



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO
MONITOREO BAJO CONDICIÓN, PARA DETECCIÓN DE CAUSAS DE FALLAS EN LA
TUBERÍA DE SOBRECALENTAMIENTO DE LA CALDERA EN UNA PLANTA EXTRACTORA
DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**

Sergio Mauricio Peralta Pinto

Asesorado por el Msc. Hugo René de León

Guatemala, marzo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO
MONITOREO BAJO CONDICIÓN, PARA DETECCIÓN DE CAUSAS DE FALLAS EN LA
TUBERÍA DE SOBRECALENTAMIENTO DE LA CALDERA EN UNA PLANTA EXTRACTORA
DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO MAURICIO PERALTA PINTO
ASESORADO POR EL MSC. HUGO RENÉ DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MARZO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford de Hernández
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 LA INVESTIGACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO MONITOREO BAJO CONDICIÓN, PARA DETECCIÓN DE CAUSAS DE FALLAS EN LA TUBERÍA DE SOBRECALENTAMIENTO DE LA CALDERA EN UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 20 de febrero de 2013.



Sergio Mauricio Peralta Pinto

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142

AGS-MIMPP-0003-2013

Guatemala, 20 de febrero de 2013.

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

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Sergio Mauricio Peralta Pinto** con carné número **2005-15988**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería en Mantenimiento**.

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

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

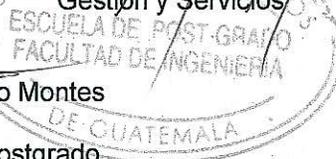
Msc. Ing. Hugo René de León de León
Asesor (a)

Hugo René De León
INGENIERO MECANICO
COLEGIADO No. 5699

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado

Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Coordinador de Área
Gestión y Servicios

César Akú Castillo MSc.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 4,073



Cc: archivo
/la



REF.DIR.EMI.097.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO MONITOREO BAJO CONDICIÓN, PARA DETECCIÓN DE CAUSAS DE FALLAS EN LA TUBERÍA DE SOBRECALENTAMIENTO DE LA CALDERA EN UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Mauricio Peralta Pinto**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAN A TODOS”


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



Guatemala, marzo de 2013.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO MONITOREO BAJO CONDICIÓN, PARA DETECCIÓN DE CAUSAS DE FALLAS EN LA TUBERÍA DE SOBRECALENTAMIENTO DE LA CALDERA EN UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Mauricio Peralta Pinto**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, marzo de 2013

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme a lo largo de mi vida la guía para dar los pasos correctos al avanzar a través de ella.
- Mi madre** Zoila Pinto, quien con su sacrificio y amor de madre me dio todo lo necesario para alcanzar mis metas
- Mi padre** Fidel Peralta, por estar pendiente de mí y los consejos que me brindó.
- Mi hijo** Leandro Gabriel Peralta, por ser la gran alegría de mi vida y una importante influencia en el logro de mis aspiraciones.
- Mis abuelos** Hernán Pinto, Catalina Monroy, por ser como unos segundos padres para mi, darme sabios consejos y por su apoyo incondicional. Georgina Díaz (q.e.p.d.), Fidelino Peralta (q.e.p.d.), que durante el tiempo que compartí con ellos siempre me brindaron lo mejor de sí.
- Mis hermanos** Fidel Peralta, Brenda Peralta de Morales y Julio Morales, por el cariño que siempre me han profesado, y el apoyo que me dieron en los momentos más difíciles de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Msc. Ing. Hugo René de León

Por el tiempo y la dedicación que me brindó durante el proceso de realización del trabajo de graduación.

Ing. Edgar Ricardo Juárez

Por compartir sus conocimientos y el tiempo proporcionado a este trabajo de graduación.

Mi familia

Primos, tíos, sobrinos, por respaldarme siempre y darme ánimo para poder seguir adelante.

Mis compañeros

Ingenieros Otto Lantán y Julio Zambrano, por la amistad y apoyo que me proporcionaron desde inicios de la carrera, así como la asesoría que me brindaron en este trabajo de graduación.

Mis amigos

Por estar siempre apoyándonos y por los momentos compartidos durante todos los años de nuestra amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2. OBJETIVOS	5
4. JUSTIFICACIÓN	7
4.1. Alcances	8
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
6. MARCO TEÓRICO	13
6.1. Definición de mantenimiento	13
6.2. Indicadores	16
6.3. Calderas	17
6.3.1. Clasificación de las calderas.....	18
6.4. Caldera de biogás.....	19
7. CONTENIDO DEL INFORME	23

8.	MÉTODOLOGÍA	27
9.	CRONOGRAMA.....	29
10.	RECURSOS	31
11.	BIBLIOGRAFÍA	33

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Cronograma de actividades	30
----	---------------------------------	----

TABLAS

I.	Especificaciones de la caldera	19
II.	Composición del combustible de caldera	20
III.	Parámetros de medición en la caldera	20
IV.	Recursos a utilizar.....	31

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
\$	Dólar
%	Porcentaje
Q	Quetzal
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

Acutobular	Es el tipo de caldera en la que el fluido de trabajo se desplaza por tubos durante su calentamiento.
Bagazo	Es el residuo de material que se obtiene después de extraído su jugo.
Biogás	Es un gas que se obtiene mediante procesos de descomposición de restos orgánicos (basuras, vegetales) en las plantas de tratamiento de estos.
Caldera	Es un dispositivo diseñado para calentar agua mediante el uso de combustible para luego distribuir a los emisores mediante una red de tuberías.

Cromatografía

Se encarga de medir los cambios en las propiedades de los lubricantes, como pH, punto de inflamación, viscosidad, contenido de agua y otros.

Espectrométrico

Análisis empleado para detectar la presencia y la cantidad de contaminantes en el aceite, para determinar la presencia de elementos metálicos y no metálicos que pueden estar relacionados con la composición de diversas partes de la máquina.

Humotubular

Caldera en la cual los productos de la combustión pasan por los tubos que a su vez por transmisión, calientan el agua que los rodea contenido en el cuerpo de la caldera.

KPI's

Miden el nivel de desempeño de un sistema, indicando el rendimiento de los procesos, para alcanzar el objetivo deseado.

RESUMEN

La planta extractora de aceite de palma africana ubicada en Tiquisate, Escuintla lleva 4 años de estar en funcionamiento. A través de los años ha logrado posicionarse como una importante extractora y distribuidora de materia prima para el posterior refinamiento de aceite vegetal para diversas empresas del ramo.

Durante los cuatro años que tiene de funcionar la planta, se han presentado paros por fallas en diversas secciones del área de caldera, siendo de los más frecuentes los que se presentan en el área de la tubería de sobrecalentamiento de la caldera.

El desarrollo del proyecto de investigación busca diseñar un sistema que permita detectar las causas de las fallas en la tubería de sobrecalentamiento, así como realizar un proceso que alcance predecir cuándo dicha tubería está por fallar.

Al mismo tiempo, el proyecto conlleva estructurar un programa que permita darle control y seguimiento al sistema por diseñar, con la finalidad de reducir los costos por paros emergentes, realizando además un análisis costo-beneficio, entre subcontratación del monitoreo de condición versus la adquisición del equipo por parte de la empresa y el costo actual de mantenimiento.

El sistema se estructurará bajo las Normas ASTM para ensayos no destructivos así como Normas ISO 18000 para seguridad industrial en el mantenimiento de la tubería.

Cada uno de los procedimientos antes mencionados, será llevado a cabo dentro de la planta de producción de la empresa, utilizando recursos propios para la investigación en un período de tiempo de diez meses a partir del inicio del levantamiento de información.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de aceite de palma africana es una de las principales actividades agroindustriales del municipio de Tiquisate, Escuintla y por consiguiente, una de sus principales actividades económicas. Esta producción requiere de un delicado proceso desde la siembra hasta el proceso final, pasando por el corte y extracción, para la cual existe una planta extractora en el lugar, en la cual el área de calderas es una de las secciones más delicadas del proceso de extracción.

Para mantenimiento de clase mundial existen dos tipos de mantenimiento: el emergente que es el que ocurre cuando el equipo ha fallado y provocado un paro de emergencia en la planta el cual puede costar mucho dinero a la empresa, y el mantenimiento planificado que sea realiza de acuerdo a paros programados, rutinas de mantenimiento preventivo, monitoreo bajo condición, técnicas de ensayos no destructivos, entre otras actividades para reducir los riesgos de fallas en los equipos.

El monitoreo de condición se basa en realizar evaluaciones periódicas a los equipos y activos fijos de una empresa o entidad para prevenir fallas en éstos. Inicialmente se realizaba a través de los sentidos del ser humano siendo esto un tipo de evaluación un tanto subjetiva puesto que dependía de la percepción que poseía el ser humano, el cual por su naturaleza tiende a cometer errores. Actualmente existen diversas tecnologías de diagnóstico utilizadas.

En el primer capítulo se describirá la actividad productiva de la planta así como las generalidades del mantenimiento, de igual manera la conceptualización, clasificación y descripción de calderas.

En el segundo capítulo se analizará la situación actual en material de mantenimiento en la empresa y específicamente en la tubería de sobrecalentamiento de la caldera de la empresa,

En el tercer capítulo se realizará la evaluación al programa de mantenimiento, realizando un análisis de fallas, la selección de los indicadores para las inspecciones propuestas en el programa de mantenimiento predictivo y por último la definición de las técnicas de monitoreo de condición a utilizar en el programa.

En el cuarto capítulo se realizará la propuesta del plan de mantenimiento predictivo para el monitoreo de la tubería de sobrecalentamiento de la caldera, analizando los distintos que afectaran la propuesta se definirá el recurso humano a utilizar así como el equipo de seguridad industrial y los procedimientos a seguir. Se realizará la programación del mantenimiento mediante uso de cronogramas y las técnicas a utilizar en el plan.

Por último en el capítulo cinco se implementarán los sistemas para el seguimiento y mejora del plan, mediante la realización de fichas de control y seguimiento y medición de parámetros así como definición de diagramas de flujo de las actividades y cronograma de actividades.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala la elaboración, exportación y consumo de los productos agroindustriales es la actividad económica predominante en el país, principalmente en la costa sur.

La extracción de aceite de palma africana requiere de un delicado proceso desde su cosecha y disposición en el patio de la planta, pasando por el pesado de la fruta, control de calidad, esterilizado de la fruta, el desfrutado, la digestión, el prensado, la clarificación y por último la etapa de palmisteria previo a su disposición en ruta hacia sus subproductos. Esto hace que el funcionamiento de calderas que generan vapor sea óptimo tanto para el funcionamiento de la planta como para la principal etapa en este tipo de industrias la cual consiste en la esterilización del fruto de palma africana.

La planta extractora a analizar se encuentra ubicada en la costa sur, específicamente en el departamento de Escuintla. La caldera inició su funcionamiento el 24 de agosto de 2009, por lo que tiene aproximadamente tres años de funcionar durante este tiempo se han registrado paros emergentes por fallas en la caldera lo que retrasa entre una y cinco horas el proceso de producción lo que le ocasiona pérdidas económicas en la planta.

En este período de tiempo el departamento de mantenimiento ha trabajado con base a los paros emergentes ocasionados por fallas, o reparando fugas visibles presentadas en la planta.

En la agroindustria, específicamente en la industria azucarera, se han realizado estudios sobre el incremento de la disponibilidad en las calderas mediante la implementación de técnicas de monitoreo de condición (Quan Hidalgo, 2011), en este caso de análisis de vibraciones, en donde se determinó que en un período de 14 meses antes y 14 meses después de aplicar el análisis de vibraciones como mantenimiento predictivo, y la corrección de fallas en campo, existe un incremento en la disponibilidad del ventilador de tiro inducido del 4 %. (Quan Hidalgo, año 2011)

Así también se han implementado en industrias como la cementera programas de mantenimiento predictivo, mediante técnicas de monitoreo de condición en este caso mediante la inclusión de un Manual de operación, diseño, propuesta e implementación del programa de monitoreo de condición en la Planta San Miguel. (Luis Alfonso Grijalva García, año 2004)

En la planta se han realizado actividades de monitoreo de condición como parte de un seguro que se paga, en donde se han evaluado las condiciones de la caldera y detectado algunos problemas, sin embargo estas evaluaciones no son periódicas y únicamente se hacen como requisito para poder cumplir con el seguro.

3. OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de monitoreo de condición para la prevención de fallas en la tubería de sobrecalentamiento de la caldera de una planta extractora de aceite de palma africana.

Específicos

1. Analizar la causa raíz de las fallas en la tubería de sobrecalentamiento de la caldera.
2. Establecer en qué medida se puede reducir la cantidad de paros emergentes producto de las fallas frecuentes en la caldera.
3. Establecer un sistema de monitoreo bajo condición que facilite la detección de fallas en la tubería de sobrecalentamiento de la caldera.
4. Crear un historial de fallas y su periodicidad que permita facilitar su seguimiento.
5. Establecer los procedimientos a seguir para el control y seguimiento del plan de monitoreo de condición en la caldera.

4. JUSTIFICACIÓN

La planta extractora de aceite de palma africana en su área de calderas tiene un tiempo medio entre fallas considerablemente aceptable. Actualmente no opera al 100% y constantemente ha presentado fallas en su funcionamiento. Cada vez que la caldera falla existe un sistema de *bypass* con un generador diesel que hace que la planta siga funcionando, sin embargo, se estima que por hora este consume 33 galones de diesel estando funcionando dicho generador hasta 7 horas consumiendo cerca de 231 galones de combustible, sin embargo, tiene un tiempo medio de reparación considerablemente alto lo que ocasiona pérdidas en producción estimadas en \$ 12,000.00. dólares por hora debido al tiempo que ésta se queda sin producir, así también los costos de reparación son altos.

La importancia del diseño e implementación del programa de mantenimiento predictivo, específicamente en monitoreo basado en la condición de la tubería de sobrecalentamiento de la caldera se reducirán los costos de reparación, así como el tiempo de reparación para que la planta permanezca el menor tiempo posible parada y así afectar en lo mínimo a producción.

Así también se disminuirán los costos adicionales tal es el caso del consumo de combustible derivado del petróleo así como el costo de oportunidad por permanecer improductivos. Se asegurará la disponibilidad de la caldera disminuyendo las pérdidas en producción e incrementando la productividad en la planta.

4.1. Alcances

Este procedimiento se aplica a todas las áreas involucradas en el proceso productivo: bodegas, producción y mantenimiento afectando las planificaciones y los procesos que cada una de estas áreas tengan para disminuir los tiempos y costos de reparación del área de calderas, así como a ingenieros de mantenimiento en general.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta extractora de aceite de palma africana a analizar recibe, un mantenimiento de tipo preventivo, el cual tiene sus limitantes, esto debido a que no existe un mecanismo que predice las fallas que esta pueda presentar sino únicamente se aplica el mantenimiento como una reacción a fallas que empiezan a ser visibles o evidentes.

En el área a analizar se identifica la siguiente problemática:

- La falta de un historial de las fallas que se han presentado en la tubería de sobrecalentamiento de la caldera así como en otras áreas dificulta los trabajos de mantenimiento, ya que, al no saber los tipos de falla que se presentan así como sus posibles causas y la forma de corregir y prevenir la falla, estos trabajos suelen durar más tiempo de lo necesario.
- Existen paros emergentes frecuentes lo que perjudica el óptimo funcionamiento de la planta la cual trabaja durante las 24 horas del día, lo que hace crítico cada uno de los paros por las pérdidas en producción ocasionadas tanto por utilización de mano de obra y repuestos no contemplados en la planificación como por el costo de oportunidad debido a que se detiene por completo el proceso de producción, siendo las fugas en la tubería de sobrecalentamiento una las principales causas de paros emergentes lo que hace necesario una evaluación periódica a dicha sección

- La falta de un sistema de detección de fallas que permita detectar a tiempo las posibles fallas que ocasionen paros en la caldera, representa un gran problema en la planta puesto que no existe forma de determinar cuándo va a fallar y únicamente se puede actuar ya cuando la tubería ha fallado lo que suele generar pérdidas económicas y atrasos en producción.
- En la planta únicamente se han utilizado técnicas de monitoreo bajo condición cuando ha sido un requisito por pólizas de seguro, esto no muestra una evaluación real de las potenciales fallas que se puedan presentar, puesto que no son periódicas las evaluaciones.
- No existen procedimientos para controlar, dar seguimiento y mejorar las evaluaciones que se puedan utilizar para la prevención y detección de fallas.

La problemática anteriormente citada responde a una serie de interrogantes que se enumeran a continuación:

Pregunta central

- ¿Existe en la planta un sistema de monitoreo de condición para la prevención de fallas en la tubería de sobrecalentamiento de la caldera en una planta extractor de aceite de palma africana?

Otras interrogantes

- ¿Cuál es la causa raíz de las fallas en la tubería de sobrecalentamiento de la caldera?

- ¿En qué medida se puede reducir la cantidad de paros emergentes producto de las fallas frecuentes en la caldera?
- ¿Qué tipo de técnicas de monitoreo de condición que facilite la detección de fallas en la tubería de sobrecalentamiento es aplicable para la caldera?
- ¿Existe un historial real de las fallas detectadas y la periodicidad en que éstas ocurren?
- ¿Existen procedimientos en la planta para controlar y dar seguimiento al monitoreo bajo condición en la caldera?

6. MARCO TÉORICO

El mantenimiento tiene por finalidad "conservar la planta industrial con el equipo, los edificios, los servicios y las instalaciones en condiciones de cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizadas en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de uso definidos por los requerimientos de producción". (Prando, 1996)

6.1. Definición de mantenimiento

El objetivo del mantenimiento es asegurar la disponibilidad planeada al menor costo dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los fabricantes de los equipos e instalaciones y las normas de seguridad. (Prando, 1996)

De acuerdo con mantenimiento de clase mundial existen dos tipos de mantenimiento de activos en una empresa o institución: mantenimiento emergente y mantenimiento planificado. Siendo el emergente el que se realiza cuando existe una falla que ocasiona paros no programados en las plantas, mientras el mantenimiento planificado se divide en mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo. En el primero se realizan actividades de: reparaciones y modificaciones mientras en el segundo se trabajan: servicios, reemplazos y monitoreo de condición.

La confiabilidad puede ser definida como la "confianza" que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante

un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas. (J.R., 2001)

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un período de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos. (H. Mesa Dairo, 2006)

La disponibilidad se puede definir como la probabilidad de un sistema de estar en funcionamiento o listo para funcionar en el momento requerido (Abella, 2003), en otras palabras, disponibilidad es, tener al equipo listo en el momento requerido.

El monitoreo de condición como técnica de mantenimiento proactivo de forma similar el mantenimiento predictivo, se enfoca también a los efectos o síntomas de las fallas, utilizando distintas técnicas para monitorear el rendimiento de los equipos a través de la medida y seguimiento de determinados parámetros físicos, para lograr anticiparse a la falla. (Altman)

Existen diversas tecnologías de diagnóstico utilizadas en un monitoreo de condición entre las que se pueden mencionar:

Análisis de vibraciones: las técnicas para el análisis de vibraciones se utilizan para vigilar el rendimiento del equipo mecánico que gira, realiza movimiento recíprocante o tiene otras acciones dinámicas, por ejemplo: motores, engranes, bombas, ventiladores, turbinas, transmisiones de banda o cadena, compresores, generadores, transportadores, entre otros. Los tipos de

análisis de vibraciones más comunes son: el análisis de vibraciones de banda, que monitorea de manera general a la máquina, útil para determinar tendencias; análisis de vibraciones de banda octava, útil para establecer rangos para compararlos con valores predeterminados; análisis de vibraciones de banda estrecha, que determina el área específica del problema y su causa. (Cámara, 2012)

Análisis de lubricantes: existen distintas técnicas para el análisis del aceite de una máquina entre estos: ferrografía, que examina las partículas de desgaste con base de hierro en los aceites lubricantes para determinar tipo y grado de desgaste; análisis espectrométrico, mide la presencia y cantidad de contaminantes en el aceite para determinar la presencia de elementos metálicos y no metálicos que pueden estar relacionados con la composición de diversas partes de la máquina; la cromatografía mide los cambios en las propiedades de los lubricantes, como pH, punto de inflamación, viscosidad, contenido de agua y otros. (Cámara, 2012)

Termografía: se utiliza comúnmente para medir la temperatura superficial mediante la medición de radiación infrarroja para determinar conexiones eléctricas deficientes y puntos peligrosos, desgaste del refractario en hornos, y sobrecalentamientos críticos en componentes de calderas y turbinas. (Cámara, 2012)

Ultrasonido: existen distintas técnicas para pruebas de ultrasonido, todas ellas con la finalidad de determinar fallas o anomalías en soldaduras, recubrimientos, tuberías, tubos, estructuras, flechas, entre otras. (Cámara, 2012)

Monitoreo de efectos eléctricos: existen varias pruebas para determinar la corrosión utilizando un circuito eléctrico sencillo, dispositivos como el corrotor utilizan el método de polarización electroquímica en un recipiente con un líquido corrosivo. El corrotor utiliza la resistencia eléctrica a través de una varilla insertada en el entorno activo. Los dispositivos más comunes utilizados para monitorear o probar los motores o generadores son los generadores de voltaje, incluyendo fusionadores, éstos miden la resistencia del aislamiento y aplican un voltaje de prueba que va de 250 a 10000 voltios. (Cámara, 2012)

Líquidos penetrantes: Se utilizan para detectar grietas y discontinuidades en superficies provocadas en la manufactura por desgaste, fatiga, procedimientos de mantenimiento y reparación general, corrosión o desgaste general por agentes atmosféricos. Se aplica el penetrante y se permite que penetre en anomalías. (Cámara, 2012)

6.2. Indicadores

Tiempo medio entre fallas: Es la relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, en esos ítems en el período observado. (Tavares, 1999)

$$TMEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{\sum NTMC}$$

Tiempo medio entre reparaciones: es la relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado. (Tavares, 1999)

$$TMPR = \frac{\sum HTMC}{NTMC}$$

Tiempo medio por falla: es la relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado. (Tavares, 1999)

$$TMPF = \frac{\sum HROP}{NTMC}$$

Costo de Mantenimiento en relación a producción: es la relación entre el costo total de mantenimiento y la producción total en el período. (Tavares, 1999)

$$CMOE = \frac{\sum CMOC}{\sum (CMOC + CMOP)} \times 100$$

6.3. Calderas

La generación de vapor para el accionamiento de las turbinas se realiza en instalaciones generadoras comúnmente denominadas calderas. (uba, 2012)

Los sistemas de generación de vapor tienen como elemento principal la caldera de vapor que es considerada como un sistema, pero además, para su funcionamiento requieren de un sistema de suministro de agua y otro de suministro de combustible que son sistemas auxiliares o de apoyo para el trabajo de la caldera. Estos tres subsistemas cumplen funciones diferentes dentro del sistema de generación de vapor por lo que para la identificación de peligros con vistas a garantizar una sistematicidad en los análisis que evite omisiones importantes estos sistemas se tratan de manera diferente (Mayra de

la C. Troncoso - Fleitas, 2011), la instalación comprende no sólo la caldera propiamente dicha, sino, además, componentes principales y accesorios tales como:

- Economizadores y chimeneas
- Sobrecalentadores y recalentadores
- Quemadores y alimentadores de aire
- Condensadores
- Bombas y tanques de alimentación

En la caldera propiamente dicha se produce el calentamiento, la evaporación y posiblemente el recalentamiento y sobrecalentamiento del vapor. La caldera puede incluir en su estructura alguno de los componentes citados. (uba, 2012)

6.3.1 Clasificación de las calderas

- El pasaje de fluidos, en humotubulares o acuotubulares
- El movimiento del agua, de circulación natural o circulación forzada
- La presión de operación, en subcríticas y supercríticas

Las calderas primitivas consistían en un gran recipiente lleno de agua que era calentado por un fuego en su parte inferior. El gran volumen de agua en estado de ebullición generaba fácilmente situaciones de gran riesgo al excedérsela presión máxima admisible. (uba, 2012)

Para aumentar la superficie de contacto gas-metal, y disminuir la cantidad de agua en ebullición se crearon primero las calderas humo-tubulares, en las que los gases de combustión circulan por tubos inmersos en el agua. (uba, 2012)

A los sistemas de generación de vapor en las diferentes entidades se les da la atención en correspondencia con el grado de cultura de seguridad que se tenga en la misma. (Mayra de la C. Troncoso - Fleitas, 2011)

La cultura de seguridad en instalaciones, cuya función principal es dar servicio como es el caso de hospitales, hoteles, cocinas para grandes comedores, es muy inferior, es decir, mucho más débil o inexistente con respecto a las instalaciones destinadas a la producción.

6.4. Caldera de biogás

La planta extractora de aceite de palma africana posee una generadora de energía la cual utiliza biogás aprovechando el bagazo generado durante el proceso de extracción del aceite para quemarlo y utilizarlo como combustible.

Tabla I. **Especificaciones de caldera**

Presión máxima de Seguridad	35 bares, 3.1 n/mm
Temperatura de diseño	275 ⁰ C
Temperatura de Saturación	240.9 ⁰ C
Temperatura de Operación	237.4 ⁰ C
Área de Superficie de Calefacción	596m ²
Test de presión Hidrostática	5.1 N/mm, 739.5 psi
Temperatura de Sobrecalentamiento	284 ⁰ C
Área Horno	131 m ²

Fuente: Manual de Operaciones de la Caldera. p 1.

Tabla II. **Composición del combustible de caldera**

Compuesto	Porcentaje	Poder Calorífico
Fibra	80%	1000
Cáscara	15%	2500
Almendra	5%	5000

Fuente: Manual de operaciones de la caldera. p 2.

Tabla III. **Parámetros de medición en la caldera**

Parámetro	Rango de aceptación de acuerdo a Norma (en Partes por Millón)
DZA	0
SiO ₂	120-124
SO ⁻³	15-30
POH ⁻⁴	10-20
Alc D	600-900
Alc T	700-950
OH	600-850
STD	750-2000
pH	10.5-11.5
Fe	0.01-0.1

Fuente: Manual de operaciones de la caldera. p 2.

La caldera utiliza bagazo como combustible, dicho bagazo debe poseer un máximo de humedad del 33% puesto que al incrementarse dicha humedad éste ya no enciende, es decir, pierde parte de su combustibilidad. Se estima que su consumo de combustible es de 6 toneladas de bagazo por hora.

Cuenta con tres ventiladores: el secundario: el cual es el que oxigena la caldera, el forzado: que es el que saca la ceniza, y el de tiro inducido: el cual es el que succiona los gases de la combustión.

Los principales riesgos que se puedan analizar en los sistemas que componen el sistema de generación de vapor son los siguientes:

Sistema de suministro de agua:

- Tratamiento del agua de alimentar la caldera
- Flujo de agua
- Nivel de agua en el tanque de almacenamiento

Sistema de suministro de combustible

- Suministro de gas a los quemadores
- Suministro de combustible a los quemadores
- Nivel en tanque de almacenamiento de combustible
- Fugas

Caldera de vapor

- Nivel de agua en la caldera
- Calidad del vapor a la salida de la caldera (humedad)

- Temperatura en la caldera
- Trabajo del quemador

7. CONTENIDO DEL INFORME

ÌNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIOS

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÒN

DEFINICIÒN DEL PROBLEMA

METODOLOGÍA

CAPÍTULO 1

1. DISPOSICIONES GENERALES

1.1. Situación de la extractora

1.1.1. Generalidades de la planta

1.1.1.1. Descripción de la empresa

1.1.1.2. Misión

1.1.1.3. Visión

1.1.1.4. Antecedentes

1.1.2. Normativos

1.1.2.1. Normas ASTM para ensayos no destructivos.

1.1.2.2. Normativa para mantenimiento de caldera

1.1.2.3. ISO 18000

1.2. Conceptos de calderas

- 1.2.1. Definición
- 1.2.2. Calderas de biomasa
- 1.2.3. Partes de una caldera de biomasa
- 1.3. Conceptos de mantenimiento
 - 1.3.1. Mantenimiento de clase mundial
 - 1.3.2. Mantenimiento emergente
 - 1.3.3. Mantenimiento planificado
 - 1.3.4. Mantenimiento preventivo
 - 1.3.4.1. Programación de mantenimiento
 - 1.3.4.2. Modificaciones
 - 1.3.4.3. Monitoreo de condición
 - 1.3.4.3.1. Análisis VOSO
 - 1.3.4.3.2. Técnicas de END
 - 1.3.4.3.3. Análisis de lubricantes
 - 1.3.4.3.4. Análisis de vibraciones
 - 1.3.4.3.5. Medición de desempeño de los equipos

CAPÍTULO 2

2. SITUACIÓN ACTUAL

- 2.1. Política de mantenimiento actual
 - 2.1.1. Mantenimiento de caldera de biomasa
 - 2.1.2. Paros programados
- 2.2. Análisis de laboratorio
- 2.3. Parámetros establecidos por fabricante

- 2.4. Determinación de fallas en la tubería de sobrecalentamiento

CAPÍTULO 3

3. EVALUACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

- 3.1. Análisis de fallas.
 - 3.1.1. Análisis Causa-Raíz.
 - 3.1.2. Tipos de fallas más recurrentes
- 3.2. Determinación de KPI's
 - 3.2.1. Tiempo medio entre fallas
 - 3.2.2. Tiempo de paro por falla
 - 3.2.3. Número de fallas detectadas
- 3.3. Monitoreo en tubería de sobrecalentamiento de la caldera
 - 3.3.1. Niveles de corrosión en tubería
 - 3.3.2. Detección de fugas
 - 3.3.3. Otro tipo de fallas en la tubería

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

- 4.1. Propuesta de plan de mantenimiento predictivo en tubería de sobrecalentamiento en domo de caldera.
- 4.2. Programación de mantenimiento predictivo en la tubería de sobrecalentamiento del domo de caldera.
 - 4.2.1. Recurso humano
 - 4.2.2. Diseño de proceso de mantenimiento predictivo
 - 4.2.2.1. Técnicas a utilizar
 - 4.2.2.2. Cronograma anual de mantenimiento predictivo

- 4.2.3. Seguridad industrial
 - 4.2.3.1. Equipo de seguridad industrial
 - 4.2.3.2. Seguridad industrial en rutinas de mantenimiento predictivo
- 4.3. Análisis de costos
 - 4.3.1. *Outsourcing*
 - 4.3.2. Costo de mantenimiento propuesto
 - 4.3.2.1. Mano de obra
 - 4.3.2.2. Repuestos
 - 4.3.2.3. Máquinas – herramientas
 - 4.3.2.4. Costo de inventario
 - 4.3.2.5. Costo de oportunidad
 - 4.3.3. Costos de mantenimiento hecho por la empresa
 - 4.3.3.1. Capacitación y certificación de personal
 - 4.3.3.2. Adquisición de equipo

CAPÍTULO 5

5. SEGUIMIENTO

- 5.1. Flujograma de procedimiento de control y evaluación
- 5.2. Medición de indicadores
- 5.3. Control de evaluaciones

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

8. METODOLOGÍA

Fase 1: levantamiento de información y formulación de análisis de causa raíz de las fallas: En esta fase se realizará un levantamiento de información considerando los siguientes aspectos:

Objeto de estudio: caldera de la planta extractora de aceite de palma africana.

Población: el total de PMR's (Rutinas de mantenimiento preventivo) que se realizarán con la implementación del sistema.

Muestra: la cantidad (por determinar) de inspecciones que se realizarán a la caldera por cada herramienta de monitoreo de condición a emplear a emplear en el plan.

Fase 2: en esta fase se determinarán los procedimientos para evaluar los tiempos de duración de falla, tiempos entre falla, costos, entre otros rubros con base al análisis causa raíz de la primera fase, realizando trabajos de:

- Determinación de KPI's a utilizar de acuerdo al levantamiento de información que se hizo en la fase 1.
- Herramientas de monitoreo de condición a utilizar, se seleccionarán las técnicas más apropiadas para la evaluación de la tubería.

- Equipos a considerar para plan de mantenimiento predictivo específicamente para uso en termografía, líquidos penetrantes, ultrasonido entre otros, con base a las técnicas de monitoreo de condición seleccionadas.

Fase 3: en la tercera fase se realizará la propuesta del plan de mantenimiento predictivo en la tubería de sobrecalentamiento de la caldera, así también se realizarán las evaluaciones respectivas y los análisis para determinar la periodicidad de los estudios así como los resultados obtenidos, por último se realizarán pruebas con base a las herramientas utilizadas para el monitoreo de condición en el mantenimiento preventivo, proponiendo la creación de KPI's para medir el rendimiento del plan de mantenimiento propuesto.

Fase 4: en la cuarta fase, se realizará la implementación del plan propuesto, así también se dejarán los lineamientos para los programas de:

- Capacitación a personal
- Programación de plan de mantenimiento productivo.

Fase 5: por último se crearán los formatos para el control y seguimiento al programa a proponer, así como también se dejarán bases para el mejoramiento del programa.

9. CRONOGRAMA

Durante el trabajo de campo de este trabajo de investigación se desarrollaran las siguientes actividades:

- Recorrido para análisis preliminar
- Análisis de gestión de mantenimiento actual en la caldera
- Levantamiento de información
- Determinación de KPI's a utilizar
- Herramientas de monitoreo de condición a utilizar
- Equipos a considerar para plan de mantenimiento predictivo específicamente para uso en termografía, líquidos penetrantes, entre otros.
- Propuesta de Plan
- Pruebas a plan propuesto
- Capacitación a personal
- Programación de plan de mantenimiento productivo
- Implementación de plan propuesto

Figura 1. **Cronograma de Actividades**

ACTIVIDAD	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10
Recorrido preliminar	■									
Análisis de gestión de mantenimiento actual	■	■								
Levantamiento de información		■	■	■						
Determinación de KPI's a utilizar			■							
Herramientas de monitoreo de condición			■	■	■					
Determinación de equipo a utilizar				■	■					
Propuesta de plan					■	■	■			
Pruebas a plan propuesto						■	■			
Capacitación de personal /cotización de servicio							■	■	■	
Programación de plan de mantenimiento predictivo								■	■	
Implementación de propuesta									■	■

Fuente: Elaboración propia

10. RECURSOS

Durante la investigación de campo del presente trabajo se utilizarán los recursos abajo citados:

Tabla IV. Recursos a utilizar

RECURSOS	COSTO
Asesor	Q. 2,000.00
Estudiante	Q. 15,000.00
Contratación de pruebas	Pendiente.
Papelería y útiles de oficina	Q.1,000.00
Imprevistos	Q.1,500.00
Capacitación de Personal	Pendiente

Fuente: elaboración propia.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Abella, B. M. (2003). *Mantenimiento Industrial*. Leganés.
2. Altman, C. *Las Técnicas del Monitoreo de condición como herramienta del Mantenimiento Proactivo*.
3. Cámara, S. M. (2012). *Sistemas Mecánicos UA2. MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD*.
4. Duffua, R. D. *Sistemas de Mantenimiento Planeación y control*. (E. Limusa-Wiley, Ed.)
5. J.R., I. (2001). *Manual de Confiabilidad, Mantenibilidad y disponibilidad*. (Q. editora, Ed.)
6. H. Mesa Dairo, O. S. (2006). La Confiabilidad, La Disponibilidad y la Mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al Mantenimietno. *Scntia et Technica*, 30.
7. Mayra de la C. Troncoso - Fleitas, H. R. (2011). *El mantenimiento en la confiabilidad y disponiblidad de un sistema de generación de vapor*.
8. Prando, R. (1996). *Gestión de Mantenimiento a la Medida*. (E. P. Santa, Ed.) Guatemala. J.R., I. (2001). *Manual de Confiabilidad, Mantenibilidad y disponibilidad*. (Q. editora, Ed.)

9. Tavares, L. (1999). *Administración Moderna del Mantenimiento*. Brasil: Novo Polo Publicações de Brasil.
10. uba. (n.d.). From <http://materias.fi.uba.ar>:
<http://materias.fi.uba.ar/6720/unidad11.PDF>