



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**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.**

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

Guatemala, febrero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ING. CHRISTIAN ERNESTO RUIZ RAMIREZ

ASESORADO POR EL ING. MA WALTER EMILIO RAMIREZ CORDOVA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERIA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023

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. Kevin Vladimir Cruz Llorente |
| VOCAL V | Br. Fernando José Paz González |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANA | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| EXAMINADOR | Inga. Roció Carolina Medina Galindo |
| EXAMINADOR | Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz |
| EXAMINADOR | Ing. Víctor Elí Chen Urizar |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO 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 la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 25 de octubre de 2019.




Christian Ernesto Ruiz Ramirez


Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.248.2023

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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación 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: **Ing. Christian Ernesto Ruiz Ramirez**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, febrero de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, febrero de 2023

LNG.EEP.OI.248.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación 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 **Ing. Christian Ernesto Ruiz Ramirez** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala 30 de noviembre 2021.

M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **Trabajo de Graduación** 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.”** del estudiante **Christian Ernesto Ruiz Ramírez** quien se identifica con número de carné **201020110** del programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

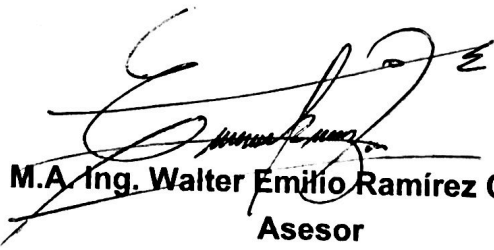
Atentamente,

Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinadora
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 28 de septiembre 2021.

En mi calidad como Asesor del Ingeniero Christian Ernesto Ruíz Ramirez quien se identifica con carné **201020110** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación 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."** quien se encuentra en el programa de Maestría en Ingeniería de Mantenimiento en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,


M.A. Ing. Walter Emilio Ramírez Córdova
Asesor
Colegiado No. 10,049

"Id y Enseñad a Todos"

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

ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|-------------------|--|
| Dios | A Dios Todo Poderoso 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 Marina Ramirez Ruiz por ser una mujer ejemplar, luchadora y de amor incondicional para mi desarrollo y formación como ser humano. |
| Mi hermano | Gerson Oswaldo 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 | Mi novia Dulce Godoy por su cariño, apoyo y compañía especial. Anna Méndez, Carlos Cabrera, Giovanna Ciani, Marcia Hernández y Nicolle Rabre por sus consejos, soporte y su valiosa amistad. |

Mi asesor

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

**La Universidad de San
Carlos**

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

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|--|---|
| La 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. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--------------------------------------|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | VII |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN | XIII |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | XV |
| OBJETIVOS | XVII |
| RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO | XIX |
| INTRODUCCIÓN | XXI |

| | | |
|----------|---|---|
| 1. | MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1. | Proceso de peletizado | 1 |
| 1.1.1. | Eficiencia del proceso de peletizado..... | 4 |
| 1.1.1.1. | Importancia de la eficiencia del proceso de peletizado..... | 4 |
| 1.1.2. | Industria de peletizado..... | 5 |
| 1.1.2.1. | Industria de peletizado en Guatemala | 5 |
| 1.1.2.2. | Agribands Purina de Guatemala S.A.... | 5 |
| 1.1.3. | Alimento peletizado | 6 |
| 1.1.3.1. | Características del alimento..... | 6 |
| 1.1.3.2. | Ventajas del alimento peletizado para la alimentación animal | 8 |
| 1.1.3.3. | Factores que afectan al proceso de peletizado | 8 |
| 1.2. | Mantenimiento | 8 |

| | | |
|------------|--|----|
| 1.2.1. | Mantenimiento Preventivo | 9 |
| 1.2.2. | Mantenimiento Correctivo..... | 9 |
| 1.2.2.1. | No Planificado | 9 |
| 1.2.2.2. | Planificado..... | 9 |
| 1.2.3. | Mantenimiento Predictivo | 9 |
| 1.2.3.1. | Mantenimiento predictivo mecánico | 11 |
| 1.2.3.2. | Técnicas comunes para el mantenimiento predictivo..... | 11 |
| 1.2.3.2.1. | Inspecciones visuales ... | 12 |
| 1.2.3.2.2. | Análisis de vibraciones | 12 |
| 1.2.3.2.3. | Termografía..... | 13 |
| 1.2.3.2.4. | Ultrasonido | 13 |
| 1.2.3.2.5. | Radiografía industrial | 13 |
| 1.2.3.2.6. | Líquidos penetrantes..... | 13 |
| 1.2.3.3. | Ventajas y beneficios del mantenimiento predictivo..... | 14 |
| 1.2.4. | Plan de Mantenimiento..... | 14 |
| 1.2.4.1. | Plan de mantenimiento predictivo | 15 |
| 1.3. | Generador de vapor | 18 |
| 1.3.1. | Caldera..... | 19 |
| 1.3.1.1. | Acuotubulares | 19 |
| 1.3.1.2. | Pirotubulares | 19 |
| 1.3.1.3. | Vapor..... | 20 |
| 1.3.1.3.1. | Vapor húmedo..... | 20 |
| 1.3.1.3.2. | Vapor saturado..... | 20 |
| 1.3.1.3.3. | Vapor sobrecalentado ... | 20 |
| 1.3.1.4. | Calidad de vapor | 21 |
| 1.3.1.5. | Vapor flash | 21 |

| | | |
|------------|--|----|
| 1.3.2. | Líneas de vapor | 21 |
| 1.3.2.1. | Mantenimiento a líneas de vapor | 23 |
| 1.3.2.1.1. | Inspecciones visuales a líneas de vapor | 24 |
| 1.3.2.1.2. | Termografía en líneas de vapor | 24 |
| 1.3.2.1.3. | Ultrasonido en líneas de vapor | 25 |
| 2. | DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 27 |
| 2.1. | Proceso de peletizado | 27 |
| 2.1.1. | Área del proceso de peletizado | 28 |
| 2.1.2. | Diagrama de flujo del proceso de peletizado | 29 |
| 2.2. | Proceso de producción de vapor | 31 |
| 2.2.1. | Sistema de generación de vapor | 31 |
| 2.2.2. | Línea de retorno de condensado | 32 |
| 2.2.3. | Sistema de alimentación de agua..... | 34 |
| 2.3. | Diagnóstico Situacional del proceso de mantenimiento | 35 |
| 2.3.1. | Mantenimiento preventivo..... | 35 |
| 2.3.1.1. | Mantenimiento preventivo programado | 35 |
| 2.3.1.2. | Mantenimiento no programado | 36 |
| 2.3.2. | Mantenimiento pre-planeado | 36 |
| 2.3.3. | Mantenimiento de Seguridad..... | 37 |
| 2.3.4. | Programación de tiempos de trabajos | 37 |
| 2.3.5. | Programación de horas disponibles..... | 37 |
| 2.3.5.1. | Tiempo real..... | 37 |
| 2.3.6. | Programación de trabajos..... | 38 |
| 2.3.7. | Órdenes de trabajo | 38 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.4. | Historial de mantenimiento a líneas de vapor | 40 |
| 2.4.1. | Mantenimiento e inspección a calderas | 41 |
| 2.4.1.1. | Inspección a dispositivos críticos de seguridad..... | 43 |
| 2.5. | Ejecución de mantenimiento en las líneas de vapor | 44 |
| 2.6. | Análisis FODA de mantenimiento | 46 |
| 3. | PRESENTACIÓN DE RESULTADOS..... | 49 |
| 3.1. | Variables de operación de las calderas..... | 49 |
| 3.1.1. | Muestreo | 49 |
| 3.1.1.1. | Temperatura de los gases de la chimenea..... | 52 |
| 3.1.1.2. | Presión de trabajo | 55 |
| 3.1.1.3. | Temperatura del agua de alimentación | 59 |
| 3.1.1.4. | Consumo de combustible | 64 |
| 3.2. | Cantidad de vapor producido por caldera | 65 |
| 3.2.1. | Cantidad de vapor utilizado por máquina peletizadora..... | 69 |
| 3.3. | Producción real de las máquinas peletizadoras | 70 |
| 3.3.1. | California fábrica de pellets | 71 |
| 3.3.2. | Paladín 600 B | 71 |
| 3.3.3. | Feed Max G7..... | 72 |
| 3.4. | Propuesta de diseño de plan de mantenimiento predictivo | 73 |
| 3.5. | Inspecciones visuales | 73 |
| 3.5.1. | Aislamiento de tuberías | 74 |
| 3.5.2. | Líneas de vapor..... | 74 |
| 3.5.3. | Calderas | 74 |
| 3.5.4. | Trampas de vapor | 75 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.5.5. | Acondicionadores | 76 |
| 3.6. | Termografía | 76 |
| 3.6.1. | Líneas de vapor | 77 |
| 3.6.2. | Trampas de vapor..... | 77 |
| 3.6.3. | Válvulas reguladoras | 78 |
| 3.7. | Ultrasonido | 78 |
| 3.7.1. | Líneas de vapor | 79 |
| 3.7.2. | Trampas de vapor..... | 79 |
| 3.7.3. | Válvulas reguladoras y dosificadoras | 80 |
| 4. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 81 |
| 4.1. | Resultados obtenidos del mantenimiento predictivo..... | 81 |
| 4.1.1. | Desempeño de mantenimiento | 82 |
| 4.1.2. | Análisis FODA del mantenimiento predictivo | 84 |
| 4.2. | Resultados del monitoreo de los parámetros de operación..... | 85 |
| 4.2.1. | Consumo de agua | 85 |
| 4.2.2. | Consumo de diésel | 86 |
| 4.3. | Resultados de producción de vapor | 88 |
| 4.3.1. | Cantidad de vapor producido por caldera | 89 |
| 4.3.2. | Costo de vapor producido..... | 91 |
| 4.4. | Resultado en horas extras..... | 93 |
| 4.5. | Resultados en rendimientos de peletizadoras | 95 |
| 4.6. | Discusión de resultados..... | 95 |
| 4.6.1. | Análisis interno | 96 |
| 4.6.2. | Análisis externo | 97 |
| | CONCLUSIONES | 101 |
| | RECOMENDACIONES..... | 103 |
| | REFERENCIAS | 105 |

APÉNDICES..... 109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Peletizadora CPM Century 100 | 2 |
| 2. | Diagrama de proceso de peletizado..... | 3 |
| 3. | Área de proceso de peletizado..... | 28 |
| 4. | Diagrama de flujo sistema 1 de peletizado..... | 29 |
| 5. | Diagrama de flujo sistema 2 de peletizado..... | 30 |
| 6. | Diagrama de línea de vapor | 32 |
| 7. | Línea de retorno de condensados sistemas de peletizado | 33 |
| 8. | Diagrama de sistema de alimentación de agua de calderas | 34 |
| 9. | Esquema de proceso de desarrollo de trabajos programados | 39 |
| 10. | Mantenimiento preventivo a las líneas de vapor | 40 |
| 11. | Mantenimiento a las calderas..... | 42 |
| 12. | Inspección a dispositivos críticos | 43 |
| 13. | Desempeño de mantenimiento enero-mayo 2019 | 45 |
| 14. | Control de temperatura gases de chimenea caldera Cleaver Brooks .. | 53 |
| 15. | Control de temperatura gases de chimenea caldera Fulton | 55 |
| 16. | Control de la presión de trabajo caldera Fulton..... | 59 |
| 17. | Control temperatura de alimentación de agua caldera Cleaver Brooks..... | 61 |
| 18. | Control de la temperatura de agua de alimentación caldera Fulton | 63 |
| 19. | Comparación de consumo de combustible | 65 |
| 20. | Desempeño de mantenimiento con el nuevo plan | 83 |
| 21. | Consumo de diésel mensual por caldera | 88 |
| 22. | Comparativo de horas trabajadas | 94 |

TABLAS

| | | |
|--------|---|----|
| I. | Tiempos de mantenimiento a líneas de vapor enero-mayo 2019 | 44 |
| II. | Desempeño de mantenimiento enero-mayo 2019 | 45 |
| III. | FODA de mantenimiento preventivo a las líneas de vapor | 46 |
| IV. | Factores para el cálculo de límites de control de gráficas para variables | 51 |
| V. | Temperatura de los gases de la chimenea °C | 52 |
| VI. | Temperatura de gases de chimenea °C | 54 |
| VII. | Presión de trabajo en PSI | 56 |
| VIII. | Control de la presión de trabajo caldera Cleaver Brooks..... | 57 |
| IX. | Presión de trabajo en PSI | 58 |
| X. | Temperatura agua de alimentación °C | 60 |
| XI. | Temperatura agua de alimentación °C | 62 |
| XII. | Consumos mensuales de diésel | 64 |
| XIII. | Consumo de diésel y horas trabajadas caldera Cleaver Brooks..... | 67 |
| XIV. | Consumos de diésel y horas trabajadas caldera Fulton | 68 |
| XV. | Producción real peletizadora CPM..... | 71 |
| XVI. | Producción real peletizadora Paladin 600B | 72 |
| XVII. | Producción real peletizadora Feed Max..... | 72 |
| XVIII. | Paladin 1200 D (Andritz)..... | 73 |
| XIX. | Resultados de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor junio- octubre 2019 | 81 |
| XX. | Desempeño de mantenimiento predictivo | 82 |
| XXI. | FODA mantenimiento predictivo | 84 |
| XXII. | Consumos de agua en calderas | 86 |
| XXIII. | Consumos mensuales de diésel en galones..... | 87 |
| XXIV. | Historial de horas extras | 93 |
| XXV. | Rendimientos de peletizadoras..... | 95 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-------------|---|
| B/C | Beneficio/ costo |
| HP | Caballos de fuerza |
| Cc | Consumo de combustible |
| Cv | Costo de vapor |
| hfg | Diferencia de entalpia del fluido |
| hf | Entalpia de un fluido en estado líquido |
| hg | Entalpia de un fluido en estado gaseoso |
| °C | Grados Celsius |
| °F | Grados Fahrenheit |
| gr | Gramos |
| PDI | Índice de durabilidad de pellet |
| Kg | Kilogramos |
| Lbs,lbs | Libras |
| Lbs/ton | Libras por tonelada |
| Lc | Límite de control central de medias |
| Lcix | Límite de control inferior de medias |
| Lcsx | Límite de control superior de medias |
| Pcc | Poder calorífico del combustible |
| Ppm | Partes por millón |
| Psi | Presión en libras por pulgada cuadrada |
| Q | Quetzales |
| Q/ton vapor | Quetzales por tonelada de vapor |

| | |
|------------|--|
| R | Rango |
| Rt | Tasa máxima de producción real de la peletizadora |
| TDS | Total de sólidos disueltos |
| TMH | Tonelada métrica por hora |

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. |
| Pellets | 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.

RESUMEN

Se abordó el problema en las líneas de vapor que ocasionaba una deficiencia en el proceso de peletizado en la planta de Agribands Purina de Guatemala S.A, Situación que provocaba paradas continuas de la maquinaria por averías y un desaprovechamiento en la producción de vapor.

Con el objetivo de dar solución a este problema y mejorar la eficiencia del proceso, se diseñó un plan de mantenimiento predictivo para las líneas de vapor que permitió mejorar la disponibilidad y eficiencia del proceso, así mismo se crearon rutinas de mantenimientos para las líneas con el fin de mantener una mejora continua en el sistema de operación.

Con el diseño del plan de mantenimiento se redujeron los paros y aumento el desempeño del mantenimiento preventivo y predictivo a un 93.33 % y reduciendo los paros por emergencia a un 1.80 %. Así mismo con esto se logró una disminución en las horas extras del 33 % que conllevaron a la disminución de los costos de operación.

Los resultados alcanzados ayudan a concluir que el diseño del plan de mantenimiento mostro mejoras en el desempeño del mantenimiento reduciendo las horas por paros de averías, también el desarrollo de una formación técnica para el personal dando el sentido de pertenencia y crecimiento a los empleados.

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 Agribrands 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?

OBJETIVOS

General

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

Específicos

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

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La investigación se enmarco en un enfoque de estudio mixto cuantitativo-cualitativo. El enfoque cualitativo se vio reflejado en los criterios de conocimientos del proceso del personal técnico y operativo, observaciones en el proceso de peletizado con acompañamiento de personal de mantenimiento, producción y calidad. Por otro lado, el enfoque cuantitativo radico en la descripción e interpretación del muestreo de los parámetros tomados para el diseño del plan de mantenimiento.

El diseño fue no experimental, debido a que las situaciones mostradas y analizadas fueron sin necesidad de recurrir a ensayos. Esto quiere decir que no existió un control de las variables monitoreadas solo un seguimiento operacional de las mismas con aprovechamiento de las condiciones de la planta.

El alcance de la investigación fue del tipo descriptivo, ya que todo fue expuesto de manera simple describiendo hallazgos encontrados en la situación previa como también ya durante el desarrollo del mantenimiento predictivo. Durante este proceso se describieron puntos de mejora los cuales se abarcaron para obtener mejoras y ahorros en el proceso de producción de vapor.

Las variables estudiadas fueron las de mayor impacto para el proceso como la presión de trabajo de las calderas, temperaturas de alimentación, gases de combustión, rendimientos de peletizadoras y tiempos de desempeño de mantenimiento. Así mismo la toma de muestreo para los parámetros de operación con muestras de tamaño 3, las cuales fueron tomadas en campo con

observación directa y verificadas en las rutinas de mantenimiento, entrevistas a personal operativo y mecánicos.

Como esquema de solución, se trabajó en cuatro fases de investigación: la revisión documental de la teoría existente, diagnóstico situacional de cómo se realiza el mantenimiento a las líneas, análisis de los parámetros que se deben considerar en el plan de mantenimiento predictivo y por ultima la determinación de los beneficios en porcentajes de ejecución de los mantenimientos preventivos y predictivos, emergencia y correctivos, rendimientos en TMH de las peletizadoras, la producción de vapor en libras por hora y consumos de galones de agua y diésel en galones en la utilización de un plan de mantenimiento predictivo.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación, se abordó un problema relacionado a la ineficiencia en el proceso de peletizado por paros de mantenimientos correctivos a las líneas de vapor en una empresa de alimentos balanceados. Teniendo el visto bueno de gerencia y mantenimiento con el objetivo de mejorar la eficiencia en el proceso de peletizado, se diseñó un plan de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor como la herramienta de monitoreo en conjunto con los parámetros de operación de los equipos involucrados en el proceso.

Para resolver el problema planteado se utilizó una metodología fundamentada en la teoría existente para el diseño de un plan de mantenimiento predictivo. Debido a que se buscaba que la solución disminuyera el incremento de costos por paros, se decidió trabajar con la información disponible y de la mano con personal de experiencia de la planta en las áreas de producción y mantenimiento para poder detectar y resolver las necesidades encontradas.

Los resultados obtenidos mostraron como el diseño de un plan de mantenimiento predictivo puede mejorar la eficiencia en el proceso de peletizado y la ejecución de los trabajos programados de mantenimiento estableciendo rutinas de mantenimiento para que se facilitara el desarrollo del mantenimiento predictivo.

Los capítulos de la investigación fueron desarrollados de manera que se comprendiera de forma sencilla el diseño del plan de mantenimiento. Se inició con el capítulo uno, marco teórico, realizando una descripción de la teoría existente y que soportaron el desarrollo de los capítulos posteriores.

En el segundo capítulo, se realizó el desarrollo de la investigación, con la descripción de áreas de proceso y el diagnóstico situacional del mantenimiento de las líneas de vapor, centrándose en conocer la forma de ejecución de los trabajos y tiempos programados por mantenimiento, con esto se identificaron los puntos de mejora que debían ser abordados.

En el tercer capítulo se analizaron los parámetros de operación de las líneas de vapor para el diseño de rutinas de mantenimiento predictivo y se determinó la solución de diseño de mantenimiento que mejor se adecuaba a las necesidades identificadas.

En el cuarto capítulo se realizó la determinación de los beneficios de ahorro en horas extras, consumo de diésel, producción de vapor, consumos de agua y aumento de rendimientos en las maquinas peletizadoras con la utilización de un mantenimiento predictivo, se obtuvieron los resultados de los primeros cinco meses de funcionamiento, se continuo con la discusión de resultados en donde con la información recolectada se evaluaron los beneficios y la efectividad de la solución.

Se puede concluir que la investigación aporó beneficios para la empresa, los resultados obtenidos mostraron mejoras en el tiempo de reducción de horas de paros, ahorros de horas extras, consumos de agua, diésel y mayor aprovechamiento del tiempo programado por parte de mantenimiento.

1. MARCO TEÓRICO

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

1.1. 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.

- Postmolienda: 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 1. **Peletizadora CPM Century 100**

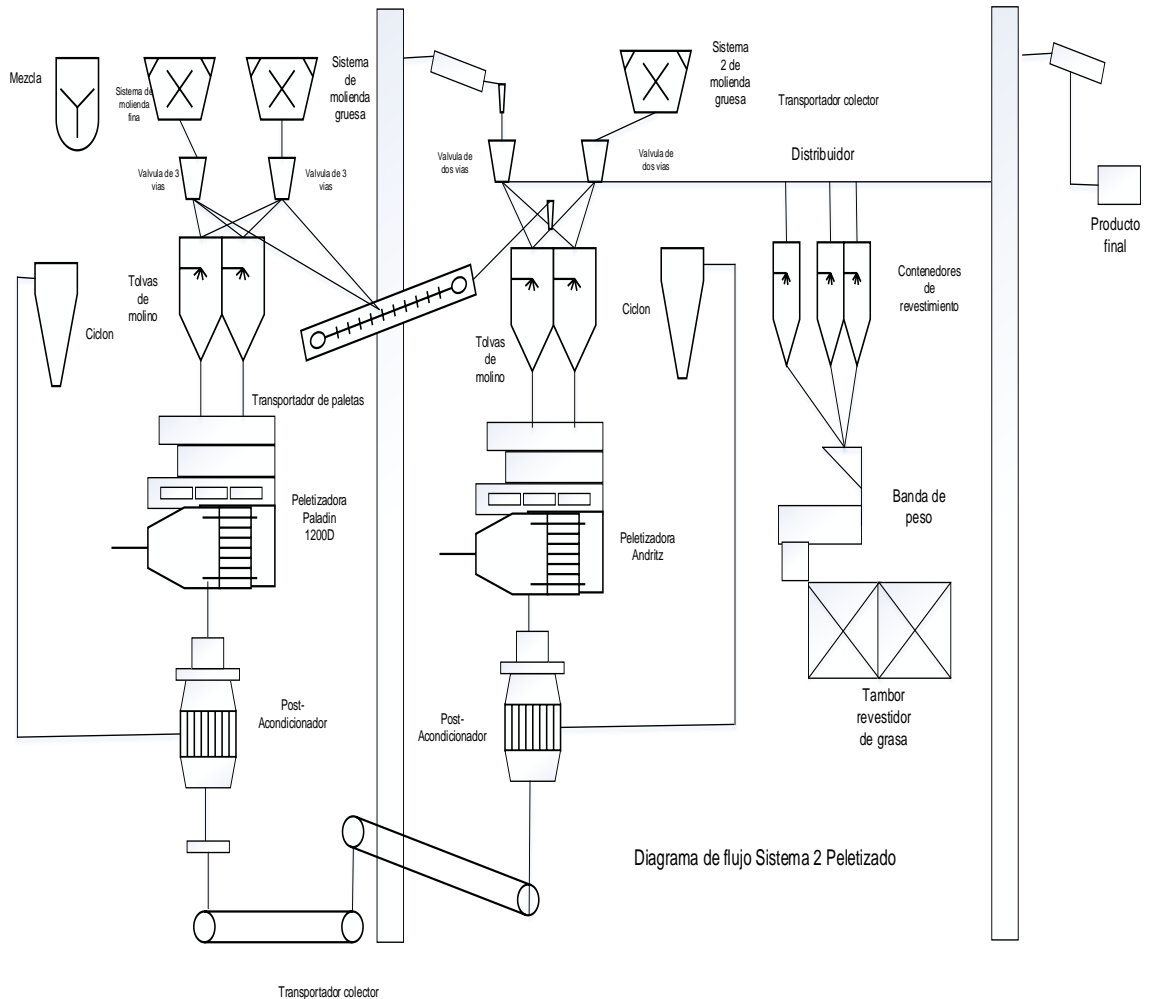


Fuente: Animal Feed (2021). *California Pellet Mill*. Consultado del 22 de agosto de 2021.

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 llegarlo a la humedad formulada para lograr el tiempo de vida estipulado para el mismo.

Figura 2. Diagrama de proceso de peletizado



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio.

1.1.1. Eficiencia del proceso de peletizado

La eficiencia del proceso de peletizado es medida de diversos puntos de vistas que van desde la calidad del alimento hasta el rendimiento de las máquinas en el tema de tonelajes. La forma de medir la eficiencia del proceso desde rendimientos es a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{Tonelaje producido (ton)}}{\text{Tiempo neto operativo(h)} * \text{rendimiento nominal}(\frac{\text{ton}}{\text{h}})} * 100 \text{ Fórmula 1}$$

La forma de medir la eficiencia del proceso desde el punto de vista de calidad es a través de lograr los parámetros numéricos de humedad y durabilidad del pellet formulados y la poca generación de finos en el alimento.

1.1.1.1. Importancia de la eficiencia del proceso de peletizado

La importancia de mejorar la eficiencia del proceso de peletizado radica en que es un proceso con costos elevados en cuestiones de formulación, utilización de vapor y tiempo de vida de los equipos. El vapor cumple un papel importante en el proceso ya que con él se logra eliminar la propagación de bacterias en el alimento, una homogenización adecuada de las proteínas y almidones facilitando la digestión en los animales y a su vez aprovechar los nutrientes del alimento. Un proceso eficiente de peletizado se logra con un correcto de acondicionamiento de los ingredientes obteniendo que la caducidad del alimento se alargue más de lo estándar.

1.1.2. Industria de peletizado

La industria de peletizado es una industria que va en crecimiento a nivel mundial su delicadeza en el proceso y su alto impacto en la elaboración del alimento balanceado para animales la hace una industria de constantes cambios en los procesos para que sus productos sean de mayor calidad y que cumplan las expectativas de los clientes.

La industria de peletizado se caracteriza por utilizar vapor en su proceso de elaboración del alimento balanceado porque de esta manera se logra la homogenización de los ingredientes mezclados, los mercados que abarca esta industria son los avícolas, porcinos, camaroneros y ganaderos.

1.1.2.1. Industria de peletizado en Guatemala

Guatemala se ha caracterizado por ser un país mayormente agrícola por lo cual el desarrollo de esta industria ha ido en aumento, esto se puede ver a través de la presencia de las plantas de mayor presencia en el mercado las cuales son PAF, Aliansa, El Prado, Molino Santa Ana y Agribrands Purina de Guatemala S.A., y cada una de ellas utilizan el proceso de peletizado para la elaboración de sus alimentos con diferentes estándares de calidad.

1.1.2.2. 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, como también cuenta con la distribución de alimentos para camarón y de cerdos para al área de Centro América, ofreciendo gran calidad en sus productos.

1.1.3. 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, entre otros, facilitan el apoyo de contacto en la compresión.

En cuanto a, 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.

1.1.3.1. Características del alimento

- 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.

En cuanto a, 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.

1.1.3.2. Ventajas del alimento peletizado para la alimentación animal

- 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

1.1.3.3. Factores que afectan al proceso de peletizado

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

1.2. Mantenimiento

Es el conjunto de actividades que pueden ser planeadas o no y que 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.

1.2.1. Mantenimiento Preventivo

En cuanto a, 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.

1.2.2. Mantenimiento Correctivo

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

1.2.2.1. No Planificado

Es conocido como el mantenimiento de emergencia, este debe efectuarse inmediatamente ya que surge de una avería por una condición imperativa atrasando la producción, puede alterar normas de seguridad, entre otros.

1.2.2.2. Planificado

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

1.2.3. Mantenimiento Predictivo

En cuanto a, Nava, A. (2006) el mantenimiento predictivo es uno de los tipos del mantenimiento preventivo el cual 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 costes y capacitación de personal.

El tipo de técnicas predictivas a utilizarse por parte del departamento de mantenimiento depende mucho del tipo de sistema usado en las instalaciones, cuestiones de seguridad industrial y sobre todo por consideraciones económicas de presupuesto.

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, este mismo debe cumplir con responsabilidad, experiencia en el manejo de técnicas de predictivos, apreciación confiable, formación técnica, autodidacta y deseo de superación constante.

Cabe destacar que el mantenimiento predictivo es una etapa avanzada del preventivo el cual reduce considerablemente la incertidumbre de la falla de un equipo ya que en los mantenimientos preventivos los tiempos de inspección pueden ser cortos o largos ocasionando atrasos en la producción por fallas inesperadas o por no ser resueltas de la manera correcta.

La efectividad o valor del mantenimiento predictivo es medido a base de los tiempos de averías que se han evitado y ahorro en costes de mantenimiento, se debe tomar en cuenta que la inversión inicial es costosa, pero al ser medido con los ahorros por fallas detectadas en elementos críticos es menor. El desarrollo del mantenimiento predictivo con personal formado de la manera correcta da un valor agregado ya que el tiempo de resolución de fallas se reduce considerablemente por la detección a tiempo de estas.

1.2.3.1. 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.

1.2.3.2. 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.

La elección de las técnicas a emplear en un plan de mantenimiento predictivo depende mucho de los tipos de fallas que se presentan y hasta donde quiere abarcar la empresa en el monitoreo de las variables o parámetros de fallas, todo esto con el fin de que el plan vigile, proteja, diagnostique y se pronostique con anticipación una posible falla.

1.2.3.2.1. 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, entre otros. Este tipo de inspección por la facilidad de ejecución debe realizarse por personal operativo y de experiencia de manera diaria en equipos críticos y debe registrarse a través de rutinas las cuales deben ser archivadas físicamente para tener registros de monitoreo de las máquinas.

1.2.3.2.2. Análisis de vibraciones

Consiste en detectar fallas en los equipos mayormente rotativos estudiando el nivel de vibración, este análisis tiene como objetivo analizar el espectro que nos arroja el equipo para interpretar el estado de este. Para este tipo de análisis se deben conocer parámetros de importancia como la velocidad de giro, el tipo de cojinetes y el tipo de transmisión, como los puntos de análisis que servirán para detectar una posible falla.

1.2.3.2.3. Termografía

Es la técnica que consiste en producir una imagen a partir de una radiación infrarroja que es visible para el ojo humano a través del empleo de una cámara termográfica y que muestra los cambios de temperatura de los equipos, con este tipo de análisis se pueden detectar fallas invisibles para el ojo y que se pueden solucionar de forma inmediata impidiendo a llegar a paros costosos para la planta.

1.2.3.2.4. 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. El empleo de ultrasonido permite detectar fallas en fricción de equipos rotativos, fugas de aire o vapor en tuberías, fugas de fluidos, detección de arco eléctrico, entre otros.

1.2.3.2.5. Radiografía industrial

Consiste en el proceso en el cual unos rayos radioactivos son dirigidos hacia determinado parte u objeto para que lo atraviesen y así la imagen es capturada en una película para ser mostrada la imagen, 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.

1.2.3.2.6. Líquidos penetrantes

Es un análisis no destructivo en el cual inicialmente se debe limpiar la pieza ferrosa o no ferrosa para luego aplicar el líquido penetrante y se la da un

tiempo, luego se limpia el exceso de penetrante y se aplica el líquido revelador para evidenciar las discontinuidades que existan en las piezas, con esta técnica se puede evidenciar fisuras, porosidad, rugosidad, entre otros.

1.2.3.3. Ventajas y beneficios del mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo promueve la gestión y optimización de los activos dando 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

1.2.4. Plan de Mantenimiento

Consiste en el conjunto de tareas de mantenimiento planeadas y agrupadas cuyo fin es 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.

1.2.4.1. Plan de mantenimiento predictivo

La importancia de la implementación de un plan de mantenimiento predictivo radica detectar cuando nos 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 maquinas 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 en 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:

- Administración del plan, se debe elegir o designar a la persona encargada de dar marcha y seguimiento al plan.
- Selección de máquinas, se debe realizar un levantamiento de las máquinas que estarán bajo el monitoreo del mantenimiento predictivo. Se debe crear un listado en el cual se detalle toda la información técnica y la ubicación de la máquina.
- Identificación o codificación de las máquinas, se debe crear un sistema que facilite la identificación de manera única de la máquina para evitar confusiones.
- Documentación de registros, crear un archivo físico y digital que contenga toda la información técnica de las maquinas con la finalidad de que sé que esta documentación se esté retroalimentando en cada mantenimiento que se realice.

- Planificación de actividades, esto es con el fin de determinar las actividades y personal idóneo necesario para la realización de las inspecciones de mantenimiento predictivo.
- Programación, 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.
- Control del programa, se debe realizar según lo planificado y mantenerse en observación constante para que la ejecución de este no se pierda.

Un plan de mantenimiento predictivo efectivo es el que permite realizar los cambios de forma anticipada antes de que se presente una falla impactante y que detenga el proceso por tiempos prolongados. Se debe tomar en cuenta que cada vez que se realice un mantenimiento el encargado debe verificar que la información sea trasladada de forma correcta y que, quede plasmada en reportes digitales y físicos para facilidad de acceso a la misma para futuras auditorias.

Durante el proceso de implementación del plan de mantenimiento predictivo se debe conocer sobre las técnicas a emplear de no ser así el caso se debe preparar a la mano de obra en conjunto con alguien de experiencia para que el programa vaya agarrando solidez, también se debe contar con el historial de mantenimientos y fallas de las máquinas para que el plan de mantenimiento vaya mejorando conforme se vaya desarrollando.

Las formas en que se puede implementar un plan de mantenimiento son: a través del desarrollo por parte de la empresa o en conjunto con un proveedor. En el caso de ser desarrollado por la empresa se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Equipos para utilizar en las medidas y tener un control en los parámetros que se mantendrán en monitoreo.
- Un programa de gestión de datos e historiales en forma física y electrónica para facilidad de estudio.
- Tener la preparación técnica sólida tanto para los supervisores encargados de los análisis como del personal electromecánico con el fin de manejar los criterios de diagnóstico.

Si el plan de mantenimiento la empresa plantea que sea realizado en conjunto con un proveedor se pueden presentar las siguientes opciones:

- El departamento de mantenimiento se enfoca en la gestión de historiales y datos y el contratista se encarga de proporcionar los equipos, el personal para análisis y diagnósticos.
- El departamento de mantenimiento brinda la gestión de historiales, datos y personal para los análisis y el contratista se encarga de proporcionar los equipos, personal técnico y realización del diagnóstico.

1.3. 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.

1.3.1. 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 generando una transferencia térmica procedente del combustible. Los tipos de calderas más utilizadas en la actualidad son las acuotubulares y las pirotubulares.

1.3.1.1. Acuotubulares

En cuanto a, Rosaler (2002) indica que son las calderas donde por el interior de sus tubos circula agua o vapor y 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, que manejan presiones hasta 2200 psi.

Las calderas acuotubulares se emplean en lugares donde se requieren trabajos con presiones altas y con rendimientos altos; las presiones empleadas por este tipo de calderas se encuentran desde los 600 hasta los 2200 psi variando según sea para calderas de medianas o altas presiones.

1.3.1.2. Pirotubulares

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

En cuanto a, Kohan (2000) dice que las calderas más utilizadas son las calderas pirotubulares dentro de la industria y que 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.

1.3.1.3. Vapor

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

1.3.1.3.1. Vapor húmedo

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

1.3.1.3.2. Vapor saturado

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

1.3.1.3.3. 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.

1.3.1.4. Calidad de vapor

En cuanto a, Stultz y Kito (1992) definen que la calidad de vapor es el porcentaje de vapor que se encuentra en la fase y que 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 realiza 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, produciendo excelentes pellets.

1.3.1.5. 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.

1.3.2. 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.

1.3.2.1. Mantenimiento a líneas de vapor

El mantenimiento a las líneas de vapor consiste esencialmente en mantener en óptimas 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 de 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 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, verificar 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:

1.3.2.1.1. 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.

1.3.2.1.2. Termografía en 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 de 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.

1.3.2.1.3. 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 transportador vapor con mucha agua, juntas en 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.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la segunda fase de la investigación corresponde al análisis de las áreas de peletizado, cuarto de caldera y líneas de vapor de la planta para identificar como es el proceso de mantenimiento a las líneas de vapor de la planta.

2.1. Proceso de peletizado

A través de recorridos se pudo observar que el proceso de peletizado del alimento dentro de la planta de Agribrands Purina de Guatemala S.A., se realiza a través de dos líneas de producción independientes que son denominadas sistema 1 y 2, cada una de esta cuenta con dos máquinas de peletizado y la capacidad de producción de cada máquina depende del tipo de alimento que elaboren.

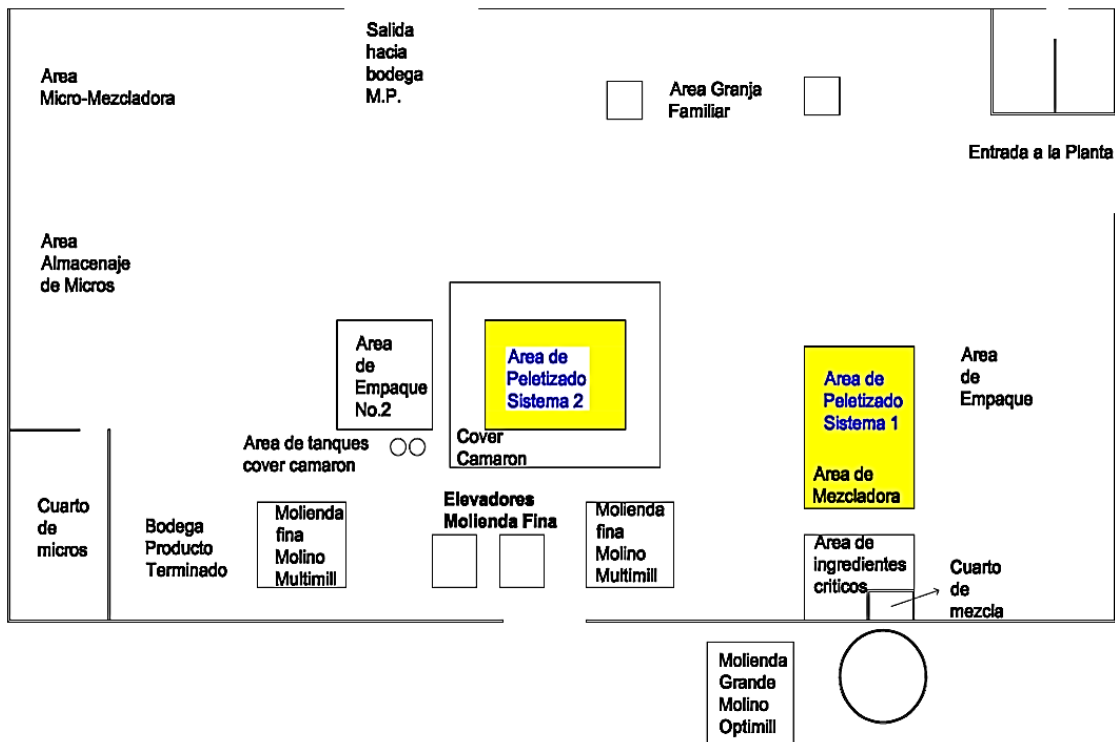
El sistema uno se encarga de peletizar el alimento denominado chows y Bio Nova 4 los cuales tienen 4 milímetros de diámetro y son producidos con las máquinas peletizadoras California Pellet Mill y Paladin 600 B.

En el sistema 2 se peletiza el alimento que cuenta con 2.2 mm de diámetro los cuales son Bionova, camarón y tilapia también se produce el alimento Bionova y Chows de 4 mm de diámetro, todos estos productos son producidos por las máquinas Paladin 1200 D y la Andritz.

2.1.1. Área del proceso de peletizado

En el diagrama se describe de vista superior el área actual de los dos sistemas de peletizado de la planta, el cual sirvió para visualizar la ruta de vapor la cual inicia desde el área de granja familiar atravesando de forma paralela hacia los sistemas 1 y 2 llegando hacia las peletizadoras de forma individual, pero ambas rutas van a dar a un manifold de distribución para tener la versatilidad de alimentar cualquier peletizadora en caso de una emergencia en cualquiera de las dos líneas.

Figura 3. Área de proceso de peletizado

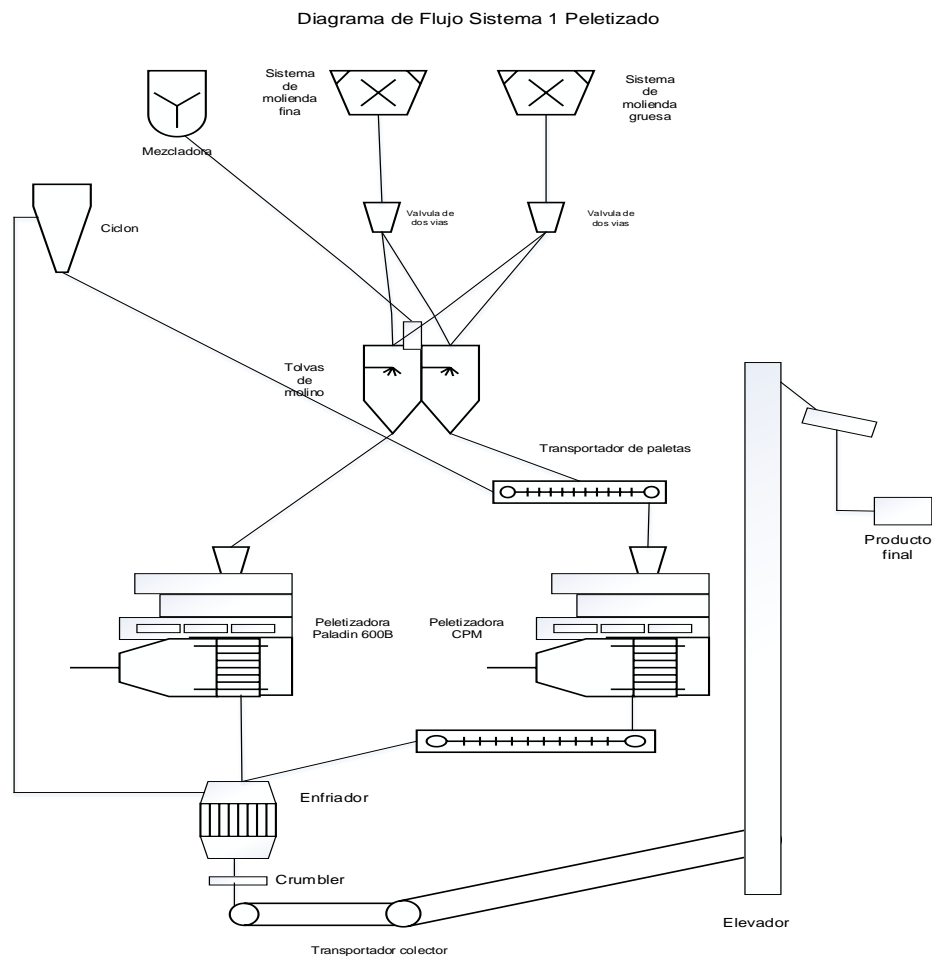


Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

2.1.2. Diagrama de flujo del proceso de peletizado

A continuación, se describe los diagramas de flujo de los dos sistemas de peletizado que operan en la planta. En el diagrama del sistema 1 de peletizado se realizó una inspección visual del funcionamiento del sistema y se detectó que en este sistema solo se puede sacar un tipo de producto con las dos máquinas peletizadoras funcionando debido que ambas descargan a un solo enfriador.

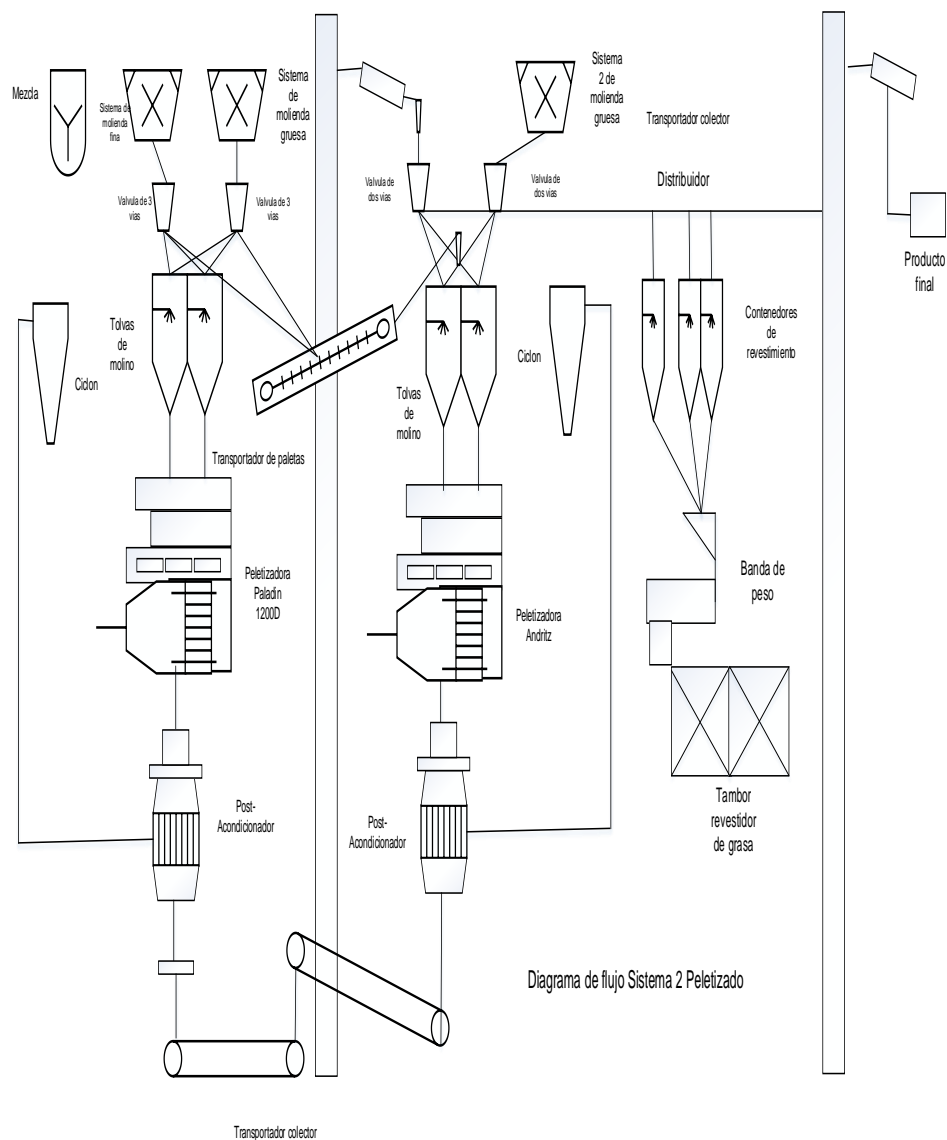
Figura 4. Diagrama de flujo sistema 1 de peletizado



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio.

En el diagrama del sistema 2 cuando se realizó la inspección para conocer el proceso se pudo ver que este sistema es más versátil para producción ya que están independizados cada máquina peletizadora cuenta con su enfriador para extraer el calor al alimento.

Figura 5. Diagrama de flujo sistema 2 de peletizado



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio.

2.2. Proceso de producción de vapor

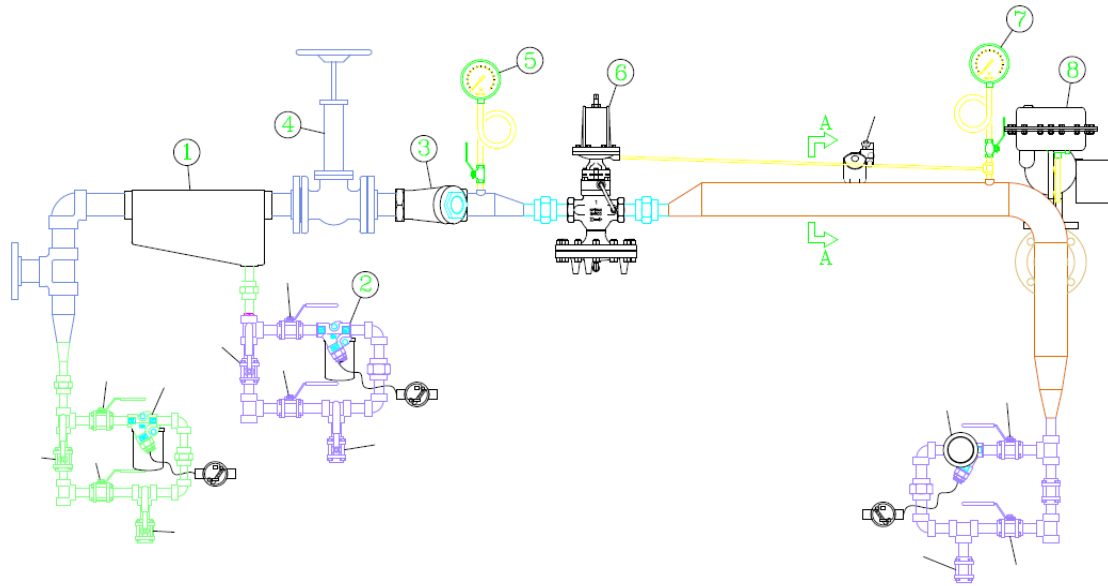
El proceso de producción de vapor en la planta es a través de dos calderas pirotubulares una de 100 HP Cleaver Brooks y otra Fulton de 100HP donde cada una alimenta cada sistema de peletizado, están trabajan un promedio de 15 horas diarias con una presión de 100 Psi.

2.2.1. Sistema de generación de vapor

Se cuentan con cuatro líneas de vapor las cuales alimentan a cada una de las peletizadoras, las cuales en la entrada del acondicionador cuentan con una válvula dosificadora que adiciona el vapor ya regulado a la presión de trabajo que requiera el producto, estas válvulas son operadas de manera automática. En la siguiente figura se puede ver la forma en que se encuentran configurada las líneas de vapor.

- Separador de humedad
- Drenador
- Junta expansora
- Válvula de paso de vapor
- Manómetro de presión
- Válvula reguladora de presión
- Manómetro de temperatura
- Válvula dosificadora
- Válvula Shut off

Figura 6. Diagrama de línea de vapor



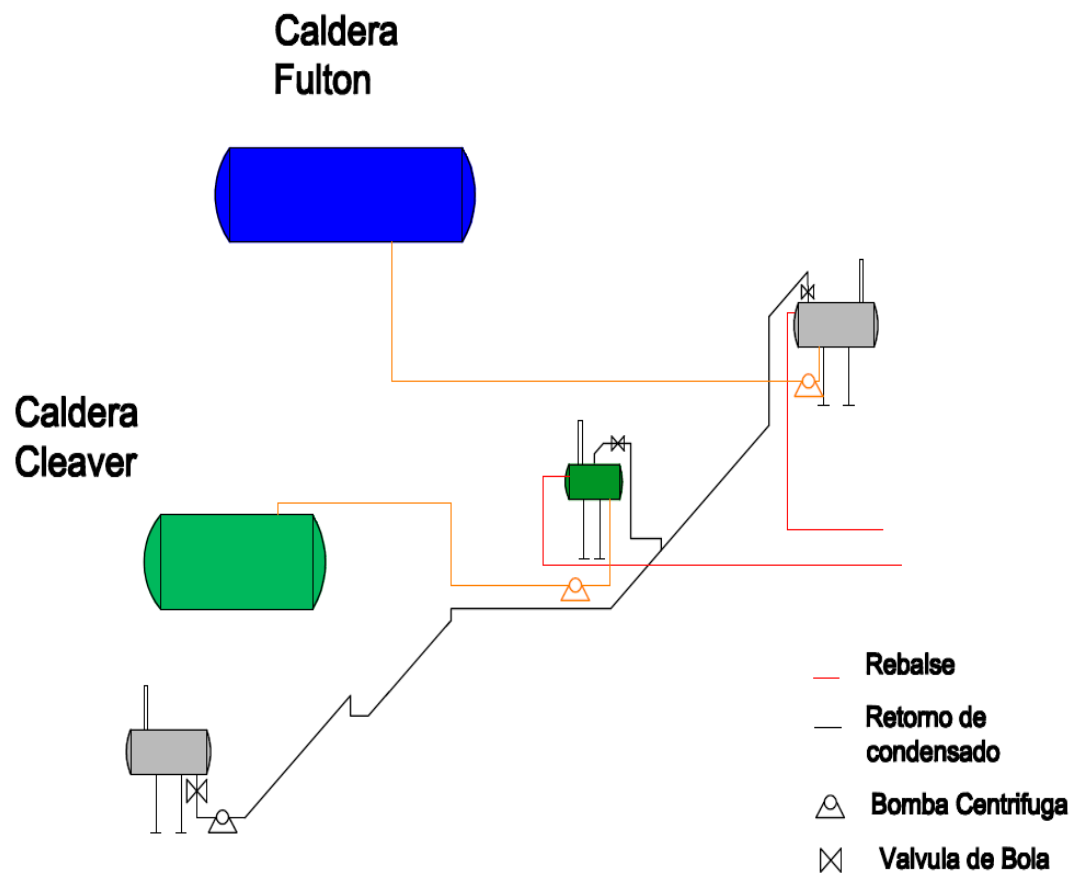
Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Las líneas de vapor cuentan con un sistema de trampas de vapor para atrapar todo el condensado y retornarlo al tanque de alimentación y tener un aprovechamiento de energía y ahorro de agua. Estas líneas como medida de seguridad cuentan con su válvula de alivio para liberar cualquier sobrepresión que pueda sufrir en todo su trayecto.

2.2.2. Línea de retorno de condensado

La línea de retorno de condensado cuenta con un solo tanque receptor que distribuye a los dos tanques de alimentación de calderas, lo que ocasiona una pérdida de condensado por no contar con las líneas independizadas.

Figura 7. **Línea de retorno de condensados sistemas de peletizado**



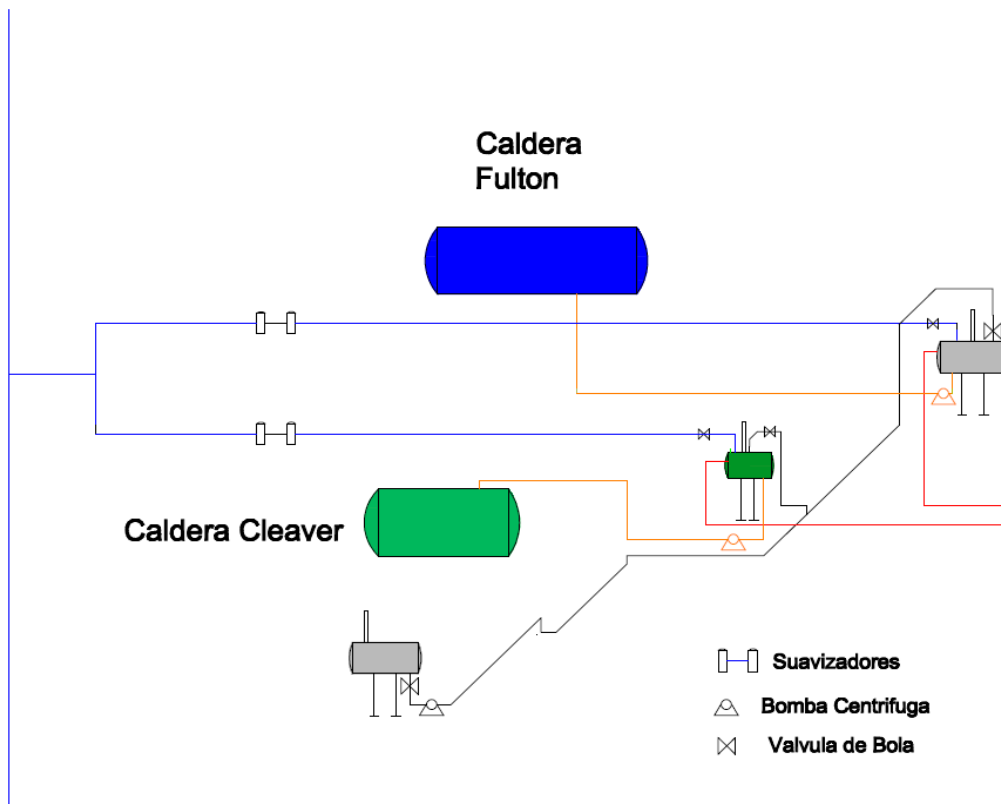
Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

De la figura 5 se puede ver que el retorno de condensado es almacenado en un tanque central el cual distribuye por gravedad a cada uno de los tanques de alimentación de las calderas, acá el retorno de condensado es mezclado con el agua tratada y suavizada para luego ser introducida a la caldera a través de una bomba.

2.2.3. Sistema de alimentación de agua

El sistema de agua de alimentación se encuentra independizada y se mezcla con el retorno de condensado, el tanque de la caldera Cleaver no cuenta con un sistema de precalentamiento lo que provoca suministro de agua fría a la caldera.

Figura 8. Diagrama de sistema de alimentación de agua de calderas



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

De la figura número 6 se puede observar que el agua es tratada a través de suavizadores para evitar introducir dureza a las calderas y ocasionar

obstrucción a los tubos ocasionando así una disminución en la eficiencia de las calderas.

2.3. Diagnóstico Situacional del proceso de mantenimiento

Para describir y analizar el proceso de mantenimiento previo a desarrollar el estudio se realizó una visita de campo con la finalidad de conocer cómo se ejecuta en general el mantenimiento a las instalaciones de la planta, también se realizó un FODA de la situación en que se desarrolla el mantenimiento.

2.3.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo en las instalaciones está programado en un software llamado PM en este se encuentra ingresado el inventario de equipos, historiales de mantenimiento y la secuencia de las inspecciones, lubricaciones y aceitados a los equipos. El mantenimiento preventivo en la compañía se basa en las inspecciones, lubricaciones y aceitados, cada uno de estos en están agrupados en las diferentes áreas de la planta con el fin de poderse asignar de manera proporcional a los mecánicos y con rotación mensual para cada uno de los mecánicos. La frecuencia de los preventivos está seteada según lo recomendado por fabricante algunos casos excepcionales en el caso de equipos de mayores horas de trabajo, la frecuencia de estos aumenta.

2.3.1.1. Mantenimiento preventivo programado

Este mantenimiento se ejecuta con base en horas de uso de equipos, por observaciones y reportes recibidos durante la ejecución de las inspecciones, lubricaciones y aceitados desarrollados por los mecánicos o por órdenes de trabajos solicitadas por parte de producción. Los trabajos realizados en este

mantenimiento son ingresados al PM con toda la información necesaria con el fin de tener un historial de respaldo para un futuro problema y accionar más rápida y eficazmente. Para esta programación no se debe tener menos de un 80 % de ejecución de los trabajos programados, esto con el fin de asegurar la disponibilidad de los equipos y excelencia operacional de mantenimiento.

2.3.1.2. Mantenimiento no programado

Es el mantenimiento que comprende todos los trabajos que no se programaron durante el mes de trabajo, pueden ser por emergencia o por una inspección preventiva por alguna desviación de funcionamiento de la máquina. Si estos trabajos superan el 20 % del tiempo programado para el mes se aduce que el mantenimiento ha tenido deficiencia y esto impacta en los costos del departamento y producción ya que refleja que se tuvieron demasiados paros por averías.

2.3.2. Mantenimiento pre-planeado

Este tipo de mantenimiento es el que consiste en tareas rutinarias de forma mensual y que siempre son las mismas, estas ya se encuentran asignadas al personal de mantenimiento o a empresas contratistas especializadas. Estas tareas son programadas en el pre-planeado con la finalidad que no afecte a la ejecución del mantenimiento y con el fin de mantener la rentabilidad operacional de los equipos.

2.3.3. Mantenimiento de Seguridad

Es el tipo de mantenimiento que involucra el peligro de la seguridad de las instalaciones, del proceso o los operadores, este puede ser realizado de manera urgente si amerita o de forma programada.

2.3.4. Programación de tiempos de trabajos

La programación de tiempo para realizar trabajos preventivos mayores va de la mano con el departamento de planeación y producción esto con el fin de disponer con el tiempo necesario para realizar los trabajos sin afectar al programa de producción. Esta programación se revisa cada semana para ir coordinando los tiempos de paro y ver si hay nuevos trabajos para ir programando la revisión de manera urgente o para el siguiente mes.

2.3.5. Programación de horas disponibles

La programación de horas disponibles para mantenimiento va de la mano del tiempo proyectado por planeación y producción ya que se debe ir pidiendo el tiempo para la realización de los trabajos mayores entre semana y aprovechar los fines de semana para los preventivos rutinarios.

2.3.5.1. Tiempo real

Es el tiempo real de trabajo de las horas programadas, no programadas y el pre-planeado, cabe destacar que este tiempo puede cambiar según lo proyectado si se tuvieron paros inesperados muy prolongados y que afectaron a la producción.

2.3.6. Programación de trabajos

La programación de los trabajos se realiza en base a los reportes que realizan los mecánicos durante los preventivos rutinarios, por tiempo de uso de las máquinas o por reportes de los operadores. Todo esto queda plasmado en una orden trabajo que se ingresa al PM y se coloca el tiempo necesario para la ejecución del trabajo.

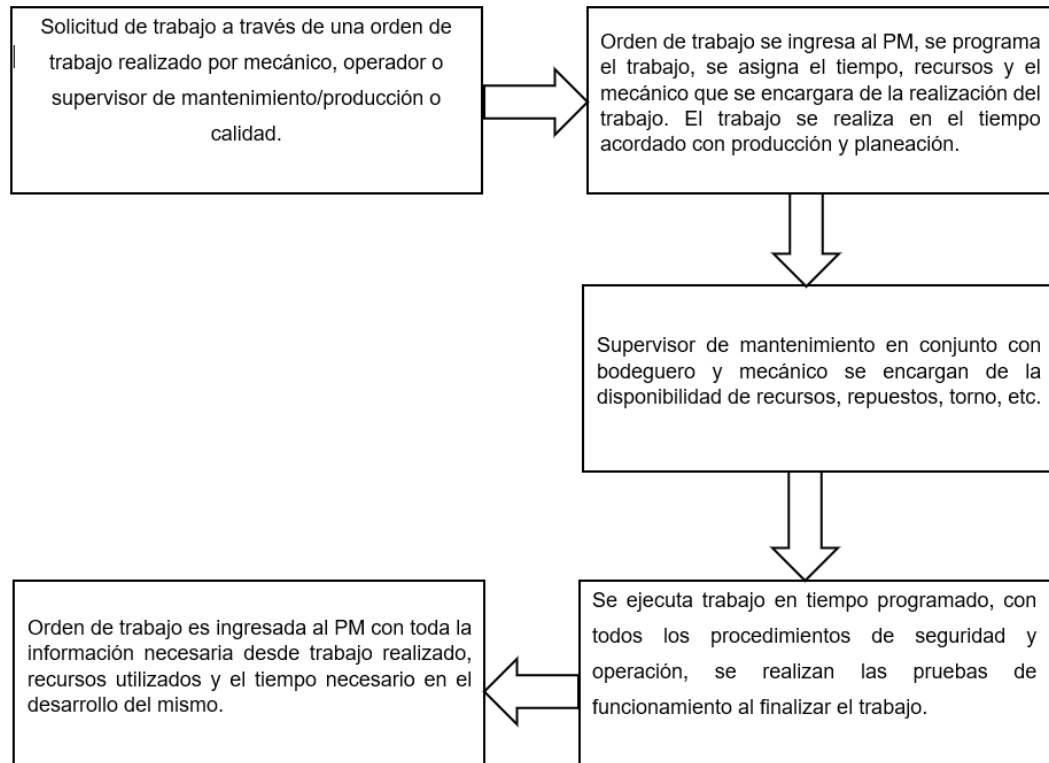
2.3.7. Órdenes de trabajo

Las órdenes de trabajo son obligatorias previo o después de realizar cualquier trabajo de mantenimiento, ya que sirven para el registro interno y para mantener un historial de reparación o revisión de los equipos. En ellas se contiene:

- Correlativo del equipo
- Nombre del equipo
- Trabajo para realizar
- Nombre del solicitante
- Fecha del solicitante
- Descripción del trabajo realizado
- Tiempo empleado ordinario o extraordinario
- Costo de repuestos
- Prioridad del trabajo A, B o C

La prioridad de mayor importancia es la A, esta indica que el trabajo debe hacerse o programarse la realización de este lo más pronto posible.

Figura 9. **Esquema de proceso de desarrollo de trabajos programados**



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio.

En la figura 7. se detalla el proceso de solicitud y programación de un trabajo, su realización e ingreso al programa de mantenimiento, cabe destacar que la persona de verificar y realizar todo el proceso de una orden de trabajo es el supervisor de mantenimiento. La importancia de la realización de trabajo se clasifica en prioridades de A hasta C, donde la A es la de mayor prioridad de realización ya que puede ser por temas de seguridad, proceso o maquinaria.

2.4. Historial de mantenimiento a líneas de vapor

El historial de mantenimiento de las líneas de vapor está comprendido dentro de un plan de mantenimiento preventivo específicamente de inspecciones visuales, las cuales se encuentran programadas desde secuencias mensuales, trimestrales hasta anuales. Dentro de las inspecciones trimestrales hay una rutina de prueba de trampas de vapor la cual es realizada por los mecánicos.

En general las líneas de vapor son trabajadas de manera preventiva y correctiva en su defecto, mantenimientos predictivos se realizan muy pocas veces y esto es lo que afecta a mantener el suministro de un vapor de buena calidad, también afectando a los parámetros de operación en calderas y rendimiento de peletizadoras.

Figura 10. **Mantenimiento preventivo a las líneas de vapor**

| Equipment | Components | Maintenance | Repair Logs | Critical Parts | Attachments | | | |
|----------------------|------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|--------------|----------------------|
| New Maintenance Item | | | | | | | | |
| Work Type | Maintenance Type | CheckPoint | Zone | Description | Freq. | Start Month | JobPlan Link | |
| PM/PdM | Inspeccion | Insulation In Tact | Peletizado No.1 | | Trimestral | jan | | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Gauges | Peletizado No.1 | | Mensual | jan | | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Manifold de Vapor | Peletizado No.1 | | Semi Anual | may | | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Trampas de Vapor | Peletizado No.1 | | Mensual | jan | | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Presion de Vapor | Peletizado No.1 | | Mensual | jan | | Edit |

Fuente: Program Maintenance (2016). *Inspecciones*. Consultado el 15 de enero de 2019.
Recuperado de <http://www.pmm.na.can.cargill.com/SystemManagementMaster.aspx>.

De la figura número 10 se puede observar que el mantenimiento a las líneas de vapor que se tiene programado es de muy poco alcance esto se debe al poco tiempo que producción brinda a mantenimiento para que sean revisadas, tomando como prioridad la ejecución del programa de producción siendo afectada la planta a mediano por paros de mantenimientos correctivos.

2.4.1. Mantenimiento e inspección a calderas

El mantenimiento por parte de personal de planta tiene el alcance de inspección de funcionamiento de la caldera, control de parámetros de presión y verificación de trabajo de los sensores de seguridad, revisar que no existan fugas de vapor a la salida de la caldera, fugas de diésel, estado de tuberías de purgas y funcionamiento de las purgas automáticas todo esto es de manera diaria.

Dentro del mantenimiento interno se cuenta con inspecciones a los componentes de las calderas seteadas en base al manual, cabe destacar que esta se realiza solo de manera visual, si es algo que el mecánico puede cambiar al presentarse una falla lo realiza en caso contrario se solicita el servicio por parte de la empresa contratista.

El mantenimiento por parte de contratistas a las calderas se realiza de forma semestral, un servicio completo donde hay limpieza y revisión de pasos, quemador y paredes del hogar, cabe destacar que en este mantenimiento se le realiza el cambio de la válvula de seguridad de forma anual a ambas calderas.

La calidad de agua que se alimenta la caldera es medida por una empresa contratista la cual es la encargada de realizar los reportes respectivos semanalmente e indicar al supervisor de mantenimiento las dosis adecuadas de los químicos para mantener una buena calidad de agua.

Figura 11. Mantenimiento a las calderas

| Equipment Components Maintenance Repair Logs Critical Parts Attachments | | | | | | | |
|---|------------------|-------------------------------|--------------------|--|------------|-------------|----------------------|
| New Maintenance Item | | | | | | | |
| Work Type | Maintenance Type | CheckPoint | Zone | Description | Freq. | Start Month | JobPlan Link |
| PM/PdM | CSD Inspection | Low/High Gas Fuel Pressure | Cuarto de Calderas | Estado y funcionamiento | Mensual | jan | Edit |
| PM/PdM | CSD Inspection | Flame Detector | Cuarto de Calderas | Estado y funcionamiento. | Mensual | jan | Edit |
| PM/PdM | CSD Inspection | Secondary Low Water Cut-Off | Cuarto de Calderas | Estado y revision de funcionamiento. | Mensual | jan | Edit |
| PM/PdM | CSD Inspection | Pressure Relief Valve | Cuarto de Calderas | Verificar estado y cambiar cada año. | Anual | nov | Edit |
| PM/PdM | CSD Inspection | Low Pressure Atomizing Medium | Cuarto de Calderas | Estado y funcionamiento. | Mensual | jan | Edit |
| PM/PdM | CSD Inspection | Primary Low Water Cut-Off | Cuarto de Calderas | Estado y funcionamiento. | Semanal | jan | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Burner(s) | Cuarto de Calderas | Ver funcionamiento, llama adecuada, presión de combu | Mensual | jan | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Equipment | Cuarto de Calderas | Realizar Limpieza Externa a Caldera | Mensual | jan | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Refractory | Cuarto de Calderas | Inspeccionar Refractario y reparar si es necesario | Semi Anual | feb | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Switches | Cuarto de Calderas | Chequear Switch de presión de limite alto, funciona | Semi Anual | jan | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Pressure Switch | Cuarto de Calderas | Chequear corrosión o cables dañados, reparar si es | Semi Anual | feb | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Modulador | Cuarto de Calderas | Chequear desgaste leva moduladora y funcionamiento | Mensual | jan | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Tuberia | Cuarto de Calderas | Chequear condición líneas combustible, manómetros | Mensual | jan | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Gauges | Cuarto de Calderas | Ver condición de todos los manómetros, reemplazar s | Anual | may | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Caldera - Inspeccion Anual | Cuarto de Calderas | Mantenimiento general Externo. | Semi Anual | may | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Temperature | Cuarto de Calderas | Temp.superficie de caldera puntos calientes, color | Mensual | jan | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Limpieza Filtros | Cuarto de Calderas | Limpiar o reemplazar filtro combustible s/estado | Mensual | jan | Edit |
| PM/PdM | Inspeccion | Prueba de Drenaje Lento | Cuarto de Calderas | | Mensual | jan | Edit |

Fuente: Program Maintenance (2016). *Inspecciones*. Consultado el 15 de enero de 2019.
 Recuperado de <http://www.pmm.na.can.cargill.com/SystemManagementMaster.aspx>.

2.4.1.1. Inspección a dispositivos críticos de seguridad

Otro alcance del personal de mantenimiento de forma mensual es la inspección y funcionamiento de dispositivos críticos de seguridad en las calderas son:

- Presión de combustible gas/diésel
- Funcionamiento de detector de llama
- Corte secundario de bajo nivel de agua
- Presión de válvula de seguridad
- Nivel de presión de atomización de combustible
- Corte primario de bajo nivel de agua

Figura 12. Inspección a dispositivos críticos

| | | | | | |
|-----------------------|-----|----------------------|----------------------------------|-------|-------|
| Cuarto de Calderas | 665 | Caldera de 100 HP | Low/High Gas Fuel Pressure | 10.00 | _____ |
| | | | Flame Detector | 10.00 | _____ |
| | | | Secondary Low Water Cut-Off | 10.00 | _____ |
| | | | Pressure Relief Valve | 10.00 | _____ |
| | | | Low Pressure Atomizing Medium | 10.00 | _____ |
| | | | Primary Low Water Cut-Off | 10.00 | _____ |
| | 701 | Caldera 100 HP | Low/High Gas Fuel Pressure | 10.00 | _____ |
| | | | Flame Detector | 10.00 | _____ |
| | | | Secondary Low Water Cut-Off | 10.00 | _____ |
| | | | Pressure Relief Valve | 10.00 | _____ |
| | | | Low Pressure Atomizing Medium | 10.00 | _____ |
| | | | | | _____ |

Fuente: Program Maintenance (2016). *Inspecciones*. Consultado el 15 de enero de 2019.
Recuperado de: <http://www.pmm.na.can.cargill.com/SystemManagementMaster.aspx>.

El mantenimiento a los dispositivos críticos descritos en la figura 10 se realizan de forma mensual debido a la importancia que representan en cuestiones de operaciones y seguridad para el personal e instalaciones.

2.5. Ejecución de mantenimiento en las líneas de vapor

La ejecución de mantenimiento en las líneas de vapor se ha realizado y categorizado en tres formas, preventivo, correctivo, de emergencia o por seguridad. Tomando en cuenta el historial se puede ver que si hay un reflejo de paros a maquinas por el poco alcance que se tiene en el mantenimiento preventivo.

Tabla I. **Tiempos de mantenimiento a líneas de vapor enero-mayo 2019**

| Mes | Mantenimiento de Emergencia | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Preventivo | Total Horas |
|---------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|
| Enero | 0 | 7.75 | 35 | 42.75 |
| Febrero | 2 | 1 | 47 | 50 |
| Marzo | 1 | 8.5 | 28 | 37.5 |
| Abril | 5 | 50 | 33 | 88 |
| Mayo | 0 | 37 | 30 | 67 |
| Totales | 8 | 104.25 | 173 | 285.25 |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla se describe el historial de mantenimiento de los últimos 5 meses, se puede ver si han impactado paradas por reparaciones correctivas afectando a la producción y ocasionando un aumento de costos en mantenimiento por reparaciones no programadas.

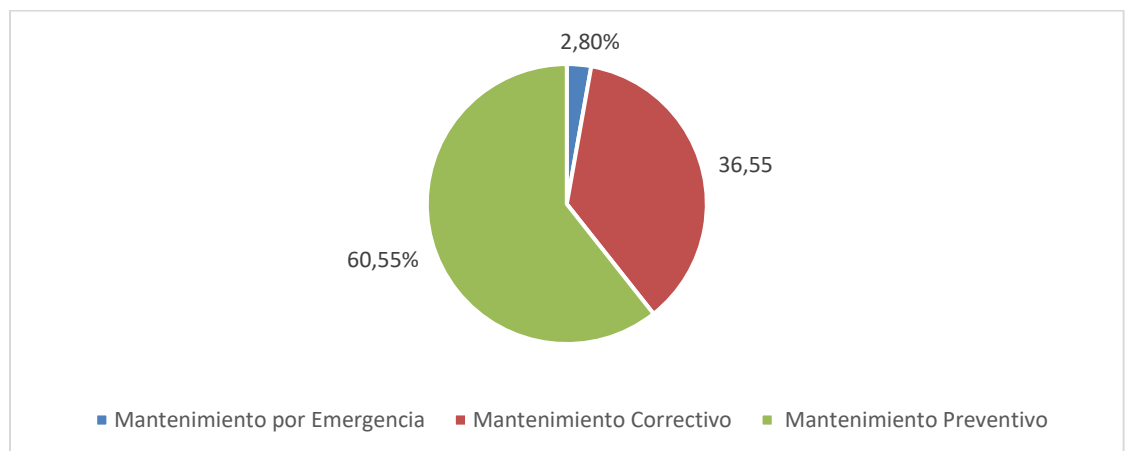
Tabla II. **Desempeño de mantenimiento enero-mayo 2019**

| Ejecución | Horas | Porcentaje desempeño |
|------------------------------|---------------|----------------------|
| Mantenimiento por Emergencia | 8 | 2,80 % |
| Mantenimiento Correctivo | 104.25 | 36,55 % |
| Mantenimiento Preventivo | 173 | 60,55 % |
| Horas Empleadas | 285.25 | 100 % |

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

De la tabla número II del desempeño del mantenimiento se logra observar que el mantenimiento correctivo ha perjudicado en la ejecución de los trabajos programados, provocando paros de 104.25 horas en los últimos 5 meses esto se traduce en aumentos de costos de operación.

Figura 13. **Desempeño de mantenimiento enero-mayo 2019**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De la gráfica número 11 del desempeño de ejecución de mantenimiento se puede observar que del 100 % de ejecución en los últimos 5 meses el 36 % han sido mantenimientos correctivos, esto representa un alto porcentaje de paradas por averías, de tal manera que atraso la producción con un considerable aumento de horas extras y costos de operación.

2.6. Análisis FODA de mantenimiento

Se realizó un análisis FODA para identificar mejoras que se pueden realizar para mejorar el desempeño de este y mantener una confiabilidad las líneas de vapor.

Tabla III. FODA de mantenimiento preventivo a las líneas de vapor

| FORTALEZAS | DEBILIDADES |
|--|--|
| Trabajo coordinado en equipo | No hay un área específica que se enfoque en otros mantenimientos |
| Personal de experiencia | Personal sin capacitación de nuevas tecnologías |
| Inspecciones programadas según fabricante | Mantenimiento solo basados en inspecciones |
| Trabajos realizados con procedimientos de seguridad | Los mantenimientos en las líneas son en su mayoría correctivas |
| Disponibilidad operativa | No hay un mantenimiento predictivo para las líneas |
| OPORTUNIDADES | AMENAZAS |
| Aprovechamiento de la experiencia del personal | Proveedores sin stock de repuestos |
| Mejorar la confiabilidad de las líneas de vapor | Perdida de ejecución del plan de mantenimiento por averías |
| Aumento de ejecución del departamento de mantenimiento | No seguir las consideraciones del fabricante |
| Evitar paros de las líneas | Aumento de costo por paros |
| Mejor aprovechamiento de la energía | Trabajar con solo proveedor de refacciones |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Del análisis FODA es fácil deducir que el personal tiene una amplia experiencia y conocimiento de la planta pero que hay que mejorar en cuestiones técnicas de las nuevas tecnologías, todo esto para poder tener un buen inicio de desarrollo del plan de mantenimiento predictivo.

Las principales amenazas que afectan al departamento en el mantenimiento a las líneas de vapor es trabajar con un solo proveedor para las refacciones, esto se debe a que la empresa tiene un tratado global con Spirax Sarco y la política de la compañía no permite agregar refacciones de otros fabricantes a las líneas de vapor, ocasionando así paros prolongados si el proveedor local no cuenta con los repuestos en stock.

De las fortalezas el departamento de mantenimiento cuenta con la ventaja de realizar trabajos bajo procedimientos de seguridad con personal de alta experiencia y que todo lo hacen en base a las recomendaciones del fabricante con el fin de alargar la vida útil de las líneas.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En la tercera fase de la investigación se realizó un muestreo de los parámetros que impactan en el correcto funcionamiento de las líneas de vapor y que son un indicativo de que hay alguna desviación en el funcionamiento el cual amerita una revisión o mantenimiento mayor.

3.1. Variables de operación de las calderas

Las variables de operación de muestreo son presión de trabajo, temperatura de agua de alimentación y temperatura de gases de chimenea de ambas calderas con el fin de ver el comportamiento de las maquinas con la calidad de vapor que se está trabajando.

3.1.1. Muestreo

Para el muestreo se tomaron los primeros 15 días del mes de mayo del 2019 ya que durante estos días si se efectuaron en los 3 turnos las rutinas de mantenimiento de las calderas, en el resto de los días solo se hizo la rutina en el primer turno y tercer turno.

Las muestras tomadas fueron de tamaño 3 para cada caldera, debido a los tres turnos que se manejan en el departamento de mantenimiento y es en los cuales se le realiza el mantenimiento preventivo a cada caldera. Se utilizó el gráfico de control de medias con la finalidad de ver si las variables tomadas estaban dentro del promedio o límite máximo especificado para mantener las calderas a un funcionamiento aceptable.

Para calcular los valores del gráfico de control se utilizó las siguientes formulas:

$$LCI_x = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

$$LC = \bar{X} = \sum \frac{x_i}{k}$$

$$LCS_x = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

Donde:

LCI_x = Límite de control inferior de medias

LC = Límite central de medias, o medias de medias

LCS_x = Límite de control superior de medias

R = Rangos de rangos

Tabla IV. Factores para el cálculo de límites de control de gráficas para variables

Factores para calcular líneas centrales y límites de control 3σ para gráficas de \bar{X} , s y R

APÉNDICE

| OBSERVACIONES EN LA MUESTRA, n | TABLA DE PROMEDIOS | | | TABLA DE DESVIACIONES ESTÁNDAR | | | | | | TABLA DE RANGOS | | | | | |
|--|-----------------------|-------|-------|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|--|
| | FACTORES PARA | | | FACTOR PARA LÍNEA CENTRAL | FACTORES PARA | | | | FACTOR PARA LÍNEA CENTRAL | FACTORES PARA | | | | | |
| | LÍMITES DE CONTROL | | | | LÍMITES DE CONTROL | | | | | LÍMITES DE CONTROL | | | | | |
| | A | A_2 | A_3 | C_4 | B_3 | B_4 | B_5 | B_6 | d_2 | d_3 | D_1 | D_2 | D_3 | D_4 | |
| 2 | 2.121 | 1.880 | 2.659 | 0.7979 | 0 | 3.267 | 0 | 2.606 | 1.128 | 0.853 | 0 | 3.686 | 0 | 3.267 | |
| 3 | 1.732 | 1.023 | 1.954 | 0.8862 | 0 | 2.568 | 0 | 2.276 | 1.693 | 0.888 | 0 | 4.358 | 0 | 2.574 | |
| 4 | 1.500 | 0.729 | 1.628 | 0.9213 | 0 | 2.266 | 0 | 2.088 | 2.059 | 0.880 | 0 | 4.698 | 0 | 2.282 | |
| 5 | 1.342 | 0.577 | 1.427 | 0.9400 | 0 | 2.089 | 0 | 1.964 | 2.326 | 0.864 | 0 | 4.918 | 0 | 2.114 | |
| 6 | 1.225 | 0.483 | 1.287 | 0.9515 | 0.030 | 1.970 | 0.029 | 1.874 | 2.534 | 0.848 | 0 | 5.078 | 0 | 2.004 | |
| 7 | 1.134 | 0.419 | 1.182 | 0.9594 | 0.118 | 1.882 | 0.113 | 1.806 | 2.704 | 0.833 | 0.204 | 5.204 | 0.076 | 1.924 | |
| 8 | 1.061 | 0.373 | 1.099 | 0.9650 | 0.185 | 1.815 | 0.179 | 1.751 | 2.847 | 0.820 | 0.388 | 5.306 | 0.136 | 1.864 | |
| 9 | 1.000 | 0.337 | 1.032 | 0.9693 | 0.239 | 1.761 | 0.232 | 1.707 | 2.970 | 0.808 | 0.547 | 5.393 | 0.184 | 1.816 | |
| 10 | 0.949 | 0.308 | 0.975 | 0.9727 | 0.284 | 1.716 | 0.276 | 1.669 | 3.078 | 0.797 | 0.687 | 5.469 | 0.223 | 1.777 | |
| 11 | 0.905 | 0.285 | 0.927 | 0.9754 | 0.321 | 1.679 | 0.313 | 1.637 | 3.173 | 0.787 | 0.811 | 5.535 | 0.256 | 1.744 | |
| 12 | 0.866 | 0.266 | 0.886 | 0.9776 | 0.354 | 1.646 | 0.346 | 1.610 | 3.258 | 0.778 | 0.922 | 5.594 | 0.283 | 1.717 | |
| 13 | 0.832 | 0.249 | 0.850 | 0.9794 | 0.382 | 1.618 | 0.374 | 1.585 | 3.336 | 0.770 | 1.025 | 5.647 | 0.307 | 1.693 | |
| 14 | 0.802 | 0.235 | 0.817 | 0.9810 | 0.406 | 1.594 | 0.399 | 1.563 | 3.407 | 0.763 | 1.118 | 5.696 | 0.328 | 1.672 | |
| 15 | 0.775 | 0.223 | 0.789 | 0.9823 | 0.428 | 1.572 | 0.421 | 1.544 | 3.472 | 0.756 | 1.203 | 5.741 | 0.347 | 1.653 | |
| 16 | 0.750 | 0.212 | 0.763 | 0.9835 | 0.448 | 1.552 | 0.440 | 1.526 | 3.532 | 0.750 | 1.282 | 5.782 | 0.363 | 1.637 | |
| 17 | 0.728 | 0.203 | 0.739 | 0.9845 | 0.466 | 1.534 | 0.458 | 1.511 | 3.588 | 0.744 | 1.356 | 5.820 | 0.378 | 1.622 | |
| 18 | 0.707 | 0.194 | 0.718 | 0.9854 | 0.482 | 1.518 | 0.475 | 1.496 | 3.640 | 0.739 | 1.424 | 5.856 | 0.391 | 1.608 | |
| 19 | 0.688 | 0.187 | 0.698 | 0.9862 | 0.497 | 1.503 | 0.490 | 1.483 | 3.689 | 0.734 | 1.487 | 5.891 | 0.403 | 1.597 | |
| 20 | 0.671 | 0.180 | 0.680 | 0.9869 | 0.510 | 1.490 | 0.504 | 1.470 | 3.735 | 0.729 | 1.549 | 5.921 | 0.415 | 1.585 | |

Copyright ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA, 19428.

Fuente: Besterfield, Dale H. (2009). *Control de Calidad*. México. Prentice Hall.

En la tabla número IV, de factores para calcular los límites de control de los parámetros de operación de las calderas se obtuvo el valor de $A_2=1.023$ con 15 muestras de tamaño 3.

3.1.1.1. Temperatura de los gases de la chimenea

Las temperaturas son tomadas de los primeros 15 días del mes de mayo de 2019.

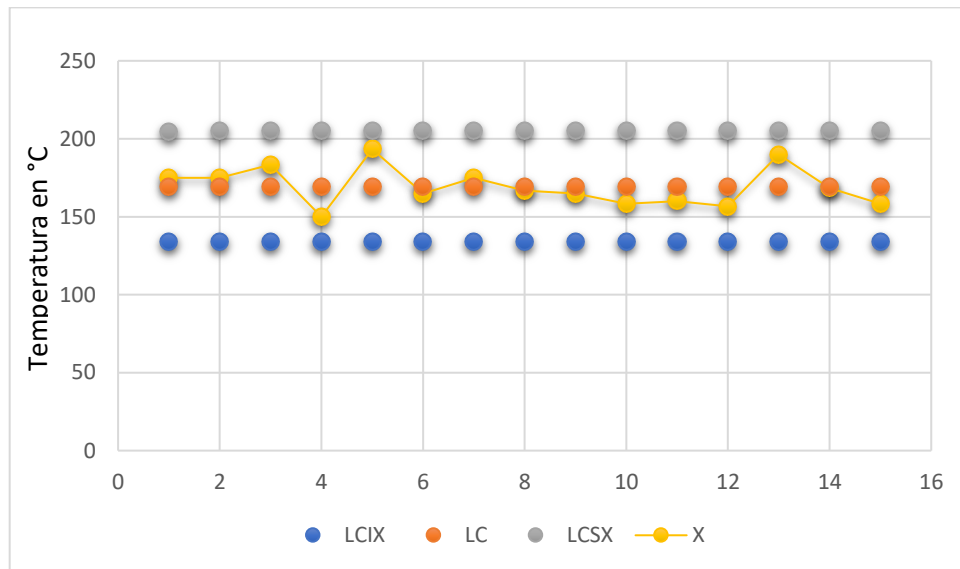
Tabla V. Temperatura de los gases de la chimenea °C

| Caldera Cleaver Brooks | | | | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|------------|-----------|------|-----|------|
| Mes de Mayo | | | | | | | | |
| Fecha | Turno 1 | Turno 2 | Turno 3 | X | R | LCIX | LC | LCSX |
| 1 | 150 | 175 | 200 | 175,00 | 50,00 | 134 | 169 | 205 |
| 2 | 150 | 175 | 200 | 175,00 | 50,00 | 134 | 169 | 205 |
| 3 | 200 | 200 | 150 | 183,33 | 50,00 | 134 | 169 | 205 |
| 4 | 150 | 150 | 150 | 150,00 | 0,00 | 134 | 169 | 205 |
| 5 | 200 | 200 | 180 | 193,33 | 20,00 | 134 | 169 | 205 |
| 6 | 125 | 200 | 170 | 165,00 | 75,00 | 134 | 169 | 205 |
| 7 | 200 | 175 | 150 | 175,00 | 50,00 | 134 | 169 | 205 |
| 8 | 200 | 150 | 150 | 166,67 | 50,00 | 134 | 169 | 205 |
| 9 | 175 | 150 | 170 | 165,00 | 25,00 | 134 | 169 | 205 |
| 10 | 150 | 175 | 150 | 158,33 | 25,00 | 134 | 169 | 205 |
| 11 | 180 | 150 | 150 | 160,00 | 30,00 | 134 | 169 | 205 |
| 12 | 150 | 150 | 170 | 156,67 | 20,00 | 134 | 169 | 205 |
| 13 | 180 | 200 | 190 | 190,00 | 20,00 | 134 | 169 | 205 |
| 14 | 180 | 150 | 175 | 168,33 | 30,00 | 134 | 169 | 205 |
| 15 | 175 | 150 | 150 | 158,33 | 25,00 | 134 | 169 | 205 |
| PROMEDIOS | | | | 169 | 35 | | | |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De los promedios del muestreo se puede ver que la temperatura se encuentra dentro de los rangos permisibles de operación en relación con la combustión de la caldera. Hay que estar monitoreando ya que en esta caldera los gases de chimenea no deben ser menor a 163°C ni mayor a 232°C.

Figura 14. **Control de temperatura gases de chimenea caldera Cleaver
Brooks**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

El gráfico de control de la figura número 14 se observa que el promedio de la temperatura de los gases de chimenea para la caldera Cleaver Brooks se encuentra dentro de una emisión de gases estable, pero las fechas de los días 4, 10, 12 y 15 de mayo no entran dentro del rango permisible, en términos generales se puede decir que la operación de la caldera se mantiene en funcionamiento estable.

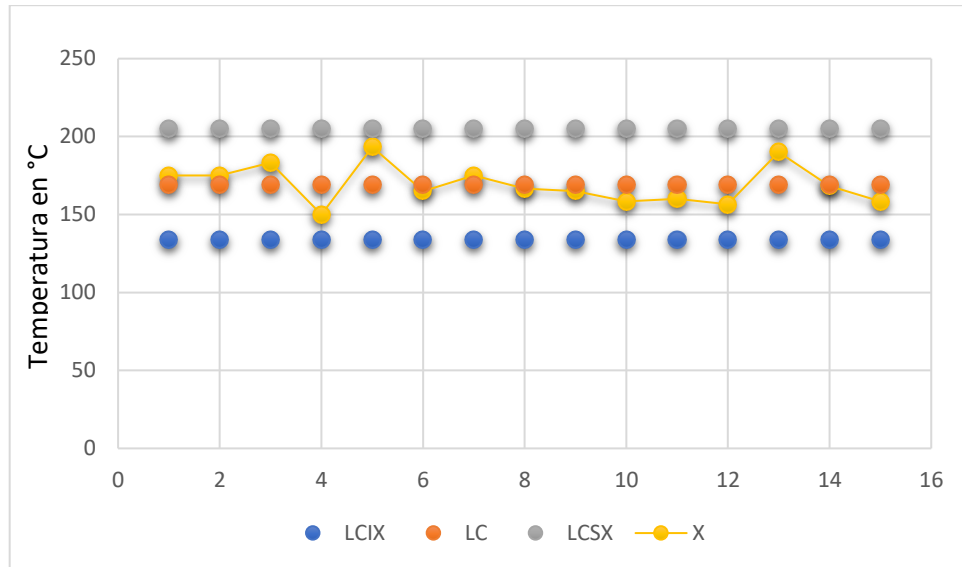
Tabla VI. **Temperatura de gases de chimenea °C**

| Caldera Fulton | | | | | | | | |
|-----------------------|---------|---------|---------|------------|--------------|------|-----|------|
| Mes de Mayo | | | | | | | | |
| Fecha | Turno 1 | Turno 2 | Turno 3 | X | R | LCIX | LC | LCSX |
| 1 | 190 | 195 | 192 | 192,33 | 5,00 | 161 | 182 | 202 |
| 2 | 180 | 180 | 179 | 179,67 | 1,00 | 161 | 182 | 202 |
| 3 | 144 | 190 | 192 | 175,33 | 48,00 | 161 | 182 | 202 |
| 4 | 178 | 179 | 160 | 172,33 | 19,00 | 161 | 182 | 202 |
| 5 | 167 | 173 | 185 | 175,00 | 18,00 | 161 | 182 | 202 |
| 6 | 179 | 185 | 185 | 183,00 | 6,00 | 161 | 182 | 202 |
| 7 | 179 | 190 | 180 | 183,00 | 11,00 | 161 | 182 | 202 |
| 8 | 173 | 195 | 190 | 186,00 | 22,00 | 161 | 182 | 202 |
| 9 | 199 | 169 | 192 | 186,67 | 30,00 | 161 | 182 | 202 |
| 10 | 140 | 169 | 198 | 169,00 | 58,00 | 161 | 182 | 202 |
| 11 | 180 | 201 | 170 | 183,67 | 31,00 | 161 | 182 | 202 |
| 12 | 200 | 197 | 195 | 197,33 | 5,00 | 161 | 182 | 202 |
| 13 | 180 | 161 | 170 | 170,33 | 19,00 | 161 | 182 | 202 |
| 14 | 180 | 178 | 195 | 184,33 | 17,00 | 161 | 182 | 202 |
| 15 | 180 | 190 | 187 | 185,67 | 10,00 | 161 | 182 | 202 |
| PROMEDIOS | | | | 182 | 20,00 | | | |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De los promedios del muestreo se puede ver que la temperatura se encuentra dentro de los rangos permisibles de operación en relación con la combustión de la caldera los cuales son 163°C a 232°C. En términos generales la caldera Fulton mantiene una combustión estable ya que ningún valor está por debajo del límite inferior ni superior.

Figura 15. **Control de temperatura gases de chimenea caldera Fulton**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

El gráfico de control de la figura número 15 muestra el promedio de la temperatura de los gases de chimenea para la caldera Fulton los cuales se encuentran dentro de los rangos permisibles de trabajo y con una combustión ligeramente estable.

3.1.1.2. Presión de trabajo

Las temperaturas son tomadas de los primeros 15 días del mes de mayo de 2019.

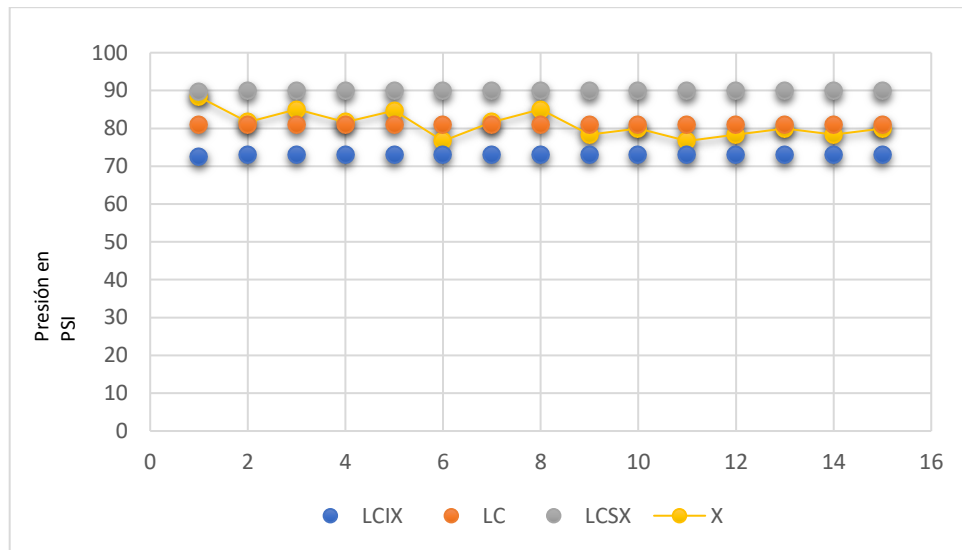
Tabla VII. **Presión de trabajo en PSI**

| Caldera Cleaver Brooks | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|-----------|----------|------|----|------|
| Mes de Mayo | | | | | | | | |
| Muestra | Turno 1 | Turno 2 | Turno 3 | X | R | LCIX | LC | LCSX |
| 1 | 90 | 90 | 85 | 88,33 | 5,00 | 73 | 81 | 90 |
| 2 | 80 | 75 | 90 | 81,67 | 15,00 | 73 | 81 | 90 |
| 3 | 90 | 80 | 85 | 85,00 | 10,00 | 73 | 81 | 90 |
| 4 | 80 | 80 | 85 | 81,67 | 5,00 | 73 | 81 | 90 |
| 5 | 90 | 84 | 80 | 84,67 | 10,00 | 73 | 81 | 90 |
| 6 | 80 | 80 | 70 | 76,67 | 10,00 | 73 | 81 | 90 |
| 7 | 90 | 80 | 75 | 81,67 | 15,00 | 73 | 81 | 90 |
| 8 | 95 | 80 | 80 | 85,00 | 15,00 | 73 | 81 | 90 |
| 9 | 80 | 75 | 80 | 78,33 | 5,00 | 73 | 81 | 90 |
| 10 | 80 | 80 | 80 | 80,00 | 0,00 | 73 | 81 | 90 |
| 11 | 75 | 75 | 80 | 76,67 | 5,00 | 73 | 81 | 90 |
| 12 | 85 | 70 | 80 | 78,33 | 15,00 | 73 | 81 | 90 |
| 13 | 75 | 85 | 80 | 80,00 | 10,00 | 73 | 81 | 90 |
| 14 | 80 | 75 | 80 | 78,33 | 5,00 | 73 | 81 | 90 |
| 15 | 80 | 80 | 80 | 80,00 | 0,00 | 73 | 81 | 90 |
| PROMEDIOS | | | | 81 | 8 | | | |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De los promedios del muestreo se puede que la presión de trabajo de caldera está por debajo de los requerimientos (100 psi) lo que hace que la caldera gaste más combustible para producir vapor y en su mayoría no es saturado, el cual es el que se necesita para el proceso de peletizado.

Figura 16. **Control de la presión de trabajo caldera Cleaver Brooks**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

La figura número 16 de control muestra que el promedio diario de las presiones de trabajo de las calderas se encuentra en un funcionamiento estable, pero por debajo del valor que se requiere para la producción de vapor seco.

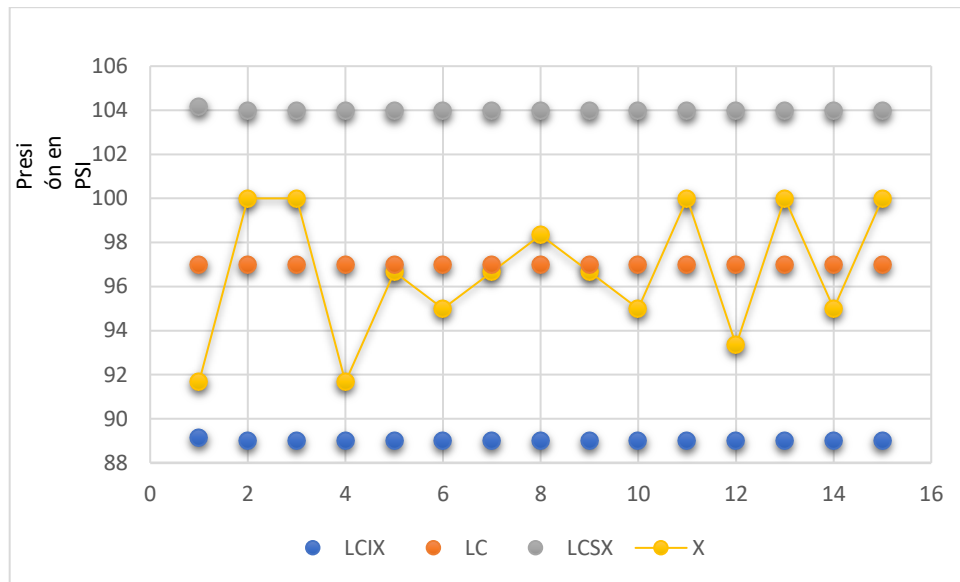
Tabla VIII. **Presión de trabajo en PSI**

| Caldera Fulton | | | | | | | | |
|------------------|---------|---------|---------|-----------|----------|------|----|------|
| Mes de Mayo | | | | | | | | |
| Fecha | Turno 1 | Turno 2 | Turno 3 | X | R | LCIX | LC | LCSX |
| 1 | 90 | 90 | 95 | 91,67 | 5,00 | 89 | 97 | 104 |
| 2 | 100 | 100 | 100 | 100,00 | 0,00 | 89 | 97 | 104 |
| 3 | 100 | 100 | 100 | 100,00 | 0,00 | 89 | 97 | 104 |
| 4 | 95 | 90 | 90 | 91,67 | 5,00 | 89 | 97 | 104 |
| 5 | 100 | 100 | 90 | 96,67 | 10,00 | 89 | 97 | 104 |
| 6 | 100 | 100 | 85 | 95,00 | 15,00 | 89 | 97 | 104 |
| 7 | 90 | 100 | 100 | 96,67 | 10,00 | 89 | 97 | 104 |
| 8 | 95 | 100 | 100 | 98,33 | 5,00 | 89 | 97 | 104 |
| 9 | 100 | 90 | 100 | 96,67 | 10,00 | 89 | 97 | 104 |
| 10 | 100 | 85 | 100 | 95,00 | 15,00 | 89 | 97 | 104 |
| 11 | 100 | 100 | 100 | 100,00 | 0,00 | 89 | 97 | 104 |
| 12 | 80 | 100 | 100 | 93,33 | 20,00 | 89 | 97 | 104 |
| 13 | 100 | 100 | 100 | 100,00 | 0,00 | 89 | 97 | 104 |
| 14 | 100 | 85 | 100 | 95,00 | 15,00 | 89 | 97 | 104 |
| 15 | 100 | 100 | 100 | 100,00 | 0,00 | 89 | 97 | 104 |
| PROMEDIOS | | | | 97 | 7 | | | |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De los promedios del muestreo se puede que la presión de trabajo de caldera está levemente por debajo de los requerimientos (100 psi) lo que nos indica que la esta caldera trabaja más eficientemente que la Cleaver Brooks.

Figura 17. **Control de la presión de trabajo caldera Fulton**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

El gráfico de control de la figura número 17 de presiones promedio para la caldera Fulton marca un funcionamiento levemente variable con relación a los 100 psi, pero estable. Con esto se puede ver que la caldera trabaja de manera más controlada.

3.1.1.3. Temperatura del agua de alimentación

Las temperaturas son tomadas de los primeros 15 días del mes de mayo de 2019.

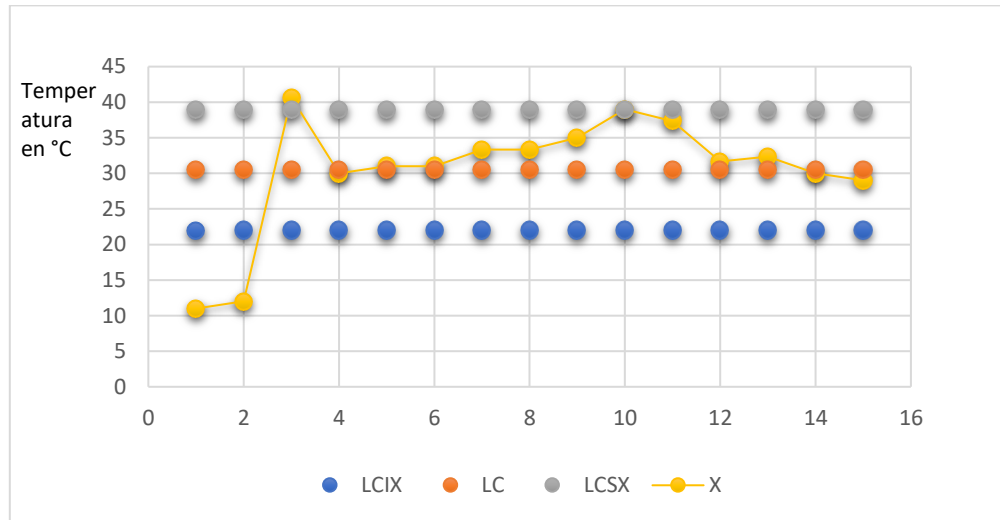
Tabla IX. **Temperatura agua de alimentación °C**
Caldera Cleaver

| Mes de Mayo | | | | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|-------|-------|------|----|------|
| Muestra | Turno 1 | Turno 2 | Turno 3 | X | R | LCIX | LC | LCSX |
| 1 | 10 | 10 | 13 | 11,00 | 3,00 | 22 | 30 | 39 |
| 2 | 13 | 10 | 13 | 12,00 | 3,00 | 22 | 30 | 39 |
| 3 | 42 | 35 | 45 | 40,67 | 10,00 | 22 | 30 | 39 |
| 4 | 25 | 30 | 35 | 30,00 | 10,00 | 22 | 30 | 39 |
| 5 | 28 | 35 | 30 | 31,00 | 7,00 | 22 | 30 | 39 |
| 6 | 28 | 35 | 30 | 31,00 | 7,00 | 22 | 30 | 39 |
| 7 | 35 | 35 | 30 | 33,33 | 5,00 | 22 | 30 | 39 |
| 8 | 42 | 30 | 28 | 33,33 | 14,00 | 22 | 30 | 39 |
| 9 | 28 | 42 | 35 | 35,00 | 14,00 | 22 | 30 | 39 |
| 10 | 35 | 42 | 40 | 39,00 | 7,00 | 22 | 30 | 39 |
| 11 | 30 | 42 | 40 | 37,33 | 12,00 | 22 | 30 | 39 |
| 12 | 30 | 30 | 35 | 31,67 | 5,00 | 22 | 30 | 39 |
| 13 | 30 | 32 | 35 | 32,33 | 5,00 | 22 | 30 | 39 |
| 14 | 25 | 30 | 35 | 30,00 | 10,00 | 22 | 30 | 39 |
| 15 | 35 | 22 | 30 | 29,00 | 13,00 | 22 | 30 | 39 |
| Promedios | | | | 30 | 8 | | | |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De los promedios del muestreo de la tabla número IX se puede ver que la temperatura de alimentación está por debajo de lo que se necesita lo cual es 85°C como mínimo para lograr una temperatura que facilite a la caldera en convertir en vapor el agua que se le está suministrando.

Figura 18. **Control temperatura de alimentación de agua caldera
Cleaver Brooks**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

El gráfico de control de la figura número 18 de temperaturas promedios para el agua de alimentación de la caldera Cleaver Brooks muestra que está fuera de control o inestable, este se debe a que hay un desperdicio considerable a la hora de retornar el condensado al tanque de alimentación de esta caldera lo cual genera que la temperatura del agua de alimentación sea muy baja ya que en su mayoría el agua es potable.

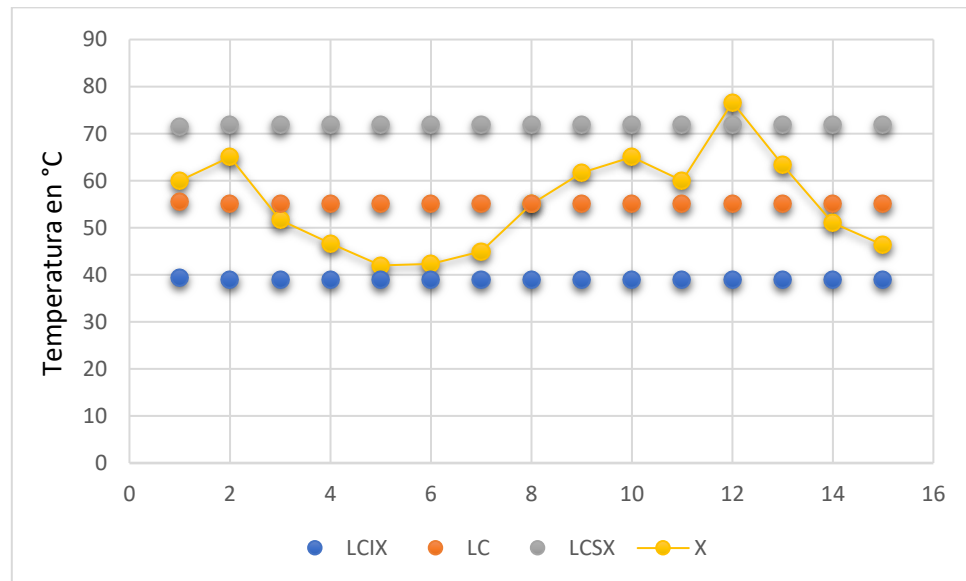
Tabla X. **Temperatura agua de alimentación °C**

| Caldera Fulton | | | | | | | | |
|------------------|---------|---------|---------|--------------|--------------|------|----|------|
| Mes de Mayo | | | | | | | | |
| Fecha | Turno 1 | Turno 2 | Turno 3 | X | R | LCIX | LC | LCSX |
| 1 | 50 | 70 | 60 | 60,00 | 20,00 | 39 | 55 | 72 |
| 2 | 60 | 60 | 75 | 65,00 | 15,00 | 39 | 55 | 72 |
| 3 | 45 | 50 | 60 | 51,67 | 15,00 | 39 | 55 | 72 |
| 4 | 50 | 50 | 40 | 46,67 | 10,00 | 39 | 55 | 72 |
| 5 | 40 | 46 | 40 | 42,00 | 6,00 | 39 | 55 | 72 |
| 6 | 42 | 45 | 40 | 42,33 | 5,00 | 39 | 55 | 72 |
| 7 | 40 | 40 | 55 | 45,00 | 15,00 | 39 | 55 | 72 |
| 8 | 60 | 60 | 45 | 55,00 | 15,00 | 39 | 55 | 72 |
| 9 | 45 | 70 | 70 | 61,67 | 25,00 | 39 | 55 | 72 |
| 10 | 65 | 60 | 70 | 65,00 | 10,00 | 39 | 55 | 72 |
| 11 | 75 | 65 | 40 | 60,00 | 35,00 | 39 | 55 | 72 |
| 12 | 80 | 80 | 70 | 76,67 | 10,00 | 39 | 55 | 72 |
| 13 | 60 | 70 | 60 | 63,33 | 10,00 | 39 | 55 | 72 |
| 14 | 45 | 48 | 60 | 51,00 | 15,00 | 39 | 55 | 72 |
| 15 | 45 | 32 | 62 | 46,33 | 30,00 | 39 | 55 | 72 |
| PROMEDIOS | | | | 55,44 | 15,73 | | | |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De los promedios del muestreo de la tabla número X. Se puede ver que la temperatura de alimentación está por debajo de lo que se necesita lo cual es 85°C como mínimo para lograr una temperatura que facilite a la caldera en convertir en vapor el agua que se le está suministrando.

Figura 19. **Control de la temperatura de agua de alimentación caldera
Fulton**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

El gráfico de control de la figura número 19 de temperaturas promedio del agua de alimentación para la caldera Fulton está un poco más estable con relación a la caldera Cleaver Brooks, esto se debe a que el tanque de alimentación de esta caldera cuenta con un sistema de calentamiento de vapor de la misma caldera cuando la temperatura decae a menos de 40° C en el tanque de alimentación, este sistema compensa la pérdida que hay debido a la poca cantidad de condensado que se retorna, pero aún no es lo suficiente para lograr una alimentación adecuada.

3.1.1.4. Consumo de combustible

El consumo de combustible nos da un indicativo de que tan eficiente es la caldera para producir vapor.

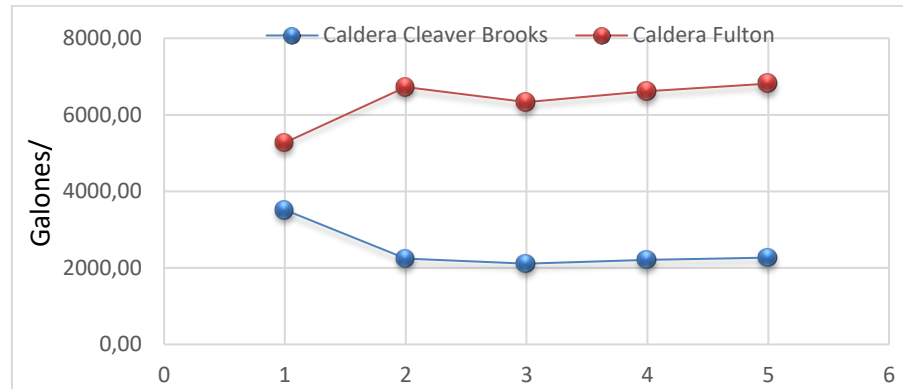
Tabla XI. **Consumos mensuales de diésel**

| Consumos mensuales de Diesel en Galones | | |
|---|------------------------|----------------|
| Mes | Caldera Cleaver Brooks | Caldera Fulton |
| Enero | 3 515,98 gal | 6 721,07 gal |
| Febrero | 2 240,36 gal | 6 273,08 gal |
| Marzo | 2 111,29 gal | 6 619,22 gal |
| Abril | 2 206,41 gal | 6 333,88 gal |
| Mayo | 2 271,53 gal | 6 514,60 gal |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla número XI se puede apreciar la cantidad de combustible que consume cada caldera cabe destacar que la de mayor consumo es la Fulton esto se debe a que ella es de 100 HP y que alimenta a dos peletizadoras de mayor capacidad comparadas con las del sistema 1.

Figura 20. **Comparación de consumo de combustible**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

En la figura número 20 se puede observar que la caldera que más trabaja en la Fulton por estar alimentando al sistema 2 de peletizado el cual es el más demandado por tener mayor capacidad de producción.

3.2. Cantidad de vapor producido por caldera

Para poder sacar un consumo de vapor se utilizó el promedio de consumos de diésel por mes y las horas trabajadas de las calderas por mes para poder sacar un estimado cercano a la realidad de vapor producido en la planta para el proceso de peletizado.

La producción de vapor de caldera se calcula en base a las siguientes fórmulas:

- Eficiencia de Caldera= Eficiencia de combustión - Perdidas por radiación

$$PV = \frac{C_c \cdot PC_c \cdot E_{fc}}{h_g - h_f} \quad \text{Formula 2}$$

Donde:

PV= Producción de vapor

Cc= Consumo de combustible

Efc= Eficiencia caldera

PCc=Poder calorífico combustible

hg= Entalpia de saturación de vapor a la salida de la caldera

hf= Entalpia de temperatura de agua de alimentación

Para calcular la producción de vapor de la caldera Cleaver Brooks se tomó en cuenta la presión de trabajo de la caldera la cual es de 85 psi y la temperatura de agua de alimentación que es de 35°C.

Datos:

hg a 100 psi= 1 183,4 Btu/lbm

hf a 35°C= 63,04 Btu/lbm

Poder calorífico diésel= 138 000 Btu/gal

Eficiencia de caldera= 73,63 %

Tabla XII. **Consumo de diésel y horas trabajadas caldera Cleaver Brooks**

| Mes | Galones diésel/mes | Horas de trabajo /mes | Galón/hr | Horas promedio/día |
|-----------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Enero | 3 515,98 | 335 | 10,50 | 11,17 |
| Febrero | 2 240,36 | 223 | 10,05 | 7,19 |
| Marzo | 2 111,29 | 297 | 7,11 | 9,58 |
| Abril | 2 206,41 | 215 | 10,26 | 7,17 |
| Mayo | 2 271,53 | 196 | 11,59 | 6,32 |
| Promedio | 2 469 | 253 | 10 | 8 |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De los datos de la tabla número XIII. se sacó el promedio de consumo por hora para poder calcular el consumo de vapor y es evidente que es una caldera que no trabaja o no demanda mantenerla en funcionamiento.

$$PV = \frac{2\,469 \text{ gal/mes} \cdot 138\,000 \text{ Btu/gal}}{1\,183,4 \text{ Btu/lbm} - 63,04 \text{ Btu/lbm}} \cdot 0,7363$$

$$PV = 223\,922,32 \text{ lb vapor/mes} \cdot \frac{\text{mes}}{30 \text{ días}} \cdot \frac{\text{día}}{8 \text{ horas}}$$

$$PV = 933,01 \text{ lb vapor/ hora}$$

Para el cálculo de la eficiencia de la caldera Fulton se utilizó el mismo procedimiento de promedios de consumos de combustible solo cambio la temperatura de agua de alimentación debido a que el tanque de alimentación de agua de esta caldera cuenta con el sistema de calentamiento del agua a través de vapor manteniéndola en promedio a 60°C. La presión de trabajo para esta caldera es de 100 psi.

Datos:

hg a 100 psi= 1187,5 Btu/lbm

hf a 60°C= 107,99 Btu/lbm

Poder calorífico diésel= 138 000 Btu/gal

Eficiencia de caldera= 81,43 %

Tabla XIII. **Consumos de diésel y horas trabajadas caldera Fulton**

| Mes | Galones diésel/ mes | Horas de trabajo/mes | Galón/hr | Horas promedio/día |
|----------|------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|
| Enero | 6 721,07 | 389 | 13,56 | 12,97 |
| Febrero | 6 273,98 | 250 | 26,88 | 8,06 |
| Marzo | 6 619,22 | 353 | 17,94 | 11,39 |
| Abril | 6 333,88 | 264 | 25,07 | 8,80 |
| Mayo | 6 514,60 | 307 | 22,20 | 9,90 |
| Promedio | 6 492,55 | 313 | 21 | 10 |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De la tabla número XIV. de consumos de la caldera Fulton se puede ver que es la caldera que más se demanda, esto se debe porque alimenta a las peletizadoras de mayor consumo y sus ciclos de arranque son más seguidos debido a la demanda.

$$PV = \frac{6\,492,5 \text{ gal/mes} \cdot 138\,000 \text{ Btu/gal} \cdot 0,8143}{1\,187,5 \text{ Btu/lbm} - 107,99 \text{ Btu/lbm}}$$

$$PV = 675\,847,65 \text{ lb vapor/mes} \cdot \frac{\text{mes}}{30 \text{ días}} \cdot \frac{\text{día}}{10 \text{ horas}}$$

$$PV = 2\,252,84 \text{ lb vapor/ hora}$$

3.2.1. Cantidad de vapor utilizado por máquina peletizadora

El cálculo de la cantidad de vapor que necesita cada máquina peletizadora se realizó en base fórmula 2:

$$HP = \frac{Rt * \%vapor}{34,5 * 0,83} \text{ Formula 3}$$

Despejando para % vapor:

$$\%vapor = \frac{HP * 34,5 * 0,83}{Rt}$$

Donde:

HP= caballaje de la caldera

Rt= Tasa máxima de producción real de la peletizadora

%vapor= % de vapor adicionado a la mezcla por tonelada

34,5= libras de agua evaporada a 212°F en una hora

0,60= factor de retorno de condensado a 35°C

Cantidad de vapor utilizado para máquinas peletizadoras CPM y Paladín 600 B:

Producción de alimento Chows:

$$\%vapor = \frac{100HP * 34,5 \text{ lb} * 0,60}{3 \frac{\text{ton}}{\text{h}} * 2200 \frac{\text{lb}}{\text{ton}}} * 100$$

$$\% \text{ vapor} = 31.36 \%$$

Cantidad de vapor utilizado por las máquinas peletizadoras G7 y Paladin
1200 D:

Producción de alimento Chows:

$$\% \text{vapor} = \frac{100 \text{HP} * 34,5 \text{ lb} * 0,60}{6 \frac{\text{ton}}{\text{h}} * 2200 \frac{\text{lb}}{\text{ton}}} * 100$$

$$\% \text{ vapor} = 15,68\%$$

Producción de alimento Bionova:

$$\% \text{vapor} = \frac{100 \text{HP} * 34,5 \text{ lb} * 0,60}{2,5 \frac{\text{ton}}{\text{h}} * 2200 \frac{\text{lb}}{\text{ton}}} * 100$$

$$\% \text{ vapor} = 37,64\%$$

Estos son las cantidades expresadas en porcentajes de vapor que se necesitan para la granulación del alimento peletizado en las máquinas peletizadoras.

3.3. Producción real de las máquinas peletizadoras

La producción real de las maquinas se toma en base al historial de producción de cada tipo de producto elaborado durante un mes de producción.

3.3.1. California fábrica de pellets

La marca California Feed Mill es una marca americana con amplia experiencia en el mercado de la elaboración de alimento balanceado y que trabajan con transmisión de acople directo y cuentan con máquinas de rendimientos de 3 TMH hasta 30 TMH.

Tabla XIV. Producción real peletizadora CPM

| Producto Peletizado | Producción |
|------------------------|------------|
| Chows | 3 TMH |
| Bionova | 3 TMH |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

La producción real en la máquina CPM se sacó en de la fórmula de rendimientos con muestreos de tamaño 3 y con los historiales de toneladas realizadas por hora en alimentos para pollos.

3.3.2. Paladin 600 B

La peletizadora Paladin 600B pertenece a la marca Andritz cuyo modelo tiene un rendimiento nominal de 7 TMH, el cual varía según la calidad de la fórmula a peletizar, esta máquina viene con transmisión de poleas y fajas.

Tabla XV. **Producción real peletizadora Paladin 600B**

| Producto Peletizado | Producción |
|------------------------|------------|
| Chows | 3 TMH |
| Bionova | 3 TMH |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

La producción real en la maquina 600B se sacó en de la fórmula de rendimientos con muestreos de tamaño 3 y con los historiales de toneladas realizadas por hora en alimentos para pollos.

3.3.3. **Feed Max G7**

La peletizadora G7 es el modelo más reciente de la marca Andritz, esta máquina cuenta con rendimientos hasta 25TMH para alimento Chows, esta máquina viene con motor de 250 HP de acople directo.

Tabla XVI. **Producción real peletizadora Feed Max**

| Producto Peletizado | Producción |
|------------------------|------------|
| Chows | 15 TMH |
| Bionova | 8 TMH |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

La producción real en la maquina G7 se sacó en de la fórmula de rendimientos y con muestreos de tamaño 3 mayormente en alimento para pollos y cerdos que son las líneas que más se trabajan en esta máquina.

Tabla XVII. **Paladin 1200 D (Andritz)**

| Producto Peletizado | Producción |
|------------------------|------------|
| Chows | 6 TMH |
| Bionova | 2,5 TMH |
| Camarón | 2 TMH |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

La producción real en la máquina 1200D se sacó en de la fórmula de rendimientos y con muestreos de tamaño 3 mayormente en alimento para pollos y cerdos que son las líneas que más se trabajan en esta máquina.

3.4. Propuesta de diseño de plan de mantenimiento predictivo

Para las líneas de vapor se usarán tres técnicas de mantenimiento predictivo inspecciones visuales, la termografía y el ultrasonido todo esto es basado en los parámetros tomados como muestreo ya que tienen un impacto sobre el funcionamiento correcto del sistema de vapor. La frecuencia de la realización del tipo de mantenimiento predictivo depende de lo observado en campo y de los manuales según fabricante.

3.5. Inspecciones visuales

Las inspecciones visuales se realizarán con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y mantener bajo control las variables de operación. Estas inspecciones se basarán en ver las condiciones físicas de las tuberías, aislamientos térmicos, fugas y estado de las líneas desde el inicio hasta el final del transporte del vapor.

3.5.1. Aislamiento de tuberías

La verificación visual se basará en ver el estado del aislamiento de las tuberías, que este en buen estado, no existan fugas y que se encuentre completo en toda la línea de vapor. Se realizará de forma mensual una lista de comprobación y se anotará el estado según el área inspeccionada, cualquier anomalía deberá ser anotada en la parte de comentarios. (Ver Anexo 3)

3.5.2. Líneas de vapor

La inspección visual para las líneas se basará que se encuentren libres de fugas, cubiertas totalmente por su aislamiento térmico, bridas en buen estado, válvulas y trampas sin fugas. En la lista de comprobación de inspección visual se realizará las anotaciones sobre cualquier anomalía, nombre de mecánico que inspecciona y tiempo de ejecución. (Ver anexo 4)

3.5.3. Calderas

Las calderas son una fuente esencial para la producción del alimento peletizado la cantidad de vapor a producir depende de la demanda de la producción del peletizado. Para mantener una buena calidad de vapor y seguridad en la producción se les deben de realizar servicio cada 6 meses a las calderas para mantenerlas limpias de incrustaciones y posibles daños en los tubos. (Ver anexo 5)

- Inspecciones generales

Para mantener las calderas en buen funcionamiento se les debe hacer inspecciones para verificar que están operando bien y que no hay problemas de

seguridad en su operación, las inspecciones están establecidas en rutinas con la finalidad de mantener un control de su funcionamiento.

- **Accesorios de seguridad**

Dentro de los accesorios de seguridad a mantener en buenas condiciones son las válvulas de seguridad, estas deben cambiarse cada año para evitar que fallen al momento de generarse demasiada presión en el interior de las calderas y deben inspeccionarse que estén en funcionamiento en todo momento.

- **Instrumentos de control y medición**

Los instrumentos de control como los manómetros de presión de vapor, temperatura y presión de combustible deben monitorearse al menos en cada turno para verificar que la caldera está operando a condiciones óptimas y que se le está suministrando lo necesario para su funcionamiento.

Los instrumentos de medición a mantener en verificación en cada turno son los controles de nivel de agua de las calderas y de los tanques de alimentación para evitar que se quede sin agua la caldera y así prevenir que los tubos de las calderas se doblen.

3.5.4. Trampas de vapor

Dentro de las comprobaciones visuales a revisar en las trampas de vapor están la existencia de fugas de condensado, cierres lentos en presencia de vapor y fallas de posición cerrada debido a las inundaciones de condensado. En caso de encontrar un problema con alguna trampa de vapor se coloca en la lista de

verificación la prioridad y las observaciones correspondientes, el tiempo empleado y mecánico que realiza la revisión. (Ver anexo 6)

3.5.5. Acondicionadores

A los acondicionadores se les debe de inspeccionar que los manómetros de presión y temperatura estén operando correctamente, manifold de entrada y salida libres de fugas de vapor. En la lista de verificación se colocarán las observaciones de la inspección, el mecánico que la realiza, tiempo empleado y los comentarios de ser necesario. (Ver anexo 7)

3.6. Termografía

La termografía se realizará a todos los componentes esenciales de la línea de vapor y la secuencia de inspección será de forma mensual comparando dos parámetros de operación temperatura recomendada versus temperatura de operación las observaciones se anotarán en la lista de verificación el cual estarán a cargo del mecánico asignado y el supervisor de mantenimiento se encargará de programar los mantenimientos preventivos a las líneas que salgan de las observaciones.

El procedimiento para la realización de la termografía consiste en colocar la cámara y apuntar hacia la zona del sistema de vapor a inspeccionar a la distancia mínima de 50 centímetros y de esta manera obtener la imagen de las temperaturas de trabajo del área inspeccionada y anotar datos en la lista de verificación.

El equipo por utilizar será una cámara termográfica Fluke 75iS75+ cuyas especificaciones son:

- Resolución de infrarrojos de 384 x 288 píxeles
- Etiquetado de activos
- Pantalla táctil con IR Fusión
- Grabación de vídeo IS3 y AVI
- Medidas de hasta 550 °C
- Cálculo del punto de rocío
- Distancia mínima de enfoque 0.5 metros
- Distancia máxima de enfoque 3 metros

3.6.1. Líneas de vapor

Las líneas de vapor deben estar en óptimas condiciones para transportar el vapor libre de fugas, pérdidas de energía y aislamiento térmico en buen estado, la termografía se realizará en cada una de líneas de vapor y condensado para verificar que en todo el trayecto exista una temperatura adecuada de trabajo, esto con el fin de tener un buen aprovechamiento de energía. Para llenar la lista de verificación el mecánico encargado deberá comparar la temperatura de trabajo vrs la recomendada con la cámara termográfica y colocar según lo observado en el área de comentarios, su nombre más el tiempo de inspección. (Ver anexo 8)

3.6.2. Trampas de vapor

Las trampas de vapor influyen de gran manera en la calidad de vapor que llega a los acondicionadores para la homogenización de la mezcla, deben de cumplir con eliminar el condensado de las líneas de vapor y evitar pérdidas de vapor. La termografía a las trampas de vapor se realizará a través de una lista de verificación mensual y de este análisis se realizarán las anotaciones necesarias para programar un mantenimiento de ser necesario. (Ver anexo 9)

3.6.3. Válvulas reguladoras

Las válvulas reguladoras son manipuladas por los operadores para ir regulando a la presión que demande el producto que se está peletizando por lo cual no debe de estar a una temperatura superior del límite de operación, si llegara existir una alta temperatura ocasionaría quemaduras y es un indicio que la válvula no está operando correctamente. Las anotaciones deberán realizarse en la lista de verificación con su prioridad y observaciones hechas por mecánico. (Ver anexo 10).

3.7. Ultrasonido

Las pruebas de ultrasonido a los componentes de las líneas de vapor se realizarán mensualmente por un propósito esencial, para mantener un registro para las auditorias de ahorro energético y para evitar que se generen grandes pérdidas económicas por fallas en empaques, válvulas y un cierre inadecuado del sistema.

El procedimiento a realizar para la detección de fugas con el ultrasonido consiste en tomar dos puntos de referencia para medir el nivel de sonido, es decir se colocara la sonda en un punto A la cual es la entrada del flujo de vapor y se tomara nota del nivel de ruido y luego se colocara en un punto B que es la salida del vapor e igual se tomara nota del nivel de ruido, esto se realiza con el fin de comparar que si existe un ruido mayor en el punto B es porque existe una fuga no visible en la trampa de vapor, válvula reguladora, bridas, dosificadoras o válvulas de paso.

El equipo para utilizar es un TLV PT1 Procket Trapman, cuyas especificaciones son:

- Medición de temperatura superficial de 0°C a 350°C
- Precisión +/- 2°C después de 1 minuto
- Energía con 2 baterías AA
- Capacidad de respuesta del 97% en 15 segundos
- Pulso de choque 32 kHz
- Entrada para audífonos

3.7.1. Líneas de vapor

El ultrasonido se realizará desde la salida de la caldera hasta la entrada al acondicionador para la verificación que no existan fugas en las bridas, filtros, codos. Esta inspección será reportada a través de la lista de verificación (ver anexo 11) el cual estará bajo el control del supervisor de mantenimiento para ir recolectando la información de los comentarios y observaciones.

3.7.2. Trampas de vapor

Las pruebas de ultrasonido en las trampas de vapor se realizarán mensualmente por un propósito esencial, para mantener un registro para las auditorias de ahorro energético y para evitar que se generen grandes pérdidas económicas por fallas en empaques, válvulas y un cierre inadecuado de las trampas. La lista de verificación se llenará por parte del supervisor de mantenimiento en conjunto con mecánico de turno y se colocaran las observaciones y en que trampa se encontró una fuga de darse el caso. (Ver anexo 11).

3.7.3. Válvulas reguladoras y dosificadoras

Se ejecutará una lista de verificación mensual donde se verificará que las válvulas reguladoras y dosificadoras no tienen fugas de vapor vivo, por contrapresión elevada o fugas de vapor en expansión, las observaciones se anotaran por parte del supervisor de mantenimiento y mecánico, en estas debe de ir tiempo de ejecución y la prioridad de realizar algún trabajo. (Ver anexo 11)

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La cuarta fase y última de la investigación consistió en el análisis de la información obtenida con el desarrollo del mantenimiento predictivo en los cinco meses de ejecución. Esto es con el fin de hacer una comparación entre la situación inicial del mantenimiento a las líneas de vapor y los cambios presentados con la ejecución del plan de mantenimiento predictivo.

4.1. Resultados obtenidos del mantenimiento predictivo

El monitoreo es realizado a través del historial de órdenes de trabajo al PM y de la ejecución de rutinas, como se observa en la tabla XIX hay una tendencia a la baja con respecto a los mantenimientos por emergencia y correctivos beneficiando a la planta, cabe destacar que el programa va en desarrollo y debe tener seguimiento por parte del supervisor de mantenimiento.

Tabla XVIII. **Resultados de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor junio-octubre 2019**

| Mes | Horas de mantenimiento de Emergencia | Horas de mantenimiento Correctivo | Horas de mantenimiento Preventivo/Predictivo | Total Horas |
|------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--|-------------|
| Junio | 4 | 2 | 36.75 | 42,75 |
| Julio | 1 | 0 | 47 | 48 |
| Agosto | 0 | 0 | 36.5 | 36,5 |
| Septiembre | 0 | 3.5 | 79.5 | 83 |
| Octubre | 0 | 8 | 59 | 67 |
| Totales | 5 | 13,5 | 258,75 | 277,25 |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Se puede observar que desde el mes de junio se inició con una baja de los mantenimientos correctivos y de emergencia, aunque en el mes de octubre se tuvo un valor alto a consideración de los demás, pero aun así representa un gran beneficio para la empresa, ya que es un tiempo prudencial que es manejable y que se puede ajustar la producción sin afectar al cliente.

4.1.1. Desempeño de mantenimiento

El desempeño del departamento de mantenimiento mejoró considerablemente, aumentando el tiempo para predictivo y preventivo lo que indica que los paros por averías se están llevando a un punto de menor impacto para el departamento de producción.

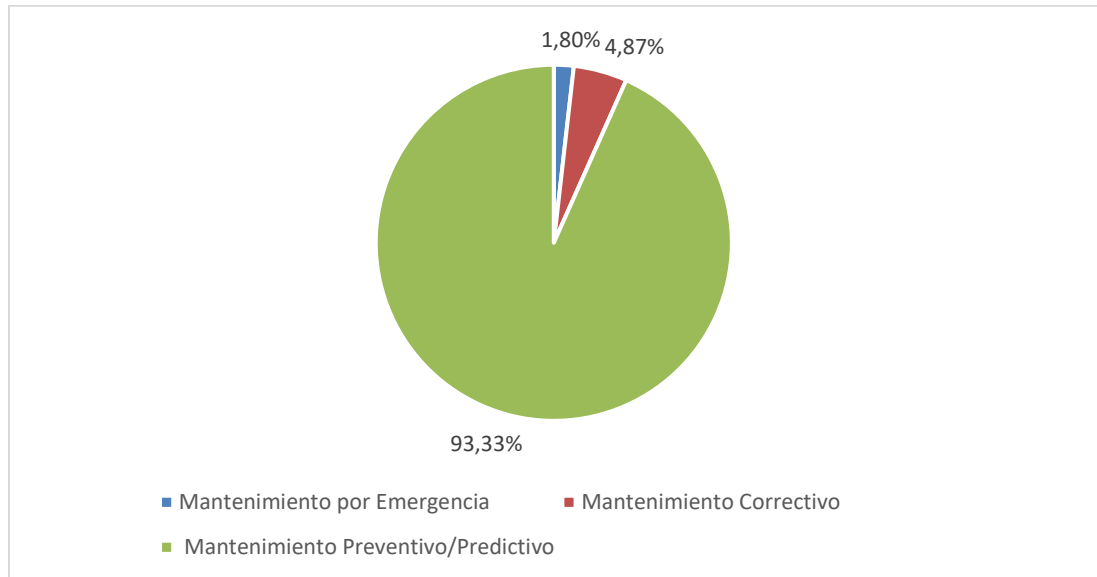
Tabla XIX. **Desempeño de mantenimiento predictivo**

| Ejecución | Horas | Porcentaje de desempeño |
|-------------------------------------|--------|-------------------------|
| Mantenimiento por Emergencia | 5 | 1,80 % |
| Mantenimiento Correctivo | 13.5 | 4,87 % |
| Mantenimiento Preventivo/Predictivo | 258.75 | 93,33 % |
| Horas Empleadas | 277.25 | 100 % |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Las horas empleadas se mantienen en base a lo programado por el supervisor de mantenimiento, pero con el detalle que con mayor aprovechamiento para que las líneas trabajen de forma optimizada y eficientemente.

Figura 21. **Desempeño de mantenimiento con el nuevo plan**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

El aprovechamiento del tiempo de mantenimiento predictivo/preventivo aumento a un 93,33 % lo que representa una disminución en los tiempos de mantenimientos de emergencia y correctivos mejorando la eficiencia y confiabilidad en las líneas, esto se traduce en cumplir el programa de producción en el tiempo optimo sin la necesidad de ir empleando horas extras por fallas en equipos.

Se busca llegar a cero los tiempos por mantenimientos de emergencia y correctivos, pero eso se logrará con la continuidad de la ejecución y seguimiento del mantenimiento predictivo y desarrollo técnico para el personal de mantenimiento.

4.1.2. Análisis FODA del mantenimiento predictivo

Se realizó un FODA para visualizar el desarrollo del mantenimiento predictivo, ver los puntos a fortalecer en conjunto con el departamento de mantenimiento todo esto con el fin de que el programa que se desarrolló es con los objetivos trazados.

Tabla XX. FODA mantenimiento predictivo

| FORTALEZAS | DEBILIDADES |
|--|--|
| Iniciativa de ejecución para el plan de mantenimiento predictivo por parte de Gerencia | Personal con falta especialización |
| Personal motivado y con experiencia en la planta | Capacitaciones con poco alcance técnico esperado |
| Reducción de costos de operación | Dificultad de manejo de equipos de alta tecnología |
| Capacidad de organización | Dificultad de interpretación de resultados por parte de personal |
| Proveedores con equipos a la vanguardia de la tecnología | Tiempo inicial de repuesta elevado por parte de personal interno |
| OPORTUNIDADES | AMENAZAS |
| Capacitación técnica constante a personal | Resistencia del personal al desarrollo del mantenimiento predictivo |
| Avance en el uso de equipos de análisis | Adquisición de tecnología para el mantenimiento con costo elevado |
| Disminución de costos de mantenimiento | Posibilidad de incremento en el financiamiento para adquirir equipos |
| Aumento de la disponibilidad de las líneas de peletizado | Mantenimiento desarrollado solamente por proveedores |
| Desarrollo inicial de mantenimiento predictivo en conjunto con proveedores | Daños a equipos por inseguridad de uso |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

El mayor punto para atacar es el de la retroalimentación técnica y con alcances que sean beneficiosos para la empresa y que hagan sentir al empleado que es clave en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo.

Una de las amenazas durante el desarrollo del mantenimiento predictivo es que por el manejo de tecnologías sea difícil adecuarse al personal si no se capacita de la manera correcta llegando al punto de que solo sea realizado por proveedores.

La mayor fortaleza durante el desarrollo del mantenimiento predictivo es el sentido de pertenencia y motivación de los mecánicos, la actitud de adquirir conocimientos, pero esto se debe mantener buscando el desarrollo de ellos a través de capacitaciones que hagan aprovechar el máximo de cada uno de ellos.

4.2. Resultados del monitoreo de los parámetros de operación

Del monitoreo de los parámetros de operación más importante de las líneas de vapor se obtuvo ahorros en cuestiones de consumos de agua, diésel y aprovechamiento de vapor en las máquinas peletizadoras. Esto beneficio en el ahorro de costos por producción reflejando la importancia del desarrollo de un mantenimiento predictivo.

4.2.1. Consumo de agua

El mantener el monitoreo constante de las temperaturas de los tanques de alimentación reflejo un ahorro en consumos de agua y una optimización de la producción de vapor a través del retorno de condensado aumentando la temperatura en los tanques de alimentación.

Tabla XXI. **Consumos de agua en calderas**

| Mes | Consumo Calderas en galones |
|------------|-----------------------------|
| Junio | 67,662.96 gal |
| Julio | 58,485.73 gal |
| Agosto | 58,691.97 gal |
| Septiembre | 49,607.29 gal |
| Octubre | 47,542.46 gal |
| Promedio | 56,398.08 gal |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De la tabla XXII. Se puede ir observando la disminución del agua hasta de un 30 % en consumo esto se debe a que se mantuvo en monitoreo la temperatura de los tanques de alimentación de agua con el fin de aprovechar la energía del retorno de condensado, disminuyendo así el consumo de agua cruda en considerable proporción.

4.2.2. Consumo de diésel

Con el monitoreo de operación del quemador y eficiencia de combustión en las calderas se logró reflejar un ahorro y disminución de consumo de diésel, esto representa que las calderas han ido mejorando la eficiencia y aprovechando la energía del condensado a través del desarrollo del mantenimiento predictivo/preventivo más frecuente.

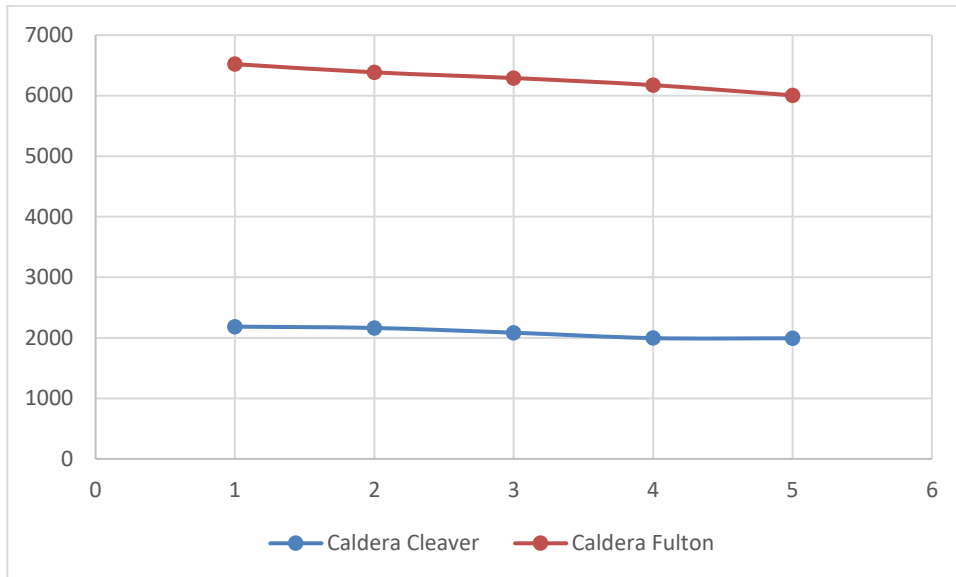
Tabla XXII. **Consumos mensuales de diésel en galones**

| Consumos mensuales de Diesel en Galones | | | |
|---|------------------------|----------------|-----|
| Mes | Caldera Cleaver Brooks | Caldera Fulton | |
| Enero | 3 515,98 gal | 6 721,07 | gal |
| Febrero | 2 240,36 gal | 6 273,98 | gal |
| Marzo | 2 111,29 gal | 6 619,22 | gal |
| Abril | 2 206,41 gal | 6 333,88 | gal |
| Mayo | 2 271,53 gal | 6 514,60 | gal |
| Junio | 2 185 gal | 6 520,50 | gal |
| Julio | 2 163 gal | 6 385 | gal |
| Agosto | 2 085 gal | 6 290,5 | gal |
| Septiembre | 1 995,6 gal | 6 174 | gal |
| Octubre | 1 992,6 gal | 6 005,5 | gal |
| Promedio | 2 276,24 gal | 6 407,14 | gal |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Al comparar con la tabla de inicio de consumos en la investigación se puede ver que los consumos vienen con una tendencia hacia la baja desde el mes de junio, esto se debe al desarrollo del plan de mantenimiento predictivo monitoreando la presión de combustible, adecuada temperatura en los tanques de agua de alimentación debido al correcto funcionamiento de las trampas de vapor a través del retorno de condensado originando una eficiente combustión en las calderas.

Figura 22. **Consumo de diésel mensual por caldera**



Fuente: elaboracion propia, realizado con Excel.

Del gráfico 19 de consumos se puede ver el efecto positivo que está generando el mantenimiento predictivo, con una pendiente hacia abajo estabilizando y optimizando el consumo del diésel debido al control de parámetros de operación de presión de combustible y eficiencia de combustión. La diferencia de consumos entre ambas calderas se debe porque la caldera Cleaver se arranca 3 días a la semana y es la que se utiliza como back up en caso de una emergencia.

4.3. **Resultados de producción de vapor**

La cantidad de producción de vapor aumenta por el monitoreo que se les realizan a las líneas de vapor, ya no hay perdidas de energía, reparación de fugas de manera inmediata y testeo a las trampas de vapor, válvulas, entre otros. De esta forma optimizando el funcionamiento del sistema.

4.3.1. Cantidad de vapor producido por caldera

La nueva producción de vapor se calculó con la misma fórmula que se utilizó para verificar la situación antes del mantenimiento predictivo.

- Eficiencia de Caldera= Eficiencia de combustión - Perdidas por radiación

$$PV = \frac{Cc \cdot PCc \cdot Efc}{hg - hf}$$

Donde:

PV= Producción de vapor

Cc= Consumo de combustible

Efc= Eficiencia caldera

PCc=Poder calorífico combustible

hg= Entalpia de saturación de vapor a la salida de la caldera

hf= Entalpia de temperatura de agua de alimentación

Para calcular la producción de vapor de la caldera Cleaver Brooks se trabajó con la presión de 100 psi y con una temperatura ya de 80°C en el agua de alimentación.

Datos:

hg a 100 psi= 1 187,5 Btu/lbm

hf a 80°C= 144,05 Btu/lbm

Poder calorífico diésel= 138 000 Btu/gal

Eficiencia de caldera= 85 %

De la tabla XXII se sacaron el promedio de los nuevos consumos para calcular la nueva producción de vapor, tomar en cuenta según análisis de proveedor externo las calderas están operando a 85 % la Cleaver y 86.5 % la caldera Fulton, estos datos fueron extraídos de reportes de SIDASA.

- Caldera Cleaver

$$PV = \frac{2084.24 \text{ gal/mes} * 138\,000 \text{ Btu/gal} * 0.85}{1\,187.5 \text{ Btu/lbm} - 144.05 \text{ Btu/lbm}}$$

$$PV = 234,300.97 \text{ lb vapor/mes} * \frac{\text{mes}}{30 \text{ días}} * \frac{\text{día}}{8 \text{ horas}}$$

$$PV = 976.25 \text{ lb vapor/ hora}$$

- Caldera Fulton

Datos:

hg a 100 psi= 1187,5 Btu/lbm

hf a 85°C= 153,08 Btu/lbm

Poder calorífico diésel= 138 000 Btu/gal

Eficiencia de caldera= 86,5 %

$$PV = \frac{6\,275.1 \text{ gal/mes} * 138\,000 \text{ Btu/gal} * 0.865}{1\,187.5 \text{ Btu/lbm} - 153.08 \text{ Btu/lbm}}$$

$$PV = 724\,133.99 \text{ lb vapor/mes} * \frac{\text{mes}}{30 \text{ días}} * \frac{\text{día}}{10 \text{ horas}}$$

$$PV = 2\,413.77 \text{ lb vapor/ hora}$$

Con el ahorro del combustible, diésel y agua la producción de vapor se volvió más eficiente, aprovechando de mejor manera la energía del sistema cerrado de vapor de las calderas de la planta. En comparación con los valores iniciales se puede ver el aumento de la cantidad de vapor producido esto esencialmente se debe al control de las temperaturas del agua de alimentación y modulando la combustión en la caldera de modo que esta opere dentro de los parámetros permitidos del medio ambiente y fabricante.

4.3.2. Costo de vapor producido

Para el cálculo del costo estimado del vapor se utilizó la siguiente formula:

$$CV = \frac{hg - hf * Cc}{Efc * PC}$$

Donde:

CV= costo de vapor

hg= entalpia de vapor a 100 psi

hf= entalpia de agua de alimentación

Cc= costo de combustible

Efc= eficiencia de caldera

PC= poder calorífico del combustible

Costo de vapor producido en caldera Cleaver Brooks:

Datos:

hg= 1 183,4 Btu/lbm

hf= 144,05 Btu/lbm a 80°C

Efc= 85 %

PC diesel= 138 000 Btu/gal

Precio de combustible= Q. 28,5/gal

$$CV = \frac{(1183.4 \text{ Btu/lbm} - 144.05 \text{ Btu/lbm}) * Q. 28.5/\text{gal}}{0.85 * 138,000 \text{ Btu/gal}}$$

$$CV = Q. \frac{0.2525}{\text{lb}} \text{ de vapor} * \frac{2204,62 \text{ lb}}{1 \text{ ton}}$$

$$CV = Q. 556.67 / \text{ton Vapor}$$

Costo de vapor producido en caldera Fulton:

Datos:

hg= 1187,5 Btu/lbm

hf= 153.08 Btu/lbm a 85°C

Efc= 86,5%

PC diésel= 138 000 Btu/gal g

Precio de combustible= Q. 28,5/gal

$$CV = \frac{(1187,5 \text{ Btu/lbm} - 153,08 \text{ Btu/lbm}) * Q. 28,5/\text{gal}}{0,865 * 138\,000 \text{ Btu/gal}}$$

$$CV = Q. \frac{0,2469}{\text{lb}} \text{ de vapor} * \frac{2\,204,62 \text{ lb}}{1 \text{ ton}}$$

$$CV = Q. 544.32 / \text{ton Vapor}$$

Partiendo de estos resultados se puede ver que el valor de producción por tonelada de vapor es más barato en la caldera Fulton esto se debe a que es la caldera que más trabaja, tiene mayor eficiencia de combustión y la temperatura del agua de alimentación es superior a la Cleaver.

4.4. Resultado en horas extras

La importancia de la reducción de horas extras por mantenimientos correctivos o de emergencia es esencial en las industrias, con el desarrollo en pleno del mantenimiento predictivo la tendencia a la reducción de horas extras es evidente, en la siguiente tabla se muestra el comportamiento en los últimos 10 meses.

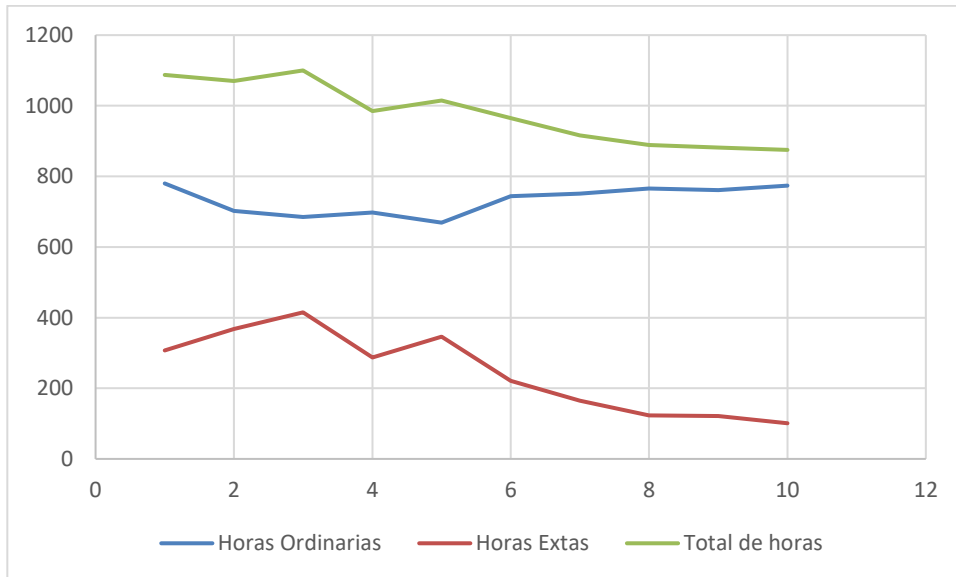
Tabla XXIII. **Historial de horas extras**

| Mes | Horas Ordinarias | Horas Extras | Horas Totales |
|-----------------|------------------|---------------|---------------|
| Enero | 780 | 307 | 1 087 |
| Febrero | 702 | 368 | 1 070 |
| Marzo | 685 | 415 | 1 100 |
| Abril | 698 | 287 | 985 |
| Mayo | 669 | 346 | 1 015 |
| Junio | 744 | 221 | 965 |
| Julio | 751 | 165 | 916 |
| Agosto | 766 | 123 | 889 |
| Septiembre | 761 | 121 | 882 |
| Octubre | 774 | 101 | 875 |
| Promedio | 733 | 245,40 | 978,40 |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Se puede ver que la disminución de las horas extras empieza hacer evidente a partir del mes de junio, esto se debe al ajuste y desarrollo del plan de mantenimiento predictivo en las líneas de vapor obteniendo resultados positivos para la empresa.

Figura 23. **Comparativo de horas trabajadas**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De la figura número 23 se puede observar el comportamiento de la reducción de horas con el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo, cabe destacar que esta reducción es un indicativo que el aprovechamiento del tiempo para mantenimiento preventivo y programado se está haciendo de buena manera.

Las horas extras dentro del historial no representan el 100 % dedicadas a trabajos a las líneas de vapor, son una variedad de mantenimientos correctivos que abarcan gran tiempo y repercutían en el programa de mantenimiento preventivo a las líneas de vapor que con llevaban a los paros por emergencias en las mismas.

4.5. Resultados en rendimientos de peletizadoras

Los rendimientos de las máquinas aumentaron debido al aprovechamiento de la cantidad de vapor producido, ya que el sistema es monitoreado con una secuencia mensual que ayuda a que las líneas estén en óptimas condiciones, produciendo las calderas un vapor de mayor calidad y que ayudan homogenización correcta del alimento sosteniendo la calidad definida.

Tabla XXIV. Rendimientos de peletizadoras

| Peletizadora | Rendimiento Nuevo |
|---------------------|-------------------|
| CPM | Chows 3.8 TMH |
| | Bionova 3.2 TMH |
| Paladin 600B | Chows 3.8 TMH |
| | Bionova 3.2 TMH |
| Peletizadora 1200 D | Chows 7 TMH |
| | Bionova 2.8 TMH |
| Peletizadora G7 | Chows 15.4 TMH |
| | Bionova 8.6 TMH |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

De la tabla XXV se puede ver que los rendimientos son valores representativos que a un ritmo continuo impactan en el cumplimiento del programa de producción de manera más eficiente y rápida lo que conlleva al ahorro de costos de mano de obra por la reducción de tiempo de proceso en las peletizadoras.

4.6. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos reafirman que los objetivos planteados para la elaboración de esta investigación fueron alcanzados. El diseño del plan de

mantenimiento predictivo para las líneas de vapor propuesto permitió mejoras en reducción de horas hasta un 33 % y un aumento en el aprovechamiento del tiempo programado para mantenimiento hasta 93,33 %, en el anexo 11 la matriz de consistencia se muestra la confirmación del éxito del plan de mantenimiento.

4.6.1. Análisis interno

El desarrollo del mantenimiento que anteriormente desarrollaba la empresa no era adecuado para mantener el proceso de peletizado trabajando eficientemente. Si bien existía un programa de mantenimiento preventivo a las líneas de vapor este no era adecuado para mantener el proceso trabajando de forma continua debido a los paros disminuyendo de esta manera la eficiencia en el mismo. Con el uso de la lista de comprobación la información a recolectar es sencilla y de suma importancia para el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo, acá únicamente se deben ingresar las observaciones realizadas por el mecánico asignado y compararse mediante parámetros de operación que establezca el fabricante.

Con la elaboración del diagnóstico presentado en el capítulo dos fue posible estimar que con el diseño del plan de mantenimiento predictivo se podría mejorar la eficiencia en el proceso de peletizado, en cinco meses de operación se aumentó el tiempo de aprovechamiento de tiempo en mantenimiento preventivo hasta 93.33 %, con esto se logró disminuir las horas extras hasta un 33 % ya que los paros por mantenimientos correctivos se fueron a la baja. En relación con este plan del mismo modo se logró una tendencia de disminución de consumos en agua y diésel, conllevando a reducción a los costos por operación. Estos ahorros de agua de diésel y agua son variables mensualmente ya que van de la mano con el tiempo de operación de los equipos.

Con las mejoras obtenidas, se puede afirmar que el mantenimiento predictivo fue desarrollado y aceptado de manera correcta dentro de la cultura de trabajo en la empresa, acoplándose también a los procedimientos de seguridad establecidos para la ejecución de las inspecciones. Todo esto se debió a la metodología empleada de trabajar en conjunto con el personal de mayor experiencia de las áreas de producción y mantenimiento dado que es fácil y visible para los mecánicos sentirse motivados y con sentido de pertenencia al ver que son tomados en cuenta para el desarrollo de algo nuevo y de impacto para la empresa.

En cuestión de desempeño individual no se hizo énfasis ya que todo fue realizado de manera proporcional para que todo el personal formara parte de este nuevo plan y el resultado positivo fuera compartido en equipo. Se considera que los parámetros tomados para el desarrollo del mantenimiento predictivo son los que más se adaptan para continuar con el fortalecimiento del plan. Y con esto para que en un futuro los ahorros sigan siendo positivos se debe de dar seguimiento al desarrollo del plan de mantenimiento predictivo, mantener bajo inspección y control las variables de operación, mantener al día los registros de trabajos para que el historial sea retroalimentado de manera que la información se fácil de entender y que ayude a resolver problemas de forma inmediata con la información recolectada.

4.6.2. Análisis externo

Como base de los estudios realizados por Lliguipuma (2019) se obtuvieron resultados positivos a través de la toma y control de parámetros que deben de mantenerse en observación y que dio resultados similares a Guillen (2015) con respecto a la evolución de los parámetros, los cuales van de la mano con la evolución de las fallas en las maquinas.

Con las bases de Barragán (2016) se fueron identificando las limitantes y debilidades que surgen sino se establece un cronograma de frecuencia de inspecciones según lo recomendado por el fabricante, ya que sin esto no se puede crear un historial de reparaciones y fallas que facilite al departamento disminuir el tiempo de repuesta para la adquisición de repuestos y permisos de seguridad que se puedan requerir para la ejecución del trabajo.

Analizando los reportes de la lista de verificación se estableció que durante el primer trimestre se veía ya una tendencia en disminución de las horas de paros, sin embargo, aún existe un porcentaje de 4.87 % de horas de paro por mantenimientos correctivos, lo cual ya representa un camino hacia el enfoque que busca la empresa con llegar a cero horas de mantenimientos correctivos a las líneas de vapor que es el principal punto afectado.

En base a Lara y Mendoza (2018) se estableció que los valores de la presión de trabajo para los acondicionadores deben estar en los rangos de 20 psi para productos de 2 mm de diámetro y de 60 psi para los productos de 4 mm de diámetro, con estas presiones se asegura mantener un suministro de vapor seco para la correcta homogenización de la mezcla previo a la peletización del alimento y una reducción de la fricción en la recámara de peletizado.

Con el suministro de un vapor seco hay una mayor eficiencia dentro del proceso, hay mayor aprovechamiento de energía en el sistema, un mejor retorno de condensado, las calderas logran trabajar a una eficiencia superior al 80 % lo cual representa ahorros en combustible y agua. Con todas estas mejoras el costo de generación de vapor se disminuye considerablemente haciendo una producción de alimento de manera eficiente.

Es posible afirmar que esta investigación contribuyo a demostrar que los beneficios de un diseño de plan de mantenimiento predictivo pueden ser obtenidos sin importar al área que se desee aplicar, ya que el enfoque de este es predecir fallas que puedan ocasionar pérdidas de tiempo considerables para la empresa. Lo importante del desarrollo del plan es comunicarlo de manera efectiva con todo el personal involucrado para que la resistencia a la ejecución de este no se dé por el personal y al contrario mantenerlos motivados, que sientan el valor de pertenencia y que son un pilar importante para el proceso y la empresa.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó un plan de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor para las instalaciones de la planta con el fin de mejorar la eficiencia del proceso de peletizado mediante la observación del estado de las líneas de vapor y comportamiento de las variables de operación temperatura de agua, gases de chimenea, presión, consumos de agua y diésel para detectar el estado y funcionamiento de los componentes del sistema de vapor.
2. Se identificó el proceso de mantenimiento a las líneas de vapor dentro de las instalaciones mediante: las observaciones del proceso de peletizado, revisión de los hallazgos en las rutinas de mantenimientos preventivos e historial de reparaciones al sistema de vapor ingresadas en el software de mantenimiento, determinando así que el mantenimiento preventivo tiene muy poco alcance técnico ya que este es basado principalmente en inspecciones visuales lo cual restringe en gran proporción a diagnósticos certeros de fallas en las líneas.
3. Se analizó los parámetros de operación: presión de trabajo, temperatura de agua de alimentación, temperatura de gases de chimenea y consumos de diésel de las calderas, ya que facilitaron determinar el estado de funcionamiento de las calderas y producción de vapor, en base a esto se diseñaron las rutinas de inspección al sistema de líneas de vapor, las cuales arrojaron resultados positivos en el desarrollo del mantenimiento predictivo.

4. Se determinó los beneficios de la utilización del mantenimiento predictivo en las líneas de vapor en el proceso de peletizado, obteniendo resultados de disminución de horas extras a un 33 %, reducción del 30 % en consumos de agua para alimentar las calderas, disminución del consumo de diésel en 43.33 % y 10.65 % en calderas Cleaver y Fulton respectivamente, reducción de paros correctivos a 4.87 %, paros de emergencia a 1.80 % y derivado de esto un aumento promedio de 0.8 TMH para alimento Chows y 0.6 TMH para alimento bionovas.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que dentro de las rutinas de mantenimiento predictivo se establezcan los valores recomendados de temperatura y presión de trabajo de las trampas de vapor, válvulas reguladoras y dosificadoras con el fin de monitorear el funcionamiento y crear un historial que facilite la retroalimentación técnica y requerimientos para la programación de reparaciones.
2. Se aconseja el acompañamiento del supervisor de mantenimiento a los mecánicos al momento de realizar las inspecciones visuales y rutinas de mantenimiento predictivo con el fin de que la información recolectada sea clara, concisa y facilite la programación de trabajos en el sistema de vapor de ser necesario.
3. Es necesario comparar de manera inmediata los límites permisibles de los parámetros de operación de las calderas y líneas de vapor al momento de realizar las rutinas de inspección para verificar que están dentro de los valores requeridos en el proceso de peletizado y así evitar desviaciones que puedan afectar el proceso.
4. Al personal de mantenimiento y gerencia se les indica darle el seguimiento a la ejecución de las tareas programadas de mantenimiento predictivo ya que genera ahorros y alarga la vida útil de los activos y a su vez facilita determinar la condición y operación de estos.

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 Katherine & 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). *Peletizaciòn y calidad del pelet*. Recuperado de <http://www.elsitioavicola.com/articles/2482/peletizacian-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>.

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, realizado con Word.

Apéndice 2. Formato de muestreo de parámetros

[illegible]

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 3. **Formato de Inspección visual de estado de aislamiento en tuberías**

Inspección visual aislamientos



| Inspecciones | Áreas | | | |
|--|--------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Cuarto de Calderas | Tanques de Condensado | Sistema 1 de Peletizado | Sistema 2 de Peletizado |
| Recubrimiento de aluminio libre de polvo acumulado | | | | |
| Estado físico del recubrimiento | | | | |
| Recubrimiento libre de grietas | | | | |
| Recubrimiento libre de corrosión | | | | |
| Estado de la fibra de vidrio | | | | |
| Aislamiento libre de fugas | | | | |
| Tuberías con aislamiento completo | | | | |
| Tuberías libres de penetración de agua | | | | |
| Estado de los soportes de tuberías | | | | |

Comentarios:

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 4. Inspección visual a líneas de vapor

Inspección visual



| Inspecciones | Áreas | | | |
|--|--------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|
| | Línea de vapor CPM | Línea de vapor Paladin 600B | Línea de vapor Paladin 1200D | Línea de vapor G7 |
| Recubrimiento de aluminio libre de polvo acumulado | | | | |
| Estado físico del recubrimiento | | | | |
| Recubrimiento libre de grietas | | | | |
| Recubrimiento libre de corrosión | | | | |
| Estado de la fibra de vidrio | | | | |
| Aislamiento libre de fugas | | | | |
| Tuberías con aislamiento completo | | | | |
| Tuberías sin fugas | | | | |
| Trampas de vapor sin fugas | | | | |

Comentarios:

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 5. Rutina de mantenimiento a calderas

Inspección visual



| Evaluación Caldera Cleaver | Punto a chequear | Mecánico | Tiempo empleado | Observaciones |
|----------------------------|--------------------------------|----------|-----------------|---------------|
| Inspección | Verificar válvula de seguridad | | | |
| Inspección | Temperatura de trabajo | | | |
| Inspección | Presión de trabajo | | | |
| Inspección | Estado de llaves de purga | | | |
| Inspección | Presión de combustible | | | |

Comentarios:

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 6. inspección visual a trampas de vapor

Formato de fugas



| Fugas Detectadas | | |
|------------------|----------------|------------------------|
| Sistema | Tipo de trampa | Descripción de la fuga |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Comentarios:

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 7. Inspección visual acondicionadores




Formato de inspección visual

| Evaluación | Punto para chequear | Mecánico | Tiempo empleado | Observaciones |
|------------|---------------------------------|----------|-----------------|---------------|
| Inspección | Estado de aislamiento térmico | | | |
| Inspección | Fugas | | | |
| Inspección | Manifold de vapor | | | |
| Inspección | Presión de vapor | | | |
| Inspección | Válvulas reguladoras de presión | | | |

Comentarios:

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.


Apéndice 8. Termografía a líneas de vapor

| | | | | | | |
|---------------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------|---|-------------------|------------------------|
| RUTINA SEMANAL | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO | |  | | |
| FECHA DEL: | | AL: | | | | |
| TEST DE TERMOGRAFIA A LINEAS DE VAPOR | | | | | | |
| | MENSUAL | TIEMPO | TEMPERATURA RECOMENDADA | TEMPERATURA DE OPERACION | MECANICO ASIGNADO | OBSERVACIONES |
| # | | | | | | |
| 1 | *Sistema de Control de Vapor 625 | | | | | |
| 2 | *Sistema de Control de Vapor 728 | | | | | |
| 3 | *Sistema de Control de Vapor 1021 | | | | | |
| 4 | *Sistema de Control de Vapor Paladin 1040 | | | | | |
| 5 | *Sistema de Control de Vapor Post-Acond. # 1050 | | | | | |
| | | A | Proceso Normal | B | Poner atencion | C Corregir anormalidad |

Comentarios:

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.


Apéndice 9. Termografía a trampas de vapor

| RUTINA SEMANAL | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO | | | |  |
|--|---|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|---|
| FECHA DEL: | | AL: | | | | |
| TEST DE TERMOGRAFIA A TRAMPAS DE VAPOR | | | | | | |
| # | MENSUAL | TIEMPO | TEMPERATURA RECOMENDADA | TEMPERATURA DE OPERACION | MECANICO ASIGNADO | OBSERVACIONES |
| 1 | *Sistema de Control de Vapor 625 | | | | | |
| 2 | *Sistema de Control de Vapor 728 | | | | | |
| 3 | *Sistema de Control de Vapor 1021 | | | | | |
| 4 | *Sistema de Control de Vapor Paladin 1040 | | | | | |
| 5 | *Sistema de Control de Vapor Post-Acond. # 1050 | | | | | |
| | | A | Proceso Normal | B | Poner atencion | C Corregir anomalidad |

Comentarios:

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 10. Termografía a válvulas de reguladoras

| RUTINA SEMANAL | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO | | | |  |
|---|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|---|
| FECHA DEL: | | Al: | | | | |
| TEST DE TERMOGRAFIA A VALVULAS REGULADORAS DE VAPOR | | | | | | |
| # | MENSUAL | TIEMPO | TEMPERATURA RECOMENDADA | TEMPERATURA DE OPERACION | MECANICO ASIGNADO | OBSERVACIONES |
| 1 | *Reguladora de vapor Peletizadora CPM | | | | | |
| 2 | *Reguladora de vapor Paladín 600B | | | | | |
| 3 | *Reguladora de vapor Paladín 1200D | | | | | |
| 4 | *Reguladora de vapor Feed Max G7 | | | | | |
| | | A | Proceso Normal | B | Poner atencion | C Corregir anomalidad |

Comentarios:

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 11. Rutina de ultrasonido para líneas de vapor

Fugas detectadas por ultrasonido



| Rutina de ultrasonido | | |
|--------------------------------|-----------|------------------------|
| Sistema | Ubicación | Descripción de la fuga |
| Sistema de vapor CPM | | |
| Sistema de vapor Paladin 600B | | |
| Sistema de vapor Paladin 1200D | | |
| Sistema de vapor G7 | | |

Comentarios:

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 12. Matriz de consistencia de sistematización de la investigación

| TITULO: Diseño de un plan de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor para mejorar la eficiencia en el proceso de peletizado en Agribands Purina de Guatemala S.A. | | | | |
|--|--|--|---|--|
| | OBJETIVOS | RESULTADOS | CONCLUSIONES | RECOMENDACIONES |
| G E N E R A L | Diseñar un plan de mantenimiento predictivo a las líneas de vapor para mejorar la eficiencia en el proceso de peletizado en Agribands Purina de Guatemala S.A. | Aprovechamiento del tiempo de mantenimiento preventivo programado paso de 61% a 93% en ejecución disminuyendo de esta manera gran tiempo perdido por paros correctivos. | El diseño del plan de mantenimiento predictivo fue exitoso, ya que los paros se disminuyeron considerablemente y el aumento en la eficiencia en el proceso de peletizado se vio reflejada en el aumento de rendimiento de las peletizadoras por trabajar de forma continua. | A todos los investigadores interesados en el tema o parecido, se les recomienda consultarlo ya que los objetivos planteados fueron alcanzados y con muy buenos resultados, desarrollando al personal y mejorando el proceso de peletizado. |
| E S P E C I F I C O S | Identificar como se realiza el proceso de mantenimiento en las líneas de vapor del proceso de peletizado | Fortalezas: trabajo programado por supervisor de mantenimiento y se realiza con la programación de tiempo de producción para evitar paros prolongados. Debilidad el alcance del programa de mantenimiento de las líneas de vapor es solo de forma preventiva y de inspección visual. | La ejecución del programa de mantenimiento preventivo a las líneas de vapor era de poco alcance lo cual originaba que las fallas fueran con tiempos considerables y que afectaban al proceso de peletizado. | La empresa debe tener un control sobre la ejecución de los trabajos, manteniendo la prioridad de trabajos para que se vayan realizando de acuerdo a las necesidades de seguridad y proceso. |
| | Analizar los parámetros en las líneas de vapor que se deben considerar en el plan de mantenimiento predictivo. | Se encontraron los parámetros que impactan en el funcionamiento de las líneas de vapor son la presión de trabajo de las calderas, temperatura del agua de alimentación y gases de chimenea. | Los parámetros analizados demuestran la influencia en el vapor, un cambio significativo en sus valores puede dar un indicio de que hay algún problema o daño en el sistema de vapor y disminuyendo la eficiencia el proceso de peletizado. | Se debe tener un control y monitoreo de los parámetros de operación para que el proceso de peletizado no se vea afectado por el suministro de vapor de mala calidad. |
| | Determinar los beneficios de la utilización de un mantenimiento predictivo en las líneas de vapor del proceso de peletizado. | Los beneficios obtenidos son un 32% de reducción de horas, disminución en los consumos de agua y diesel. La reducción de horas extras es el reflejo del funcionamiento del plan de mantenimiento predictivo. | El diseño de plan de mantenimiento fue desarrollado de manera correcta mostrando logrando ahorros en paros y horas extras, aprovechando la fortaleza de personal de experiencia y de capacidad de organización para trabajar en equipo. | La empresa debe mantener a los empleados con el sentido de pertenencia para que ellos vean la importancia de los beneficios que puede traer un cambio en un plan o programa y los hagan sentir que ellos son un pilar importante para el desarrollo de todo proceso. |

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.