a través del contacto externo de los tubos con los gases. Manejan presiones hasta 2 200 psi.

Las calderas acuotubulares se emplean en lugares donde se requieren trabajos con presiones y rendimientos altos. Las presiones empleadas por este tipo de calderas se encuentran desde los 600 hasta los 2 200. Varían según sea para calderas de medianas o altas presiones.

7.3.1.2. Pirotubulares

Son las calderas donde los gases producto de la combustión circulan por el interior de los tubos. Por el exterior de los mismos circula el agua utilizada para llenado y evaporizado.

Kohan (2000) dice que las calderas más utilizadas son las pirotubulares dentro de la industria y se dividen en un solo paso o de múltiples pasos.

Las calderas pirotubulares son usadas en industrias pequeñas y medianas, donde el trabajo requiere una baja producción de vapor con presiones no mayores de los 500 psi. Estas calderas pueden diseñarse de varios pasos con respecto a sus tubos de humos, que son los encargados de transportar los gases provenientes de la combustión hasta la chimenea, luego de generarse el intercambio térmico con el agua.

7.3.1.3. Vapor

Es el estado gaseoso que toma el agua debido a la transferencia de calor a través de un aumento de la presión para llevarla hasta su punto de ebullición, para el cambio de estado líquido a fase gaseosa.

7.3.1.3.1. Vapor húmedo

Es el vapor que contiene gotas de agua. Es representado como un vapor de dos zonas debido a que las gotas de agua no transportan una entalpía específica de evaporación.

7.3.1.3.2. Vapor seco

Es el vapor en el cual, en su fase líquida, ha sido totalmente evaporado; es decir, sin dejar una sola gota de agua en su cambio de fase líquida a gaseosa.

7.3.1.3.3. Vapor sobrecalentado

Es el vapor formado por un sobrecalentamiento de un vapor seco o húmedo, el cual es alcanzado debido a una temperatura mayor a la de saturación.

7.3.1.4. Calidad de vapor

Stultz y Kito (1992) definen que la calidad de vapor es el porcentaje de vapor que se encuentra en la fase. Se calcula mediante la masa de vapor dividida entre la masa de vapor más agua (masa total de la mezcla).

Para calcular la calidad de una masa de vapor se procede de la siguiente manera:

$$X = \text{masa del vapor} / \text{masa total de la mezcla}$$

Si el vapor que entra en el acondicionador tiene calidad y contenido de energía adecuada, el acondicionamiento es óptimo y produce excelentes pellets.

7.3.1.5. Vapor flash

Es el vapor formado de la liberación a baja presión de condensado o agua hirviendo del sistema.

La diferencia del vapor flash al vapor normal es que este se forma a partir de una gran caída de presión en el momento de la liberación de condensado a una alta temperatura o presión.

7.3.2. Líneas de vapor

La línea de vapor cumple la función de crear el enlace o transporte desde la caldera hacia las máquinas que necesita el usuario que sean alimentadas con vapor. La fuente de generación es una caldera, la cual debe proporcionar una

buena calidad de vapor cumpliendo las condiciones de caudal, presión, buen aprovechamiento de energía y atenciones de mantenimiento.

El vapor es transportado a través de tuberías, el cual cumple la función de ser un circuito cerrado desde la caldera hasta el punto final de suministro. Las tuberías pueden ser unidas por juntas roscadas, soldadas o por medio de bridas. Todas las líneas de vapor deben estar sujetas y soportadas por anclajes para tener rigidez en todo el trayecto.

Los componentes principales de las líneas de vapor son:

- Aislamiento térmico para conservar la temperatura para aprovechar la energía.
- Soportes para tener rigidez en todo el trayecto y evitar accidentes.
- Juntas de expansión para absorber dilataciones en las líneas de vapor.
- Válvulas reguladoras para regular la presión y regular el flujo del vapor.
- Válvulas de cierre y retención para dar paso del vapor en los tiempos determinados por el operador, según lo que demande el proceso.
- Válvulas dosificadoras para agregar el vapor al punto final de proceso.
- Válvulas de seguridad para liberar la presión en las líneas al momento de darse una sobrepresión.
- Trampas de vapor para capturar todo el condensado que puede llevar el vapor.

7.4. Mantenimiento

Es el conjunto de actividades que pueden ser planeadas o no. Se realizan con la finalidad de conservar en buen estado las instalaciones y equipos, a través de la reparación o corrección de fallas que interfieren en el correcto funcionamiento de los equipos e instalaciones.

7.4.1. Mantenimiento preventivo

Smith (1993) aduce que el mantenimiento preventivo se basa en el cumplimiento de las tareas de inspección y servicio que se han planeado, con el fin de mantener los equipos en las óptimas condiciones operacionales.

7.4.2. Mantenimiento correctivo

Smith (1993) define al mantenimiento correctivo como toda tarea no planeada cuya función es restaurar las operaciones de las máquinas, ya sea por una mala operación o por una falla.

7.4.2.1. No planificado

Es conocido como el mantenimiento de emergencia. Este debe efectuarse inmediatamente, ya que surge de una avería por una condición imperativa que atrasa la producción. Puede alterar normas de seguridad, etc.

7.4.2.2. Planificado

En este tipo de mantenimiento ya se conoce la falla y qué debe realizarse para solucionarla, de modo que se realiza al programarse con producción y se disponga del personal, repuestos y mano de obra de ser necesario.

7.4.3. Mantenimiento predictivo

Para Nava (2006), el mantenimiento predictivo es uno de los tipos del mantenimiento preventivo que se basa en la detección y evaluaciones de los equipos por medio de parámetros y uso de equipos especiales, con la finalidad de reducir los tiempos de paro por emergencias. El costo-beneficio del mantenimiento predictivo se mide básicamente en términos de costos de ahorros en tiempos perdidos por averías.

El mantenimiento predictivo tiene como finalidad esencial anticipar la ocurrencia de fallas mediante técnicas apoyadas de tecnología, lo cual representa un costo alto de inversión para las empresas, pero que brindan la fiabilidad, productividad, reducción de costos y capacitación de personal.

Los objetivos principales del mantenimiento predictivo son:

- Reducir paradas de plantas por fallas imprevistas.
- Reducir los costos de mantenimiento.
- Mitigar o minimizar las fallas en los equipos.
- Tener una secuencia o tiempo específico para la ejecución del mantenimiento a equipos.
- Mantener la planta con una alta confiabilidad de los equipos.

El mantenimiento predictivo demanda de un factor muy importante, el cual es la mano de obra altamente capacitada y calificada. Esto enmarca la eficiencia del mantenimiento y debe cumplir con responsabilidad, experiencia en el manejo de técnicas de predictivos, apreciación confiable, formación técnica, autodidacta y deseo de superación constante.

7.4.3.1. Mantenimiento predictivo mecánico

Este mantenimiento es llamado de condición y se basa en conocer el estado de los equipos para que se pueda determinar su funcionamiento de forma segura y de manera eficiente. Para determinar dicho funcionamiento, las técnicas empleadas se dirigen a medir las variables físicas, ya que estos son los indicadores de cómo se encuentran los equipos. Esta medición de las variables se compara con normativos o valores de referencia para determinar el estado actual de los equipos.

7.4.3.2. Técnicas comunes para el mantenimiento predictivo

Las técnicas de mantenimiento predictivo consisten en el conjunto de técnicas de análisis que se realizan con el fin de evaluar la condición de las máquinas o instalaciones para pronosticar y programar de forma futura un mantenimiento que reduzca los costos, alargue la vida y seguridad de las máquinas.

7.4.3.2.1. Inspecciones visuales

Se basan en realizar rutinas o tareas de observación a los equipos o parámetros de operación, con el fin de identificar problemas a simple vista como ruidos anormales, fugas, vibraciones, estado de los componentes, etc.

7.4.3.2.2. Análisis de vibraciones

Consiste en detectar fallas en los equipos mayormente rotativos estudiando el nivel de vibración. Su objetivo es analizar el espectro que arroja el equipo para interpretar el estado de este.

7.4.3.2.3. Termografía

Es la técnica que consiste en producir una imagen a partir de una radiación infrarroja visible para el ojo humano y que muestra los cambios de temperatura en la que están operando los equipos. Para esta técnica se necesita de una cámara en la cual se ven los colores y escala de temperatura de operación.

7.4.3.2.4. Ultrasonido

Es utilizado para identificar discontinuidades tales como fisuras, fugas, cierre de sellos de válvulas, etc. Esta técnica se basa en la captación del sonido desde frecuencia de 20 hasta 20,000 Hz.

7.4.3.2.5. Radiografía industrial

Consiste en el proceso en el cual unos rayos radioactivos son dirigidos hacia determinada parte u objeto para que lo atraviesen y así, la imagen es capturada

en una película para ser mostrada. Esta técnica se basa en la utilización de rayos X y gamma. La radiografía es utilizada principalmente para detectar imperfecciones, variación de espesores y para la corrosión en equipos.

7.4.3.2.6. Líquidos penetrantes

Es un análisis no destructivo en el cual se emplean líquidos penetrantes en las superficies ferrosos o no ferrosas para evidenciar las discontinuidades que existan en las piezas. Con esta técnica se puede evidenciar fisuras, porosidad, rugosidad, etc.

7.4.3.3. Ventajas y beneficios del mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo promueve la gestión y optimización de los activos. Da como resultado las siguientes ventajas:

- Ahorro de costes en repuestos
- Aumenta la disponibilidad de la maquinaria
- Menos paros por averías
- Mejora la fiabilidad
- Promueve la monitorización y aumento en la seguridad industrial
- Reducción costo de mano de obra
- Costo de mantenimiento optimizado
- Implementación de análisis causa raíz

7.4.4. Plan de mantenimiento

Consiste en el conjunto de tareas de mantenimiento planeadas y agrupadas con el fin de predecir o evitar fallas por averías para lograr la disponibilidad, rentabilidad y aumentar al máximo la vida útil de equipos e instalaciones. Las maneras en que debe basarse la elaboración de un plan de mantenimiento son:

- Basarse en las recomendaciones del fabricante
- Protocolos ya establecidos de forma genérica
- Con base en el análisis de historial de fallas

La información básica que debe contener un plan de mantenimiento es:

- Equipos a los cuales hay que revisar
- Descripción del trabajo a realizar
- Medición de parámetros de operación
- Reporte del trabajo realizado
- Historial de mantenimiento

Un plan de mantenimiento debe tener bien definido la frecuencia de inspección, área y especialidad, con el fin de facilitar el acceso a historial y recolección de información que apoye al momento de cualquier falla por avería no detectada.

7.4.4.1. Plan de mantenimiento predictivo

La importancia de la implementación de un plan de mantenimiento predictivo radica en detectar cuándo va a surgir una avería, con el fin de obtener ahorros en los costos de producción, mejorar la calidad de los productos, resguardar la seguridad y la vida útil de las instalaciones y equipos.

Un plan de mantenimiento predictivo se basa en la secuencia lógica desde el momento que un equipo da alguna falla, se empieza a estudiar y mantener en monitoreo para decidir cuál es el momento oportuno para corregir dicha falla sin afectar la producción.

Para la implementación de un buen plan de mantenimiento predictivo es fundamental determinar el estado operacional de las máquinas o equipos a través de una medición de parámetros los cuales son analizados para ver que las condiciones de los equipos operan dentro de los límites establecidos con relación al tiempo de trabajo o condiciones de operación. Para el desarrollo del mantenimiento predictivo se requiere el uso de equipos especializados y que consisten en pruebas no destructivas para determinar las condiciones de los equipos.

Para implementar un buen plan de mantenimiento predictivo se debe seguir los siguientes pasos:

- Selección de las máquinas que se mantendrán en monitoreo con el fin de reconocer y detectar los posibles problemas que puedan afectar a las máquinas.

- Planificación de actividades con el fin de determinar las actividades y personal idóneo necesario para la realización de las inspecciones de mantenimiento predictivo.
- Programación, que consiste en la distribución de tiempo de cada una de las actividades previamente planeadas y necesarias, las cuales se plasmarán periódicamente en rutas de trabajo.

7.4.4.2. Mantenimiento a líneas de vapor

El mantenimiento a las líneas de vapor consiste esencialmente en mantener en óptimas condiciones cada uno de los componentes y, sobre todo, que el sistema se encuentre libre de fugas. La importancia de su mantenimiento es para asegurar el suministro de un vapor de buena calidad, resguardar la seguridad de las instalaciones y principalmente de las personas.

El mantenimiento que se le realice a las líneas de vapor debe estar a cargo de una persona que cuente con los conocimientos de funcionamiento y trabajo de todos sus componentes. Generalmente, las frecuencias de mantenimiento que se deben dar a las líneas de vapor son:

- Mantenimiento diario: consta de la inspección visual a toda la red de vapor para verificar que no existan fugas, estado del aislamiento térmico, funcionamiento de válvulas reguladoras, dosificadoras y de cierre rápido.
- Mantenimiento mensual: se debe hacer una revisión a fondo del estado de los anclajes, vibración en tuberías, verificación de fugas, limpieza a filtros, test de funcionamiento de trampas de vapor, verificación de

funcionamiento de la línea de retorno de condensado y limpieza superficial completa a la línea de vapor.

- Mantenimiento trimestral: servicio a trampas de vapor, válvulas reguladoras, de retención y dosificación, inspección completa con termografía y ultrasonido a la línea de vapor. Verificar historial de rutinas para comparar con los valores obtenidos al momento del mantenimiento predictivo.

Dentro de las técnicas empleadas para el mantenimiento predictivo a las líneas de vapor se encuentran:

7.4.4.2.1. Inspecciones visuales a líneas de vapor

Las inspecciones visuales se realizan de forma diaria o semanal con el fin de verificar que no existan daños en las líneas; monitoreo a través de los manómetros de la temperatura y presión de trabajo, fugas en juntas, ruidos en las líneas. Este tipo de mantenimiento es el más común por la facilidad de realizarse. Generalmente debe llevarse los registros a través de rutinas u órdenes de trabajo.

7.4.4.2.2. Termografía en las líneas de vapor

La termografía sirve para mantener bajo monitoreo la temperatura de trabajo las líneas de vapor junto con sus componentes. Las cámaras termográficas nos dan la visualización rápidamente en qué condiciones entra y

sale el vapor. También nos ayuda para alertar algún cambio brusco de temperatura.

La termografía también nos es útil para detectar fugas en juntas o en sellos y válvulas a través de los cambios de temperatura considerables en las tuberías.

7.4.4.2.3. Ultrasonido en líneas de vapor

El uso del ultrasonido básicamente se enfoca en detectar fugas, las cuales se originan por fallas de fatiga debido al transportar vapor con mucha agua, juntas de mala calidad, empaques dañados, entre otros. La ventaja de utilizar el ultrasonido en las líneas de vapor es que ayudan al ahorro de energía porque su uso hace que las líneas y componentes estén en óptimas condiciones.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agribrands Purina de Guatemala S.A

1.2. Proceso de peletizado

1.2.1. Alimento peletizado

1.2.1.1 Características del alimento

1.2.2.2. Ventajas del peletizado para alimentación animal

1.2.2.3. Factores que afectan al proceso de peletizado

1.3. Generador de vapor

1.3.1. Caldera

1.3.1.1. Acuotubular

1.3.1.2. Piro tubular

1.3.1.3. Vapor

1.3.1.3.1 Vapor húmedo

1.3.1.3.2. Vapor saturado

- 1.3.1.3.3. Vapor sobrecalentado
 - 1.3.1.4. Calidad de vapor
 - 1.3.1.5. Vapor flash
- 1.3.2. Líneas de vapor
- 1.4. Mantenimiento
 - 1.4.1. Mantenimiento preventivo
 - 1.4.2. Mantenimiento correctivo
 - 1.4.2.1. Planificado
 - 1.4.2.2. No planificado
 - 1.4.3. Mantenimiento predictivo
 - 1.4.3.1. Mantenimiento predictivo mecánico
 - 1.4.3.2. Técnicas comunes para el mantenimiento Predictivo
 - 1.4.3.2.1. Inspecciones visuales
 - 1.4.3.2.2. Análisis de vibraciones
 - 1.4.3.2.3. Termografía
 - 1.4.3.2.4. Ultrasonido
 - 1.4.3.2.5. Radiografía industrial
 - 1.4.3.2.6. Líquidos penetrantes
 - 1.4.3.3. Ventajas y beneficios del mantenimiento predictivo
 - 1.4.4. Plan de mantenimiento
 - 1.4.4.1. Plan de mantenimiento predictivo
 - 1.4.4.2. Mantenimiento predictivo a líneas de vapor
 - 1.4.4.2.1. Inspecciones visuales a líneas de Vapor
 - 1.4.4.2.2. Termografía en las líneas de vapor
 - 1.4.4.2.3. Ultrasonido en líneas de Vapor

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Enfoque

El presente trabajo presenta un enfoque mixto. Se realizarán análisis mediante métodos cuantitativos a través de mediciones de comportamiento de parámetros y métodos cualitativos. Se hará observaciones directas al proceso, revisión de manuales y entrevistas al personal (ver apéndice).

9.2. Diseño

El tipo de estudio que se empleará en el presente trabajo es de diseño no experimental, ya que se basará en la obtención de datos de forma presencial y con el uso de datos históricos proporcionados por la empresa. Será un historial de los parámetros de operación de las líneas de vapor y equipos para efectuar el análisis de su comportamiento al momento de presentar fallas.

9.3. Tipo de estudio

El tipo de estudio que se empleará en el presente trabajo será descriptivo y exploratorio, ya que se analizarán los procedimientos de operación establecidos para el proceso de peletizado internamente y los fenómenos en la obtención de datos. Luego se discuten los resultados y, posteriormente, se plantea una solución con el diseño de un plan de mantenimiento predictivo en las líneas de vapor para mejorar la eficiencia en el proceso de peletizado.

9.4. Alcances

El alcance del presente estudio es establecer un diseño de plan de mantenimiento predictivo como una herramienta para mejorar el proceso de peletizado y disponibilidad de las líneas de vapor. La misma deberá contener los lineamientos para la implementación, control, seguimiento y mejora continua, para una mejora en el proceso de peletizado.

9.5. Variables e indicadores

La variable por estudiar es el diseño de plan de mantenimiento predictivo en las líneas de vapor para mejorar la eficiencia del proceso de peletizado. Dentro de las variables a utilizar en la investigación se encuentra:

- Historiales de mantenimiento
- Manuales de equipos
- Parámetros de operación de líneas de caldera y líneas de vapor
- Encuestas y entrevistas

Tabla I. **Operativización de variables e indicadores**

Objetivo	VARIABLES	Tipo	Indicadores	Plan de Tabulación
Identificar como se realiza el proceso de mantenimiento en las líneas de vapor del proceso de peletizado	Situación del mantenimiento a las líneas de vapor en el proceso de peletizado	Cualitativa	Revelar la situación del mantenimiento en las líneas de vapor del proceso de peletizado	Datos obtenidos por observación directa, entrevistas e historiales de mantenimiento
Analizar los parámetros en las líneas de vapor que se deben considerar en el plan de mantenimiento predictivo	Parámetros de operación de líneas de vapor y peletizado que se deben considerar para monitoreo dentro del plan de mantenimiento predictivo	Cuantitativa/Cualitativa	VARIABLES de operación en el proceso de peletizado que se detectan en conjunto con fallas en las líneas de vapor	Datos obtenidos por recolección de datos, entrevistas a personal técnico e historiales de mantenimiento.
Determinar los beneficios de la utilización de un mantenimiento predictivo en las líneas de vapor del proceso de peletizado	Beneficios de la utilización de un plan de mantenimiento predictivo para las líneas de vapor	Cuantitativa/Cualitativa	Evaluación del mejoramiento al proceso de peletizado mediante la utilización del plan de mantenimiento predictivo	Interpretar y análisis de los resultados obtenidos, propuesta de mejora.

Fuente: elaboración propia.

9.6. Fases

La fase uno consistirá en la recolección, clasificación y revisión de la documentación necesaria sobre mantenimiento predictivo, líneas de vapor y proceso de peletizado, con el fin de tabular el marco teórico y antecedentes para fundamentar la investigación.

La fase dos consistirá en analizar la gestión del mantenimiento en las líneas de vapor y proceso de peletizado. Se realizará la recolección de los historiales de mantenimiento para ver la recurrencia de fallas y su efecto en la eficiencia del proceso; también la obtención de datos operación para ver los parámetros que se relacionan directamente a las fallas.

La fase tres consistirá en el análisis de toda la información reunida, se determinarán los parámetros que se utilizarán para armar el historial de base para su análisis al momento de realizar mantenimientos predictivos a las líneas del proceso.

La fase cuatro consistirá en la presentación del diseño del plan de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor del proceso de peletizado, apoyado de un análisis del beneficio de la implementación tanto económico, productivo y de disponibilidad, para los departamentos de producción y mantenimiento.

9.6.1. Población y muestra

Se tomará como muestra para el estudio los datos de las 4 líneas de vapor en conjunto con las máquinas peletizadoras. Se tomará como fuentes la recopilación de entrevistas a técnicos y operadores, la observación directa y la consulta a manuales (ver apéndice 1).

9.6.2. Herramientas metodológicas

Para el análisis del mantenimiento a las líneas de vapor se utilizarán las entrevistas dirigidas a los técnicos y operadores (ver apéndice 1), como un check list de evaluación para anotar los variables de operación de las calderas (ver apéndice 2) y funcionamiento de las líneas de vapor (ver apéndice 3).

9.6.3. Resultados esperados

Con este trabajo de investigación se espera obtener una propuesta de plan de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor que mejore la eficiencia del proceso de peletizado, que se implemente y se le dé un seguimiento de mejora continua para garantizar la disponibilidad y la calidad de los alimentos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Dentro de las técnicas de análisis de información que se utilizarán en el trabajo de investigación están las entrevistas a personal, historiales y registros de mantenimiento preventivo a las líneas de vapor, consulta a manuales y la observación de cómo opera el proceso de peletizado.

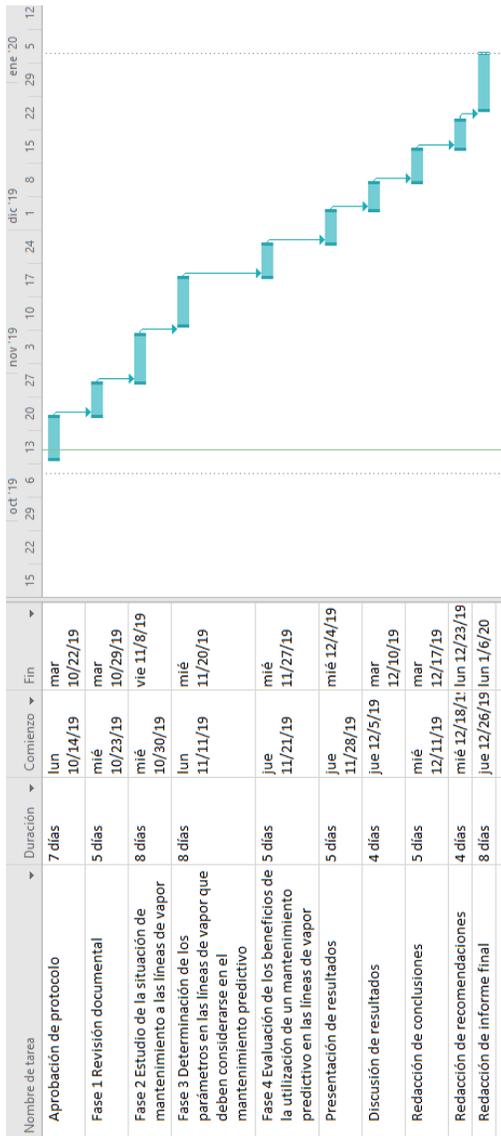
Se procederá a la revisión de los datos recolectados y se seleccionará la información de relevancia e importancia para la investigación. De la obtención de los datos se evaluará de forma cualitativa para generar un reporte que nos indique el estado general del proceso. Se analizará el comportamiento de las variables de operación de las líneas de vapor y calderas mediante un check list (ver apéndice 2 y 3), con el fin de ver el panorama de operación y estado de los equipos.

Se utilizará los registros de fallas a través de los historiales de mantenimiento a las líneas de vapor que tengan injerencia directa en el proceso de peletizado para tabularlos, y usar herramientas de análisis como el Ishikawa y gráficos de control para determinar el estado de la eficiencia en el proceso.

Con la información analizada en las herramientas propuestas se hará un análisis para visualizar cuales han sido las fallas más recurrentes que afectan la eficiencia del proceso, sus efectos en tiempos de productividad y reparación. Para el estudio y análisis se considerará la participación del personal de mantenimiento y producción ya que son las personas de amplio conocimiento en el proceso y así validar la información y proponer mejoras.

11. CRONOGRAMA

Figura 4. Cronograma de desarrollo



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para el desarrollo de la investigación se considerarán factores como el tiempo de toma de datos, entrevistas y análisis de datos, materiales, recursos económicos y el recurso humano. Se contará con el apoyo de la empresa, la cual se verá beneficiada con esta investigación que podrá utilizar para mejorar la producción, mejorando la eficiencia de su proceso con un plan de mantenimiento predictivo a sus líneas de vapor.

Los recursos para realizar el trabajo de investigación son:

- Recursos humanos: se necesitará del apoyo del personal operativo de la planta de las áreas de producción y mantenimiento para realizar la toma de datos y para las entrevistas de todo personal involucrado directamente en el proceso. También se necesitará del apoyo del supervisor de mantenimiento de la planta y de un asesor para ir dando el enfoque necesario en el trabajo.
- Los recursos materiales, tecnológicos, físicos y humanos que se detallan en la tabla II correrán por cuenta del investigador y servirán para la elaboración de cálculos, tablas, gráficas y el desarrollo escrito del trabajo. El acceso a la información será brindado por el gerente de mantenimiento cuyo uso será exclusivo para el desarrollo de la investigación.

Los costos de las visitas de los proveedores para la realización de estudios para verificar el estado de las líneas de vapor correrán por parte de la empresa coordinado a través del supervisor de mantenimiento.

Tabla II. Recursos necesarios

Recurso material, tecnológicos y físicos		
No	Descripción	Costo
1	Papelería y útiles	Q. 1,200.00
2	Computación	Q. 3,000,00
3	Combustible	Q. 3,500,00
Recurso Humano		
No	Descripción	Costo
1	Asesoría	Q. 2,500.00
Resumen		
Descripción		Costo
Recurso material, físico y tecnológico		Q. 7,700.00
Recurso humano		Q. 2,500,00
Total		Q10,200.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Barragán Erazo, Milton Orlando. (2016). *Diseño de la estrategia basada en mantenimiento centrado en la confiabilidad para activos físicos críticos de refinería Shushufindi*. (Tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4694/1/20T00707.pdf>
2. Behnke, Keith. *El arte (ciencia) del peletizado* (2010). Recuperado de <https://www.industriaavicola.net/nutricion-y-fabricacion-de-alimentos-balanceados/el-arte-ciencia-del-peletizado/>
3. Besterfield, D. (2009). *Control de calidad*, México: Pearson Educación.
4. California Pellet Mill (2019). Pellet Mills. Recuperado de <https://www.cpm.net./equipment/pellets-mills>
5. Campabadal, Carlos A. & MAIER, DIRK E. *Steam generation, control, and quality for feed manufacturing*. Recuperado de https://www.feedstrategy.com/wp-content/uploads/2019/09/2-8_Steam_Generation_Control_and_Quality.pdf
6. Domingo Nava, J. (2009). *Aplicación práctica de la teoría de mantenimiento*. Venezuela: Universidad de los Andes Consejo de Publicaciones.

7. Duncan, Acheson. (1990). *Control de calidad y estadística industrial*. México: Alfaomega.
8. Evans, J., & Lindsay, w. (2008). *Administración y control de la calidad*. México D.F: Cengage Learning.
9. Guillén B., Asdrúbal J. (2015). *Optimización de la efectividad global de los equipos (OEE) a través de estrategias de gestión de mantenimiento*. (Tesis de maestría). Universidad de Carabobo. Recuperado de: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle//123456789/2428/aguillen.pdf?sequence=1>
10. Kohan, A. (2000). *Manual de calderas*. Madrid: McGraw-Hill.
11. Lara Garófalo, Audrey Katerine & Mendoza Pérez, Melquiades. (2018). Fuentes de pérdidas en la eficiencia de los equipos de las líneas de peletizado de pronaca quevedo. Uso de un sistema oee (eficiencia global de equipos). Revista INVPOS. Volumen (1). pp. 9-10.
12. Lliguipuma Enriquez, Milton Nolberto (2019). *Impacto de la cultura del mantenimiento predictivo en la competitividad de las pymes industriales y comerciales del canton milagro*. (Tesis de maestría). Universidad Estatal De Milagro). Recuperado de: <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/4381/Lliguipuma%20Enr%C3%ADquez%20Milton%20Nolberto.pdf>

13. Moubray, J. (2001). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Inglaterra: Industrial Press Inc.
14. Paulino, Joaquín. (2013). *Peletización y calidad del pelet*. Recuperado de: <http://www.elsitioavicola.com/articulos/2482/peletizacion-y-calidad-del-pelet/>
15. Rosaler, Robert C., & James O. Rice. (1989). *Manual de mantenimiento industrial*. México: McGraw-Hill.
16. Severns, W. & Degler, H/ Miles H.E. (1975). *La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases*. España: Editorial Reverte Colombiana S.A.
17. Smith, A. & Hinchcliffe, G. R. (2002). *Reliability-centred maintenance*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
18. Zhou, Amanda C. (2013). *Tecnología de peletizado para la ganadería lechera*. Recuperado de <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/tecnologia-peletizado-ganaderia-lechera-t30390.html>

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Entrevista para personal de mantenimiento y producción

Fecha: _____

Puesto: _____

INSTRUCCIONES: CONTESTE A LAS SIGUIENTES PREGUNTAS COLOCANDO UNA X EN LA RESPUESTA QUE CONSIDERE USTED

1. ¿Son efectivos los Mantenimientos Preventivos?	SI NO
2. ¿Hay buena comunicación entre producción y mantenimiento?	SI NO
3. Se cuenta con el stock adecuado de reportes?	SI NO
4. ¿Se realiza algún análisis de fallas a los equipos de la planta?	SI NO
5. ¿Conoce alguna técnica de análisis de fallas?	SI NO
6. ¿Considera que gran parte de las fallas es por errores operativos?	SI NO
7. ¿Considera que el suministro de buen vapor mejorara la eficiencia del proceso de peletizado?	SI NO
8. ¿Son frecuentes los atrasos en la producción por fallas o suministro de vapor de mala calidad?	SI NO
9. ¿Considera que la implementación de un mantenimiento predictivo mejorara la productividad?	SI NO
10. ¿Cree usted que los técnicos puedan llegar a desarrollar efectivamente el mantenimiento predictivo?	SI NO

Fuente: elaboración propia.

