



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA
DE MANTENIMIENTO, BASADO EN TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS Y LA NORMA ISO
17359 PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN No. 1 DE LA PLANTA DE JABONES DE
LAVANDERÍA**

Walter Gioveny Orellana Barrera

Asesorado por el Ing. Msc. Rudy René Carias

Guatemala, agosto de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO, BASADO EN TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS Y LA NORMA ISO 17359 PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN No. 1 DE LA PLANTA DE JABONES DE LAVANDERÍA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WALTER GIOVENY ORELLANA BARRERA
ASESORADO POR EL ING. MSC. RUDY RENÉ CARIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Helen Rocio Ramírez Lucas
EXAMINADOR	Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes
EXAMINADOR	Ing. Alex Suntecun Castellanos
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO, BASADO EN TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS Y LA NORMA ISO 17359 PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN No. 1 DE LA PLANTA DE JABONES DE LAVANDERÍA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de estudio de Postgrado, con fecha 11 de julio de 2018.



Walter Gioveny Orellana Barrera

Guatemala, 11 de julio de 2018.

Director
Juan José Peralta Dardón
Escuela de Ingeniería Mecánica 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 de la estudiante **Walter Gioveny Orellana Barrera** con carné número **9516719**, 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. Rudy René Carías
Asesor (a)

Rudy René Carías
INGENIERO MECÁNICO
COLEGIADO No. 11,125

Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
Coordinadora de Área
Gestión y Servicios

ALBA MARITZA GUERRERO SPINOLA
INGENIERA INDUSTRIAL
COLEGIADA No. 4611

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Co
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc archivo/L.Z.L.A.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación 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.



REF.DIR.EMI.094.018

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 INVESTIGACIÓN DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO, BASADO EN TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS Y LA NORMA ISO 17359 PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN No. 1 DE LA PLANTA DE JABONES DE LAVANDERÍA**, presentado por el estudiante universitario **Walter Gioveny Orellana Barrera**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, agosto de 2018.

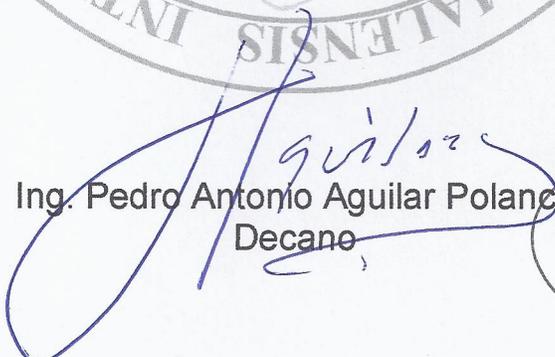


/mgp



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 INVESTIGACIÓN: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO, BASADO EN TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS Y LA NORMA ISO 17359 PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN No.1 DE LA PLANTA DE JABONES DE LAVANDERÍA**, presentado por el estudiante universitario: **Walter Giovany Orellana Barrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, julio de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la vida, la salud y la sabiduría para alcanzar mis sueños y metas.
Mis padres	Que desde el cielo me dan su bendición y su amor eterno.
Mi esposa Aury y mi hijo Ariel	Fuente de inspiración para alcanzar mis metas y superación constante.
Mis hermanos	Miguel, Guilmar y Cecilia por su amor y apoyo en todo momento.
Mis sobrinos	Que sirva de ejemplo y que nunca dejen de superarse.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser la fuente vida, fuente de iluminación, de sabiduría y ser la fortaleza en los momentos difíciles.
Mis padres	Miguel Angel Orellana y Sarai Barrera por su amor y apoyo, gracias a ellos alcanzo ésta meta, un abrazo y un beso hasta el cielo.
Mi esposa e hijo	Aury y Ariel por su amor, por su apoyo, por su comprensión y paciencia durante éste proceso.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme sus puertas y brindarme los recursos necesarios para mi carrera profesional.
Facultad de ingeniería	Por ser la fuente de aprendizaje y conocimientos para poner en práctica en la industria.
Mis amigos	Por su apoyo, amistad y consejos en ésta carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Pregunta general	10
3.2. Pregunta específica 1	10
3.3. Pregunta específica 2	11
3.4. Pregunta específica 3	11
3.5. Pregunta específica 4	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. Objetivo general	15
5.2. Objetivo específico 1	15
5.3. Objetivo específico 2	15
5.4. Objetivo específico 3	15
5.5. Objetivo específico 4	16
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17

7.	MARCO TEÓRICO.....	19
7.1.	Mantenimiento	19
7.2.	Tipos de mantenimiento	20
7.2.1.	Mantenimiento correctivo	20
7.2.2.	Mantenimiento preventivo	21
7.2.3.	Mantenimiento basado en condición (CMB)	22
7.2.3.1.	Toma de datos.....	23
7.2.3.2.	Procesamiento de datos	23
7.2.3.3.	Toma de decisiones de mantenimiento	24
7.2.3.4.	Objetivos del mantenimiento basado en condición	25
7.2.3.5.	Técnicas de monitoreo de condición ...	25
7.3.	Análisis de vibraciones	27
7.3.1.	Pasos para la aplicación del mantenimiento, basado en condición utilizando el análisis de vibraciones.....	29
7.3.2.	Técnicas de monitoreo de vibraciones.....	33
7.3.3.	Parámetros usados para medir la vibración.....	33
7.3.3.1.	Puntos de medición	36
7.3.4.	Normas para el criterio de severidad en análisis de vibraciones.....	38
7.3.5.	Causas de falla	41
7.3.5.1.	Desbalance.....	41
7.3.5.2.	Desalineación	42
7.3.5.3.	Excentricidad	43
7.3.5.4.	Rodamientos defectuosos	43
7.3.5.5.	Holgura mecánica.....	44
7.3.5.6.	Vibración debido a partes flojas.....	44

	7.3.5.7.	Vibraciones en transmisiones de fajas y poleas.....	45
	7.3.5.8.	Vibraciones por torbellino de aceite.....	46
	7.3.5.9.	Vibraciones en engranajes	46
	7.3.5.10.	Vibraciones en motores de inducción	46
7.4.		Termografía infrarroja.....	48
	7.4.1.	Tipos de termografía	50
	7.4.2.	Diagnóstico térmico.....	51
	7.4.3.	Funcionamiento del instrumento de termografía....	52
	7.4.4.	Ventajas de la termografía infrarroja	54
	7.4.5.	Cámara termográfica	55
	7.4.6.	Aplicaciones de la termografía infrarroja.....	56
	7.4.6.1.	Inspección de sistemas eléctricos	56
	7.4.6.2.	Inspección en sistemas mecánicos	58
	7.4.6.3.	Aplicaciones industriales	60
	7.4.6.4.	Otras aplicaciones	61
	7.4.6.5.	Diagnóstico de motores de inducción	62
	7.4.7.	Normativa ISO para termografía infrarroja	65
	7.4.7.1.	Norma ISO 18434-1: 2008.....	65
7.5.		Análisis de aceite.....	66
	7.5.1.	Objetivos del análisis de aceite	67
	7.5.2.	Pasos para la selección de un programa de análisis de aceite.....	69
	7.5.3.	Recomendaciones para el muestreo de aceite.....	69
	7.5.4.	Contaminación del aceite.....	71
	7.5.5.	Tipos de desgaste.....	72
	7.5.6.	Pruebas que se realizan en aceites industriales	73

7.5.7.	Análisis de aceite en cajas de engranajes	76
7.5.8.	Normativa para análisis de aceite	77
7.6.	Indicadores de gestión de mantenimiento	77
7.6.1.	Disponibilidad de equipos	78
7.6.2.	Tiempo promedio entre fallas (MTBF).....	79
7.6.3.	Tiempo medio de restauración (MTTRt)	80
7.6.4.	Tiempo medio de reparación (MTTRr).....	80
8.	ÍNDICE PROPUESTO.....	81
9.	METODOLOGÍA.....	83
9.1.	Diseño de la investigación	83
9.2.	Tipo de investigación	83
9.3.	Alcances	83
9.4.	Fases de la investigación	84
9.5.	Resultados esperados	86
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	87
11.	CRONOGRAMA.....	89
12.	RECURSOS NECESARIOS	91
12.1.	Equipo	91
12.2.	Recurso humano	91
12.3.	Recursos financieros	91
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	93
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	18
2.	Frecuencia de la vibración	34
3.	Amplitud de la vibración	34
4.	Puntos de apoyo en un equipo.....	36
5.	Puntos de unión con la cimentación.....	37
6.	Posición de sensores de medición de vibración.....	38
7.	Severidad de los equipos, a partir de su velocidad y clase	40
8.	Desalineación en máquinas	42
9.	Esquema de excentricidad en un motor	43
10.	Vibraciones por partes flojas	45
11.	Monitoreo de condiciones	51
12.	Funcionamiento de un instrumento de imágenes infrarrojas.....	52
13.	Termograma en blanco y negro y a color.....	53
14.	Cámara termográfica FLIR E40	56
15.	Imagen infrarroja de líneas de alta tensión	58
16.	Termografía de un freno de disco	60
17.	Localización de personas en la azotea de un edificio	62

TABLAS

I.	Mediciones y parámetros para diagnóstico	27
II.	Valores particulares de amplitudes de vibración	32
III.	Categoría de las máquinas, a partir de su velocidad.....	39

IV.	Pruebas de análisis de aceite y su enfoque.....	75
V.	Límites de advertencia para engranajes	76
VI.	Recursos necesarios	92

GLOSARIO

Activo	Cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja.
CMB	Mantenimiento basado en condición, se define como una programa de mantenimiento que recomienda acciones de mantenimiento, basadas en la información recolectada, a través del monitoreo de la condición.
Diagnosis	Diagnóstico de las fallas, se concentra en la localización cuando estas ocurren.
Disponibilidad	Refleja el porcentaje real de utilización de los equipos cuya magnitud al ser comparada con un nivel de referencia puede estar señalando una desviación sobre la cual se toman acciones preventivas o correctivas.
Excentricidad	Es el estado que presenta un rotor cuando la línea central-rotacional de un eje no es igual a la línea central-geométrica.
Frecuencia	Es la medida del número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo.

Indicador de gestión	Expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño de un proceso.
ISO	Organización Internacional de Normalización para la creación de estándares internacionales.
Mantenimiento correctivo	Mantenimiento que se lleva a cabo, con el fin de corregir los defectos que se han presentado en un equipo.
Mantenimiento preventivo	Son las revisiones, mediciones e inspecciones programadas en los equipos o componentes.
Mantenimiento	Conjunto de técnicas y sistemas que permiten prever las averías, efectuar las revisiones, engrases y reparaciones eficaces.
MTBF	Tiempo medio entre fallas.
MTTR_r	Tiempo medio de reparación.
MTTR_t	Tiempo medio para restaurar.
Prognosis	Pretende predecir el progreso de las fallas.
Sistema	Conjunto de equipos instalados en secuencia que conforman una sola línea de maquinaria de producción.

Termografía	Técnica que permite medir temperaturas exactas a distancia y sin necesidad de contacto físico.
Termograma	Mapa de densidades térmicas.
TTO	Tiempo total de operación en el período.
TTR	Tiempo total empleado en restaurar el equipo después de cada falla.
Vibración	Variación en el tiempo de una magnitud que describe el movimiento o posición de un sistema mecánico.
VOSO	Rutas de inspección de mantenimiento utilizando los sentidos del cuerpo (ver, oír, sentir, oler).

1. INTRODUCCIÓN

La empresa manufacturera de jabón cuenta con una planta en la cual se fabrican los jabones de lavandería en bola. En la fabricación del jabón hay dos líneas de producción. Las líneas de producción están conformadas por secciones, según la fase del proceso: mezclado, secado, área de compresoras, corte, troquelado y empaque. La maquinaria está conformada por paneles eléctricos, motores eléctricos, cajas reductoras, bombas de engranajes, bombas centrifugas y bandas transportadoras.

La planta de jabones de lavandería trabaja 24 horas durante 27 días al mes sin interrupción. Desde el año 2013 al 2017, la demanda de producción se ha incrementado 42 %, por lo que la exigencia de la disponibilidad del funcionamiento de los equipos de las líneas de producción se ha incrementado. Por lo anterior, se requiere que la gestión de mantenimiento en la planta de jabones se perfeccione y modernice las técnicas para llevar un mejor programa y monitoreo de las condiciones de operación, para evitar que los equipos fallen durante la producción.

Se trabaja con base al mantenimiento preventivo por intervalos de tiempo o frecuencia, se ejecutan tareas de tipo correctivo cuando se da la falla o cuando se detecta en el mantenimiento preventivo. No se cuenta con un programa de monitoreo de condición de los equipos ni con un programa de lubricación eficiente, no se hace análisis del aceite.

Para garantizar la disponibilidad de los equipos y un adecuado control de la ejecución de las tareas, se hará una sistematización por medio de la creación

una estrategia de mantenimiento por monitoreo de condición con rutinas de mantenimiento y planes de trabajo para los equipos de la línea de producción número uno de la planta de jabones.

La estrategia de mantenimiento por monitoreo de condición, requiere de la implementación de técnicas de inspección e interpretación de resultados. Las técnicas a implementar son el análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite. Para la implementación de las técnicas mencionadas, se utilizará como guía la Norma ISO 17359 donde se establecen los lineamientos generales, para implementar un programa de monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas.

La finalidad principal del proyecto es mantener una alta disponibilidad de los equipos que componen la línea de producción. Generar un plan de mantenimiento por condición, que garantice el control de las tareas de mantenimiento, tiempos de paro no programados y costos de mantenimiento.

El esquema con el que se trabajará para cumplir con la finalidad del proyecto será en trabajo de campo, en la obtención de los datos de tiempos de paro y número de fallas. Se revisarán reportes de las líneas de producción y de mantenimiento.

El trabajo de investigación se desarrollará en los siguientes capítulos:

En el capítulo I, se describirá el marco teórico con los conceptos de mantenimiento, mantenimiento basado en monitoreo de condición, así como la descripción de las técnicas de ensayos o pruebas no destructivas que se aplicarán en los equipos de la línea de producción No. 1. Se describirán los

lineamientos de la norma ISO 17359, se darán los conceptos de los indicadores para medir la gestión de mantenimiento.

En el capítulo II, se desarrollará la investigación, se describirá la metodología que será utilizada, así como las técnicas y el procedimiento para la implementación del mantenimiento, basado en condición. Se crearán actividades END, rutas de inspección y órdenes de mantenimiento, se definirán las frecuencias para la aplicación de cada una de las técnicas. Se obtendrá el cálculo de la disponibilidad de los equipos y tiempos de paro no programados. Se definirá cuál será el laboratorio externo encargado de los análisis de aceite.

En el capítulo III, se presentarán los resultados obtenidos en la implementación de la gestión de mantenimiento con cada una de las técnicas predictivas empleadas. Se darán a conocer los resultados del cálculo de la disponibilidad de los equipos de la línea de producción. Se expondrán los resultados de los análisis de aceite realizados por el laboratorio externo contratado. Se presentará un análisis y discusión de resultados obtenidos en la implementación de todo el proyecto.

En el capítulo IV, se hará una interpretación de los resultados obtenidos, se desarrollará el plan de mantenimiento, basado en monitoreo de condición, empleando las técnicas de ensayo no destructivas para la detección temprana de fallas. Se realizará el cálculo de los tiempos de paro no programados, indicando la disponibilidad real de la línea de producción.

2. ANTECEDENTES

El mantenimiento predictivo es la gestión de mantenimiento de mayor tendencia en las empresas, por los niveles de optimización de recursos, bajos costos de operación de mantenimiento y altos índices de cumplimiento en los indicadores.

Es el conjunto de técnicas y actividades que permiten anticiparse a las fallas, desarrollar inspecciones, tareas de lubricación y reparaciones eficientes. A la vez, se darán directrices o procedimientos a los operadores y usuarios para el buen funcionamiento de las líneas de producción (Pesántez, 2007).

Los resultados mencionados anteriormente ya se han obtenido en diferentes tipos de industria, como en generadoras de energía eléctrica, industria camaronera, productoras de cemento, industria azucarera, diagnóstico de máquinas eléctricas, extrusoras de plástico, petroleras, por mencionar algunas.

Una de las características más importantes del mantenimiento predictivo es el monitoreo de condiciones. Martínez (2014) indica que dicha estrategia se basa en la técnica del monitoreo de la información de los activos como: diagnóstico de fallas, inspecciones, histórico de pruebas, datos de fábrica y valores de diseño.

La metodología permite concretar la frecuencia de mantenimiento, a partir de la medición y análisis de la condición utilizando nuevas tecnologías, logrando

reducir significativamente el riesgo de sufrir un fallo inesperado o incurrir en costos elevados al realizar tareas innecesarias.

De acuerdo con Cherres y Ñauta (2015) recomiendan que para diagnosticar los síntomas que presentan los equipos en operación es necesario la aplicación de tres técnicas no destructivas básicas, como el análisis de vibraciones, medición de temperaturas y análisis de aceite, que son la base del monitoreo de condición. Con la aplicación de estas técnicas para monitorear el estado de los equipos, se obtendrá un mantenimiento más eficiente, mayor disponibilidad de los equipos, reducción en los tiempos de paro no programados, disminución en los costos de mantenimiento y de producción por fallas inesperadas.

Grijalva (2004), aplica la técnica de análisis de vibraciones en la industria cementera, indica que en los mecanismos rotatorios de las máquinas, las fallas por lo general producen fuerzas dinámicas que las hacen vibrar, de tal forma que, es un indicador de la falla que la produce. Se debe contar con el equipo y el software para procesar la información. Las mediciones se hacen con base en las listas de ruta definidas por frecuencia, ubicación y codificación, en cada equipo se pueden marcar los puntos donde se colocan los sensores del equipo. Posteriormente a la medición, se descarga la información para hacer el análisis y comparación de resultados. Por último, se imprimen los reportes para revisión y programación de actividades, según sea el caso correspondiente.

El análisis de aceite es fundamental en el mantenimiento correcto de motores y cajas reductoras para obtener un rendimiento máximo. Padilla (2013) en su tesis aplicada a motores de maquinaria pesada, indica que se deben programar cambios y análisis de aceite. Analizar el aceite es importante, porque su rendimiento se degrada con el transcurrir del tiempo; la degradación

aumenta a medida que incrementan los contaminantes y el desgaste en los metales. El análisis debe hacerse por medio de un laboratorio certificado y dar seguimiento a la presencia de metales. Concluye que los desperfectos más comunes que pueden controlarse con el análisis de aceite son: falla en cojinetes, desgaste en superficies de ejes, camisa de pistón rayada y fallas en ejes.

Otra técnica utilizada en el mantenimiento basado en condición es la termografía infrarroja. Según Iglesias y Abarca (2012) es una técnica que permite a distancia y sin ningún contacto medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión. Para aplicar la técnica en el mantenimiento predictivo de motores eléctricos, en la industria de tubería establece que las fallas relacionadas a temperatura son: aislamiento o cortocircuito, fallas mecánicas relacionadas al rotor, daños en cojinetes, rotura de barras y desbalances.

Se debe contar con la cámara termográfica y el software para descargar la información y así generar los reportes correspondientes, se verifica la ruta de inspección establecida, revisar el equipo, realizar tomas en diferentes ángulos y descargar las imágenes para enviar el reporte adecuado. Concluye que es una técnica útil para detectar sobrecalentamiento en los motores eléctricos, se pueden detectar fallas invisibles al ojo humano que pueden prevenir considerables pérdidas económicas, se detectaron fallas prematuras y se realizaron las correcciones necesarias para reestablecer las condiciones de operación normales, con el beneficio de hacerlo sin interrumpir el funcionamiento de los equipos.

Uno de los objetivos de la gestión de mantenimiento por monitoreo de condición y la aplicación de las técnicas predictivas es evitar paros imprevistos, por fallas y el incremento de la disponibilidad de los equipos. Según Valdés y

San Martín (2009), la disponibilidad “es un indicador muy importante que refleja el porcentaje real de utilización de los equipos, el período de cálculo es mensual y se puede implementar sobre un equipo en particular o toda la planta en general” (p. 208). Con el incremento de la disponibilidad de los equipos se logra la reducción de costos de mantenimiento y la reducción de pérdidas de producción, debido a la disminución de fallas. Por ejemplo, con el análisis termográfico se logra la detección y anticiparse a las fallas eléctricas en motores y paneles eléctricos, lo que provoca la reducción fallas inesperadas, se logra incrementar la disponibilidad de los equipos.

El desarrollo e implementación de un mantenimiento basado en monitoreo de condición tenga una base sustentable y garantice su funcionalidad, ejecución, monitoreo, mantenimiento del sistema y estabilidad, a través del tiempo sin importar los cambios del recurso humano, es necesario guiarse por un modelo normalizado o estandarizado a nivel internacional. La Norma ISO 17359-2011 brinda de forma general los lineamientos para la implementación y desarrollo de un mantenimiento, basado en monitoreo de condición y diagnóstico de fallas. Para Ruiz (2012) el modelo a seguir para la implementación del mantenimiento basado en condición como un proceso que forme parte de la cadena de valor de una empresa es la norma ISO 17359. El cual es un procedimiento general que se puede utilizar en la gestión de un programa de monitoreo de condición en todo tipo de industria.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la planta de jabones se trabaja con un programa de mantenimiento en el que se tienen identificados todos los equipos, codificados por ubicación, tipo, descripción y correlativo. El tipo de mantenimiento que se tiene programado es el sistemático, basado en frecuencias. Se ejecutan órdenes de trabajo de tipo correctivo, cuando el equipo falla o cuando en el mantenimiento preventivo se detecta alguna anomalía no prevista, también cuando el personal de producción reporta alguna falla y mal funcionamiento durante la operación.

No se hace ningún monitoreo de condición a los equipos, la lubricación se hace de forma empírica y poco controlada. No se hacen análisis de aceite para evaluar la calidad y el tiempo de vida del lubricante. Por tal motivo, la planta opera con tiempos de paro no programados de forma recurrente, éstos ocasionan pérdidas en producción, costos de mantenimiento por cambio de piezas sin haber hecho ningún tipo de medición y análisis y por fallas al no haberlas detectado con anticipación.

La planta cuenta con los equipos de analizador de vibraciones y cámara termográfica que son útiles para la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo o por condición. Las herramientas no se utilizan de forma adecuada enfocada al mantenimiento, se usan de forma esporádica para revisar algún equipo en cualquier momento. El mantenimiento no cuenta con el conocimiento del programa, basado en monitoreo de condición, ni los lineamientos que da la norma ISO 17359 sobre el diagnóstico de fallas. No hay tareas de mantenimiento definidas, seguimiento y análisis de equipos.

Toma en cuenta que no existe una estrategia de gestión de mantenimiento en la que se haga un seguimiento, control y análisis de las condiciones de operación de los equipos se demuestra la necesidad de generar un plan de mantenimiento basado en monitoreo de condición. Se utilizará como base la norma ISO 17359 en la que se indican los pasos para implementar un Programa de Monitoreo de Condición y Diagnóstico de Máquinas. Tampoco se miden los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad y tiempos muertos de operación por mantenimiento.

A consecuencia de los problemas mencionados surgen las siguientes preguntas:

3.1. Pregunta general

¿Cómo afecta a la fábrica de jabón desarrollar e implementar un programa de mantenimiento, basado en monitoreo de condición, aplicando técnicas no destructivas para los equipos de la línea 1, de la planta de jabones utilizando como guía la norma ISO 17359?

3.2. Pregunta específica 1

¿Cómo se puede determinar el valor de la disponibilidad y la medición de los indicadores de mantenimiento, aplicando las técnicas de estadística descriptiva, con la ayuda del historial de tiempos de paros no programados, por fallas en los equipos de la línea de producción No. 1?

3.3. Pregunta específica 2

¿Cuál es la mejor estrategia de mantenimiento a desarrollar para determinar los puntos de medición para monitoreo, los tiempos de medición y el cronograma de monitoreo en la maquinaria que conforma la línea de producción?

3.4. Pregunta específica 3

¿Qué determinan las tareas de mantenimiento y el plan de trabajo adecuado para los equipos de la línea de producción, con rutas de inspección y órdenes de trabajo para el control y planificación de la ejecución de las técnicas no destructivas de mantenimiento?

3.5. Pregunta específica 4

¿Cuál es la importancia de generar el plan de mantenimiento, basado en monitoreo de condición en el software de mantenimiento utilizado por la planta de producción de jabones, creando e ingresando actividades, frecuencias, tareas y planes de trabajo?

4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación en la que se fundamenta el proyecto es en la gestión del mantenimiento, debido a que la línea de producción No. 1 de la planta de jabones no cuenta con una estrategia de gestión de mantenimiento basado en condición. El proyecto está centrado en la medición y análisis de los tiempos de paro no programados para crear, planificar e implementar órdenes de trabajo de mantenimiento tipo ruta, con planes de trabajo para realizar inspecciones aplicando las técnicas de mantenimiento predictivo como termografía, vibraciones y análisis de aceite.

La prioridad en los equipos es aumentar su vida útil, evitando tiempos de paro no programados y reducción de los costos de mantenimiento. La línea No. 1 de producción de la planta de jabones está compuesta de motores eléctricos, cajas reductoras, bombas centrífugas, tanques y compresoras de jabón. Los equipos son de criticidad alta, por lo que no pueden parar en la línea de producción.

Se evalúa la necesidad de determinar la mejor estrategia para la implementación del mantenimiento, basado en monitoreo de condición para llevar a la planta de jabones a altos niveles de gestión de mantenimiento. En la implementación de las técnicas, se utilizará como guía la Norma ISO 17359, debido a que se establecen los lineamientos generales para implementar un programa de monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas.

Con la implementación de las técnicas de monitoreo, se creará una mejor perspectiva para el control y planificación del mantenimiento, por lo que se obtendrán mejores resultados y beneficios, tanto en la parte operativa de producción como en la parte de ejecución del mantenimiento.

La importancia del proyecto se centraliza en lograr una alta confiabilidad o disponibilidad de los equipos de la línea de producción, evitando paros innecesarios de alto costo de mantenimiento, reducir los costos de producción por paros de mantenimiento. Se pretende optimizar la ejecución del mantenimiento programando coordinando paros que sean necesarios con bajos costos, optimizar repuestos, tiempo y recurso humano. De esta forma, el trabajo de investigación aporta a la industria una estrategia, para mejorar la gestión de mantenimiento obteniendo ahorros o bajos costos de mantenimiento y operación.

En la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento, se debe interactuar con los demás departamentos de la planta, principalmente con las partes interesadas. Es importante porque se desarrollarán actividades que podrían ser evaluadas de forma independiente, para determinar el grado de alcance de los objetivos planteados.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Desarrollar e implementar un programa de mantenimiento basado en monitoreo de condición, aplicando técnicas no destructivas para los equipos de la línea 1 de la planta de jabones, utilizando como guía la norma ISO 17359.

5.2. Objetivo específico 1

Determinar el valor de la disponibilidad y la medición de los indicadores de mantenimiento aplicando técnicas de estadística descriptiva, con la ayuda del historial de tiempos de paros no programados, por fallas en los equipos de la línea de producción No. 1.

5.3. Objetivo específico 2

Desarrollar la mejor estrategia de mantenimiento y determinar los puntos de medición para monitoreo, los tiempos de medición y el cronograma de monitoreo en la maquinaria que conforma la línea de producción.

5.4. Objetivo específico 3

Determinar las tareas de mantenimiento y el plan de trabajo adecuado con rutas de inspección y órdenes de trabajo, para el control y planificación de la ejecución de las técnicas no destructivas de mantenimiento.

5.5. Objetivo específico 4

Generar el plan de mantenimiento, basado en monitoreo de condición en el software de mantenimiento utilizado por la planta de producción de jabones, creando e ingresando las actividades, frecuencias, tareas y planes de trabajo.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

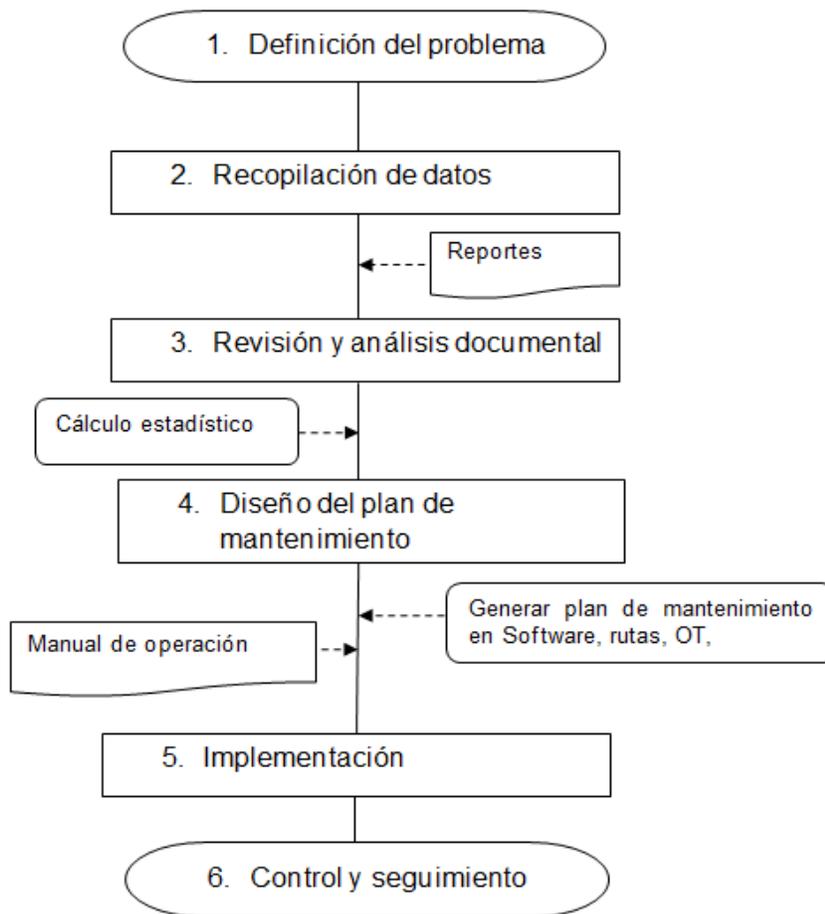
Determinar los parámetros sobre los cuales se harán las mediciones con las técnicas de monitoreo no destructivas: termografía infrarroja, análisis de vibraciones y análisis de aceite. Optimizar los recursos con los que cuenta la planta de jabones, para obtener una confiabilidad alta en los equipos evitando paros inesperados.

Los indicadores de mantenimiento serán modificados respecto al análisis de paros no programados, fallas, costos de mantenimiento, tiempos reales de operación sin falla y tiempos de respuesta. La información se obtendrá, a partir de los reportes del personal de producción y de mantenimiento.

La implementación del programa de mantenimiento basado en condición, se hará bajo los lineamientos de la norma ISO 17539. De ésta forma, se garantiza un estándar internacional que dé un respaldo para cubrir las debilidades y necesidades del departamento de mantenimiento de la planta de jabones.

El programa de mantenimiento basado en condición, emplear las técnicas no destructivas va dirigido al personal técnico de mantenimiento, que cumpla con los requisitos de poseer título de nivel medio, tener conocimientos en mecánica y electricidad o electrónica. Se estima el tiempo de realización desde la primera fase, hasta la implementación, medición y control de nueve meses. El tiempo de aplicación de las técnicas es de seis meses.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

Como punto de inicio, se define el problema, se hace una recopilación de datos con base en reportes, se procede al análisis y cálculo estadístico de tiempos de paro, costos de producción por fallas. Seguidamente, se genera el nuevo plan de mantenimiento, se elaboran manuales de operación de los equipos para técnicas no destructivas, después se procede a la ejecución del plan de mantenimiento, y por último, se hace un seguimiento.

7. MARCO TEÓRICO

La evolución e historia del mantenimiento ha ido acompañada del desarrollo tecnológico-industrial de las compañías productoras, en sus inicios a principios del siglo XX, el mantenimiento tenía una baja importancia y era realizado por el mismo personal de producción u operativo. Con la introducción de la producción en línea y la automatización, se tuvo la necesidad de mejorar los planes y programas de mantenimiento. Se empezó a depender menos del recurso humano y depender más del buen funcionamiento de la maquinaria.

Martínez (2014) indica que uno de los objetivos para cumplir con las exigencias de hoy en día consiste en identificar mejores estrategias para el mantenimiento de los equipos. El mantenimiento ha evolucionado a lo largo de la historia, desde un tipo correctivo, con el objetivo de reparar al sufrir una avería. Luego se desarrolla el tipo preventivo que tiene como objetivo, lograr una mayor disponibilidad, mediante la realización de un mantenimiento programado. Finalmente, una modalidad basada en el análisis de tendencias, buscando mayor confiabilidad de los equipos, seguridad, mayor vida útil, utilizando técnicas como el mantenimiento, basado en condición, confiabilidad y mantenibilidad.

7.1. Mantenimiento

“Conjunto de técnicas y sistemas que permiten anticipar las averías, efectuar revisiones, engrases y reparaciones eficaces, dando a la vez normas de buen funcionamiento a los operadores de las máquinas, a sus usuarios, contribuyendo a los beneficios de la empresa” (Pesantez, 2007, p. 10). Es una

pieza fundamental en la industria que tiene como finalidad extender la vida útil de las máquinas de una forma que sea rentable para las empresas.

Según Villa (2011), “el objetivo primordial de la implementación del mantenimiento es aumentar la disponibilidad de los equipos para aumentar la productividad, reduciendo el número de averías imprevistas y aumentar la vida útil de los equipos” (p. 31). El mantenimiento ha ganado importancia y los directivos de empresas ahora lo ven como una oportunidad de inversión con la finalidad de reducir los costos.

Con el propósito de maximizar la vida de los activos y minimizar el cambio innecesario de los componentes surge el tipo de mantenimiento, basado en condición (CMB), según Villar (2009) se evalúa la condición mecánica y eléctrica de la máquina, mientras está en funcionamiento. Se sabe que iniciando en la industria de la aviación el enfoque del mantenimiento, basado en condición fue ganando terreno en la década de 1970.

7.2. Tipos de mantenimiento

Desde sus inicios el hombre ha tenido la necesidad de equipos y herramientas, por lo que ha necesitado de un mantenimiento para extender su vida útil. Para cumplir con el objetivo se han utilizado diferentes técnicas, las cuales evolucionan de acuerdo a las exigencias y diferentes factores.

7.2.1. Mantenimiento correctivo

Valdez (2009), indica que: “el mantenimiento correctivo comprende el mantenimiento que se lleva con el fin de corregir los defectos que se han presentado en el equipo” (p. 55). Es la actividad de mantenimiento destinada a

corregir cualquier comportamiento que por diferentes causas se han salido de sus parámetros de operación normales.

Es la primer técnica de mantenimiento que se utilizó, según Villa (2011) “solo se limitaba a reparar o sustituir los componentes que presentaban averías” (p. 31). Es el mantenimiento que debe ejecutarse con urgencia por una falla imprevista a repararse lo antes posible por un estado o condición inesperada.

Generalmente, se ejecuta cuando se agota la vida útil de las partes, componentes, materiales y piezas en la maquinaria. También es denominado mantenimiento reactivo, de acuerdo a Pesantez (2007), “son tareas de reparación no programadas con el objetivo de restaurar la función de un activo después de producido un paro imprevisto” (p. 17).

7.2.2. Mantenimiento preventivo

La segunda técnica utilizada fue la de mantenimiento preventivo en la cual se instituyen períodos. Grijalva (2004), indica que son las exploraciones, controles e inspecciones programadas en los equipos o sus componentes. Estas actividades pueden ser constantes o cíclicas (diaria, semanal, anual, horas, kilómetros, etc.).

Esta definición coincide con Villa (2011), donde dice que en el mantenimiento preventivo: “se establece un intervalo periódico de tiempo para realizar tareas preventivas sin importar el estado de degradación de los componentes, esto con el fin de evitar fallos no programados” (p. 31).

El mantenimiento preventivo tiene la característica que es programado, de acuerdo con Pesantez (2007), “es el mantenimiento determinado por las

siguientes características: inspección, conservación, sustitución, mantenimiento correctivo, periodicidad” (p. 20). Entre sus desventajas se pueden mencionar incremento en el costo, fallas inesperadas entre intervalos, cambios innecesarios, tiempo de mantenimiento prolongado por tener que revisar una gran cantidad de piezas.

Del mantenimiento preventivo como tal, se derivan dos tipos de mantenimiento: el mantenimiento predeterminado y el mantenimiento basado en condición.

7.2.3. Mantenimiento basado en condición (CMB)

El mantenimiento basado en condición, se refiere a las actividades de mantenimiento iniciadas por la condición de un sistema. Villa (2011), lo define como: “actividad que recomienda acciones de mantenimiento basadas en la información recolectada a través del monitoreo de la condición, el mantenimiento basado en condición (CMB) intenta evitar tareas de mantenimiento innecesarias mediante acciones solo donde hay evidencia de comportamientos anormales de un elemento” (p. 32).

El objetivo principal del monitoreo de condición en la maquinaria es reunir el mayor número de datos de su funcionamiento, con el propósito de detectar las fallas en las primeras etapas. Según Mundarain (2009), “la detección y diagnóstico de problemas en una máquina sin detener su funcionamiento es el método de mantenimiento más conveniente” (p. 35).

Toapanta (2009), indica que: “el monitoreo de condición es la medición de una variable fija que se considera representativa de la condición del equipo y su comparación con valores que indiquen que el equipo está en buen estado o

deteriorado” (p. 33). Se pueden descubrir los inconvenientes anticipadamente cuando los efectos que causan la falla son iniciales y no afectan el funcionamiento del equipo.

Para una correcta aplicación del mantenimiento, basado en condición se deben seguir tres pasos fundamentales: toma de datos, procesamiento de datos y toma de decisiones. Villa (2011), hace una descripción completa de estos tres pasos.

7.2.3.1. Toma de datos

Obtener los datos principales con el objeto de saber el estado del sistema. Se clasifican en dos grupos:

- Sobre los incidentes: contiene información de todos los equipos del sistema, lo que ha sucedido en cuanto a fallas, revisiones o instalaciones y las razones que las provocaron. Contiene información de lo que se realizó como reparaciones, mantenimientos, lubricación, entre otras.
- Información de monitoreo: mediciones que están relacionadas con las condiciones de operación de los equipos. Son datos como análisis de vibraciones, presión, temperatura, estado de los aceites, condiciones ambientales.

7.2.3.2. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se utiliza para el manejo, interpretación y analizar de la mejor forma los datos obtenidos.

- En primer lugar se hace una limpieza de los datos.
- En segundo lugar, se analizan los datos. Se puede encontrar una variedad de herramientas para el análisis e interpretación como bases de datos, gráficos, estadística y otros.

7.2.3.3. Toma de decisiones de mantenimiento

Es recomendable definir políticas de mantenimiento que busquen el logro de las metas o cumplimiento de los indicadores. Para el soporte de la toma de decisiones en la gestión de mantenimiento, basado en monitoreo de condición existen dos técnicas, las cuales se describen a continuación:

- **Diagnosis:** diagnóstico de las fallas se concentra en la localización e identificación cuando estas ocurren. La localización de las fallas es un trabajo que da el aviso cuando algo no va bien en el equipo que está siendo monitoreado. aislar las fallas ayuda a localizar el componente que esta averiado y al identificar la falla, se localiza la naturaleza de la avería al ser detectado.
- **Prognosis:** pretende predecir el progreso de las fallas. La predicción de las fallas es un trabajo que establece si la falla es inminente y calcula el tiempo en que puede fallar el componente.

Ruiz (2012), indica que: “En la medida que el mantenimiento basado en condición del activo, se abra paso y sea exitoso, se abrirán puertas a la verdadera Gestión de Activos en la compañía, garantizando un manejo completo de la organización, la operación y los activos” (p. 30).

Debe destacarse que al realizar cada una de las mediciones de inspección, no se debe interrumpir el proceso. Se pueden programar de forma continua o periódica, dependiendo del tipo o necesidades del proceso.

7.2.3.4. Objetivos del mantenimiento basado en condición

El mantenimiento basado en condición debe cumplir con una alta gestión de mantenimiento. Ésta se puede medir y cuantificar para lo cual debe cumplir con los siguientes objetivos, según Ruiz (2012).

- Pronosticar o estimar el tiempo que el equipo puede trabajar sin presentar una falla.
- Mantener atención de las máquinas, indicar cuando hay una falla e indicar la gravedad de la misma.
- Diagnosticar las fallas, especificar el fallo en cada componente del equipo.
- Proteger las máquinas, evitar fallas que ocasionen paros inesperados, las máquinas están protegidas cuando se detienen con anticipación cuando sus valores de operación llegan a niveles considerados altos o peligrosos.

7.2.3.5. Técnicas de monitoreo de condición

Para lograr su objetivo, el programa de mantenimiento basado en condición se apoya en diferentes técnicas, según Martínez (2014) “antes de que

un equipo falle se pueden identificar síntomas de deterioro, sobre todo aquellos que están relacionados con la edad de operación. En este instante las técnicas de monitoreo a condición se utilizan para detectar alertas tempranas con el fin de evitar las fallas o evitar las consecuencias de éstas” (p. 34).

Las técnicas utilizadas que se pueden mencionar para el mantenimiento basado en condición están:

- Análisis de aceite.
- Termografía Infrarroja.
- Monitoreo dinámico o análisis de vibraciones.
- Monitoreo de corrosión.
- Pruebas no destructivas (radiografías, ultrasonido, partículas magnéticas, líquidos penetrantes, endoscopia).
- Pruebas eléctricas.
- Rutas de inspección VOSO (ver, oír, sentir, oler).

En la tabla I, que se presenta a continuación, se muestran algunas técnicas y sus respectivas variables que se miden dentro del mantenimiento, por monitoreo de condición.

Tabla I. **Mediciones y parámetros para diagnóstico**

Rendimiento	Mecánica	Eléctrica	Análisis de aceite, calidad de producto y otros
Consumo de energía	Expansión térmica	Corriente	Análisis de aceite
Eficiencia	Posición	Voltaje	Análisis de trazas de hierro
Temperatura	Nivel de fluido	Inductancia	Dimensiones de producto
Termografía	Vibración	Resistencia	Propiedades físicas de producto
Presión	Vibración-velocidad	Capacitancia	Propiedades químicas (color, olor, apariencia)
Flujo	Vibración-aceleración	Campo magnético	Otras pruebas no destructivas
	Ruido audible	Aislamiento	
	Ultrasonido: ondas		

Fuente: Ruiz (2012, p. 45)

Para una operación segura y confiable de los equipos en la industria es necesaria la prevención de posibles fallas. Si los problemas potenciales son anticipados y evitados el riesgo de falla y el tiempo de paro no programado de una máquina puede disminuirse. El desarrollo del presente trabajo sólo se enfocará en las técnicas de análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite. A continuación se hace una descripción de cada una de las técnicas.

7.3. Análisis de vibraciones

Una de las técnicas que más ha avanzado dentro de las tecnologías para el mantenimiento basado en condición es la de análisis de vibraciones. Para Ruiz (2012) “la vibración se define como toda variación en el tiempo, de una magnitud que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico,

cuando la magnitud es alternativamente mayor o menor que cierto valor promedio” (p. 48). La medida se hace por medio de las distintas ondas que se generan cuando el equipo se encuentra en funcionamiento. Existen tres maneras de medir la amplitud de las ondas, las que muestran verdaderamente la severidad de la vibración. Las medidas son:

- Desplazamiento: medida total de la onda entre sus crestas pico a pico.
- Velocidad: las ondas presentan cambios de velocidad, el máximo valor se mide en la cresta de la onda-pico. Ahora existe una norma para medir la velocidad en rms (raíz media cuadrada). La ventaja más importante es que se proporciona el valor de energía de la señal de vibración.
- Aceleración: es la variación de la velocidad mientras el movimiento es máximo cuando la preliminar es cero y se expresa en $g=9.80665 \text{ m/s}^2$.

Según García (2011), la técnica de análisis de vibraciones para mantenimiento predictivo se basa en la detección de fallas en equipos rotativos principalmente, a través del estudio de los niveles de vibración, el cual obtiene la representación del espectro de vibraciones de un equipo.

Para facilitar lo anterior, es necesario conocer y tener definidos los datos de la maquinaria para ser aplicada de forma efectiva y obtener resultados válidos y certeros. La información necesaria es: el tipo de cojinetes, tipo y número de fajas, número de dientes y tamaño en engranajes, velocidad o revoluciones de los motores.

Tapia (2011) indica que: “Mediante el análisis de vibraciones se puede determinar las fallas que ocasionan altos niveles de vibración como:

Desbalances, desalineación de ejes, ejes doblados, fajas deterioradas, rodamientos defectuosos, rodamientos con holguras, cavitación, resonancias, defectos de engrane, problemas eléctricos en motores, entre otros” (p. 47).

Cada uno de los equipos o componentes puede dar una señal de falla, pero es con un diagnóstico o estudio específico, que se puede determinar dónde y qué tipo de falla es, de acuerdo al estudio de la vibración en cada uno de los equipos.

De acuerdo con Doffuaa (2007), la vibración mecánica es la medida más utilizada para examinar la condición de los equipos. Se puede definir vibración como el movimiento desde su punto de reposo, a través de todas las posiciones y de retorno al punto de reposo, de donde nuevamente se repite el ciclo. El tiempo necesario para esto se denomina período y el número de repeticiones del ciclo es la frecuencia.

Para realizar las mediciones de vibración en los equipos y así interpretar y analizar los resultados obtenidos en los equipos de medición cómo la frecuencia y amplitud, se tienen definidas las técnicas y los pasos para hacer las mediciones de forma correcta y efectiva.

7.3.1. Pasos para la aplicación del mantenimiento, basado en condición utilizando el análisis de vibraciones.

Para el inicio del programa de mantenimiento, basado en análisis de vibraciones, se empieza con la selección adecuada de los equipos que serán incluidos en el programa de monitoreo. El programa debe estar dirigido a la selección de los equipos que están generando altos costos de mantenimiento o

los equipos cuya criticidad es alta y una falla podría ocasionar pérdidas en la producción.

González (2009), indica que una vez escogidas las máquinas se inicia con la obtención de la siguiente información:

- Espectros de referencia: los que son comunes propios de la máquina cuando trabaja en condiciones normales y medidos en varios puntos de la misma.
- Historial de mantenimiento: información del fabricante sobre causas de fallas, datos de vibraciones estándares, información del operador en condiciones normales.
- Datos técnicos específicos: revoluciones de los motores, potencia, tipos de cojinetes, cajas reductoras (ratio y número de dientes).
- Conocimiento de la máquina: condición operacional, propósito de la maquinaria en el proceso, cambios en la vibración con el cambio de las condiciones operativas, como revoluciones por minuto, temperatura, aumento de la capacidad, entre otros.
- Codificar e identificar la maquinaria: el código para identificar el equipo debe indicar ubicación, sistema, tipo de equipo, correlativo.

A continuación para cada equipo seleccionado se deben definir los siguientes rubros:

- Cantidad de puntos y dirección de las mediciones (axiales y radiales).

- Características a medir (desplazamiento, velocidad y aceleración).
- Definir el sensor más adecuado.

Definir los intervalos de frecuencia de medición. Después de culminados los aspectos anteriores, es recomendable hacer algunas mediciones para determinar lo siguiente:

- Familiarizarse con los datos de vibraciones característicos de la maquinaria.
- Los puntos óptimos de medición.
- Al no contar con los datos característicos del fabricante con un equipo nuevo, se procede a la obtención de los datos con el equipo y el personal capacitado.
- Durante la operación del equipo se irán obteniendo los cambios de los datos de vibraciones, al momento de tener variaciones de las condiciones del proceso.

Es preciso que para cada máquina se establezcan los criterios de operación normales y de severidad. De no tener datos brindados por el fabricante, se puede acudir a parámetros dados por normas como una referencia de inicio. Tener el historial de parámetros de operación y conocer la máquina son una buena base para redefinir los niveles de operación óptimos durante su funcionamiento.

Las mediciones de vibraciones, en general, se hacen en forma de velocidad (mm/s). Debido a que es la mejor indicación para evaluar las vibraciones de las máquinas rotativas en el rango de frecuencia de giro.

En la tabla II, se presentan los valores particulares de amplitudes de vibración en máquinas especificadas en la norma ISO 18816. Los valores sirven de referencia o como punto de partida cuando no se tienen registros en los equipos. Es importante tener el historial de parámetros de la maquinaria en operaciones normales, para tener un dato real de comparación y lograr determinar en qué momento puede presentar alguna variación que indique la presencia de una falla.

Tabla II. **Valores particulares de amplitudes de vibración**

SEVERIDAD DE VIBRACIÓN RMS mm/seg	TIPO DE SOPORTE	
	RÍGIDO	FLEXIBLE
0.46		
0.71	Buena	
1.12		Buena
1.8		
2.8	Satisfactoria	
4.6		Satisfactoria
7.1	No Satisfactoria	
11.2		No Satisfactoria
18		
28	Inaceptable	
71		Inaceptable

Fuente: Cherres & Ñauta (2015, p. 23)

7.3.2. Técnicas de monitoreo de vibraciones

De acuerdo a García (2011), las dos técnicas para el análisis y control de vibraciones en la maquinaria son las siguientes:

- **Medición de la amplitud de la vibración:** Se obtiene un valor total de la velocidad de la vibración. La maquinaria debe ser revisada cuando los niveles de vibración excedan lo preestablecido. No se logra determinar con esta técnica cuál es el problema, solo se detecta la existencia de uno.
- **Analizador del espectro de vibración:** La vibración se descompone según su frecuencia. Examinando el grado de vibración en cada frecuencia, se logra determinar la fuente de la falla.

7.3.3. Parámetros usados para medir la vibración

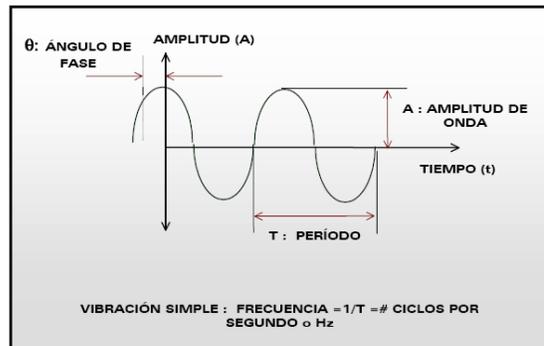
Los parámetros utilizados para la medición de las vibraciones de máquinas son siete, los cuales se describen a continuación:

- Frecuencia de la vibración:

Es el principal dato para situar el tipo de falla que existe en un equipo y el componente donde se ha originado la falla.

Como se observa en la figura 2, “la frecuencia es el inverso del período y la unidad característica de ésta es CPM (ciclos por minuto), también se utiliza el Hertz (Hz) o CPS (ciclos por segundo)” (González, 2009, p. 30).

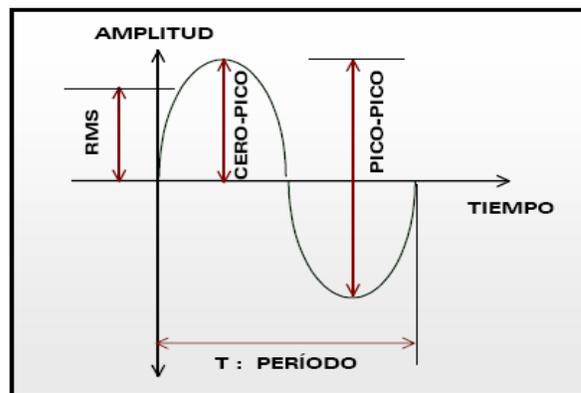
Figura 2. **Frecuencia de la vibración**



Fuente: González (2009, p. 30)

- **Amplitud de la vibración:** Muestra la importancia y severidad del problema, da una idea del estado de la máquina. En la figura 3, se puede ver las distintas formas de medir la amplitud de desplazamiento y velocidad. Se puede hacer la medición en amplitud pico, pico-pico y amplitud RMS (González, 2009).

Figura 3. **Amplitud de la vibración**



Fuente: González (2009, p. 31)

- **Desplazamiento de la vibración:** “Se define como la distancia total recorrida por el elemento que vibra entre los dos extremos límites del recorrido” (Tapia, 2011, p. 48). Es recomendable medir el desplazamiento al tener la sospecha que las posibles fallas se dan en el área de bajas frecuencias.
- **Dirección:** Se debe tomar en cuenta que la vibración puede producirse en tres direcciones rotatorias y tres de forma lineal.
- **Fase:** Ésta indica la posición de la pieza que vibra en un determinado instante respecto a otra pieza o un punto en ella.
- **Velocidad de la vibración (mm/s):** La velocidad es propiedad importante de la vibración. Ayuda a identificar la mayor cantidad de patrones de fallas primarias y de otros equipos, cuando están en modo de falla evidente de desbalanceo, desalineación y holgura mecánica (González, 2009).
- **Aceleración de la vibración:** La medición de la amplitud de la aceleración se hace cuando existen fuerzas importantes que se generan a altas frecuencias (González, 2009). Es recomendable medir la aceleración para determinar la severidad de la vibración en los equipos, cuando operen en frecuencias por arriba de 60,000 cpm.

Todos los parámetros son medidos en puntos lo más cercano posible a la zona de carga (rodamientos, chumaceras, apoyos, etc.).

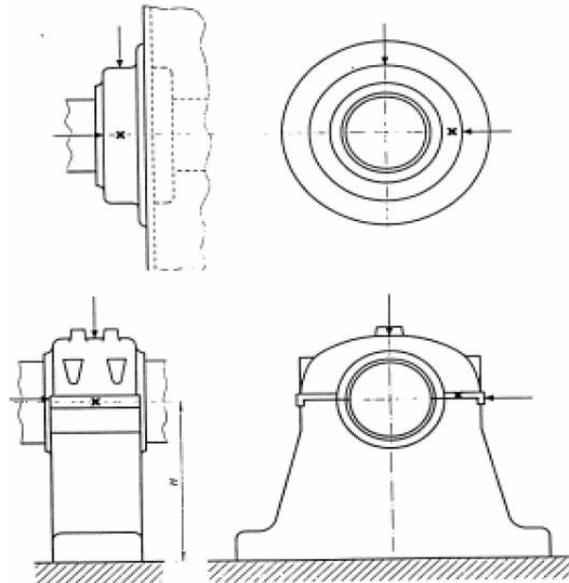
7.3.3.1. Puntos de medición

Es importante hacer el análisis de vibraciones en dos puntos principales para hacer una correcta medición y tener datos confiables. Según Tapia (2011) son los siguientes:

- En los puntos de descanso, quiere decir en los puntos en los que está apoyada la máquina. Cuando se tiene el caso de motores eléctricos, es de vital importancia medir en los cojinetes o rodamientos.

En la figura 4, se muestran los puntos de medición de apoyo en descanso en un equipo.

Figura 4. Puntos de apoyo en un equipo

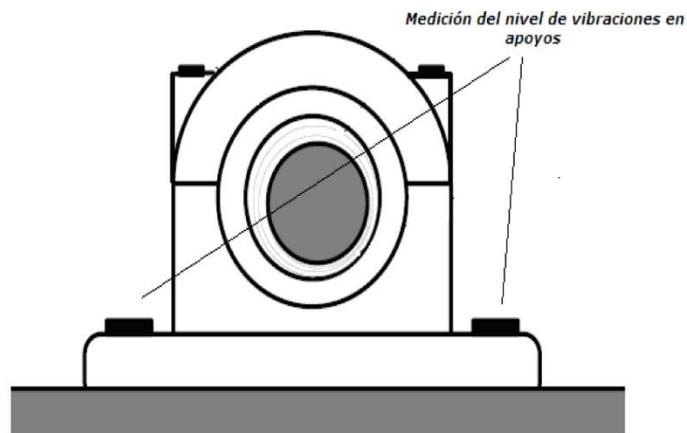


Fuente: Tapia (2011, p. 49)

- Otro punto de medición importante son los puntos donde se une con la bancada.

En la figura 5, se muestran los puntos de medición de la unión con la cimentación, la unión con la cimentación es también la unión en la base o anclaje del equipo.

Figura 5. **Puntos de unión con la cimentación**

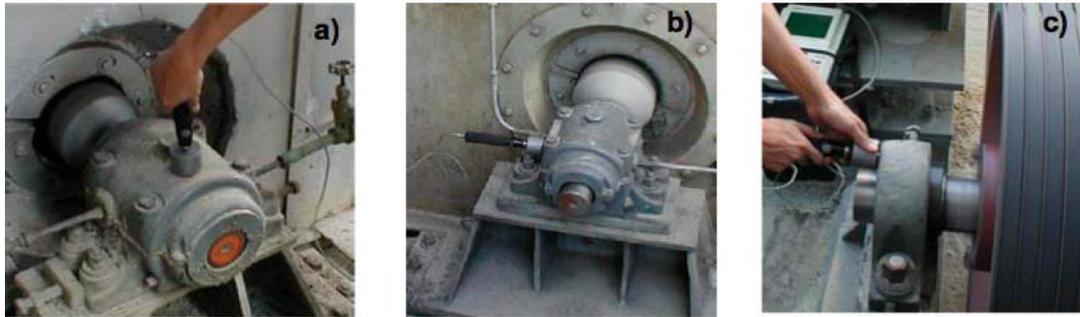


Fuente: Tapia (2011, p. 49)

Para una correcta y confiable medición de análisis de vibraciones, se debe tomar la medida en los tres ejes, radiales (horizontal y vertical) y en dirección axial.

En la figura 6, se muestra la posición correcta de los sensores en los tres ejes, al momento de realizar el análisis de vibraciones, se debe verificar que la zona este libre y segura.

Figura 6. **Posición de sensores de medición de vibración**



Fuente: Castellanos y Sánchez (2005, p.24)

7.3.4. Normas para el criterio de severidad en análisis de vibraciones

En la aplicación de las vibraciones mecánicas, la norma ISO es una de las instituciones internacionales que es la encargada de estandarizar los límites para los criterios de severidad en las vibraciones de un elemento.

De acuerdo a Castellanos y Sánchez (2005), “La Norma ISO 10816-1 es la que se usa como guía para mediciones fuera de límite y para la evaluación de vibraciones mecánicas en máquinas” (p. 25).

Para la aplicación de la técnica de análisis de vibraciones y como apoyo a la gestión de mantenimiento, se tiene el soporte de la norma ISO, la norma da directrices como se muestran a continuación.

Según la norma, las medidas de velocidad pueden ser categorizadas de la siguiente forma como se ve en la tabla III.

Tabla III. **Categoría de las máquinas, a partir de su velocidad**

Categoría	Características
CLASE I	La máquina puede ser separada en conductor y el conducido, o unidades conjuntadas que abarcan maquinaria de movimiento de hasta 15 kw (20 hp aproximada)
CLASE II	Maquinaria (motores eléctricos 15 kw (20 hp) hasta 75 kw (100 hp), sin cimentación especial, o motores montados rígidamente o maquinas con 300 kw (400 hp) montados con fundación especial.
CLASE III	Las máquinas grandes con conductores primarios (turbinas, motores eléctricos, etc.) y otras maquinarias con ensambles rotatorios grandes y montadas en fundaciones rígidas y pesadas que son razonablemente derechas en la dirección de la vibración.
CLASE IV	Incluye grandes conductores primarios y otras grandes maquinarias con grandes ensambles rotatorios montados en fundaciones las cuales son relativamente suaves en la dirección medida de la vibración, (turbogeneradores y turbinas de gas mayor que 10 MW (13500 hp).

Fuente: Castellanos y Sánchez (2005, p.25)

Como se puede apreciar en la tabla III, la norma hace una clasificación de las máquinas para hacer una correcta medición y ayuda para hacer un correcto análisis e interpretación de los resultados. La clasificación está hecha con base en la potencia de la máquina, el tipo de acoplamiento, la forma de la base o cimentación, el tipo de anclaje y el tamaño de los conductores. Todos son factores importantes a considerar para realizar la medición.

Los rangos típicos relacionados con la categoría de la máquina, tanto para valores RMS como pico se establecen en la figura 7:

Figura 7. Severidad de los equipos, a partir de su velocidad y clase

Severidad de la velocidad				CRITERIOS DE VELOCIDAD LIMITE Y CLASES DE MAQUINAS				
Mm/seg RMS	In/seg RMS	mm/seg Pico	In/seg Pico	Maquinas pequeñas Clase I	Maquinas medianas Clase II	Maquinas grandes		
						Soportes rígidos Clase III	Menos soportes rígidos Clase IV	
0.28	0.011	0.51	0.02	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	
0.45	0.018	0.76	0.03					
0.71	0.028	1.02	0.04					
1.12	0.044	1.52	0.06	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Bueno	
1.8	0.071	2.54	0.10					
2.8	0.11	4.06	0.16	Satisfactoria (alerta)	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	
4.5	0.177	6.35	0.25	(alerta)	Satisfactoria (alerta)	Satisfactoria		
7.1	0.280	10.16	0.40	Inaceptable (parada)	Inaceptable (parada)	Satisfactoria (alerta)	Satisfactoria (Alerta)	
11.2	0.441	15.75	0.62			(alerta)	Satisfactoria (Alerta)	
18.0	0.709	25.40	1.00			Inaceptable (parada)	Inaceptable (parada)	Inaceptable (parada)
28.0	1.102	39.62	1.56			Inaceptable (parada)	Inaceptable (parada)	Inaceptable (parada)
45.0	1.772	63.75	2.51			Inaceptable (parada)	Inaceptable (parada)	Inaceptable (parada)

Descripción de criterios:

- Magnitud de la vibración baja, se dice que el rango es *Bueno*, es decir que el peligro de falla es mínimo.
- Magnitud de la vibración *Satisfactoria*, la maquina se encuentra en los límites normales.
- Magnitud de la vibración es *Satisfactoria Alerta*, esto indica que la vibración se encuentra cerca de los límites recomendados.
- Magnitud de la vibración es *Intolerable (Parada)*, la posibilidad de falla es alta y debe someterse a revisión la máquina de inmediato.

Fuente: Castellanos y Sánchez (2005, p.26)

Será necesario conocer con base en experiencia los límites adecuados a cada máquina ya en la práctica. En algunas ocasiones no serán suficientes las normas internacionales. En los puntos necesarios, se procede al diagnóstico con la revisión de espectros, de allí parten las acciones correctivas correspondientes.

7.3.5. Causas de falla

Los motivos por los cuales las vibraciones aumentan son debido a componentes defectuosos y las causas se describen a continuación.

7.3.5.1. Desbalance

Mejía (2009), indica que: “los desbalances en el rotor de un motor eléctrico son una de las fuentes más comunes de vibraciones” (p. 31). El desbalance produce fuerzas centrífugas que ocasionan vibraciones que se transmiten a los cojinetes y chumaceras. El desbalance puede clasificarse de acuerdo a su origen como:

- **Desbalance estático:** se puede definir como el desplazamiento longitudinal paralelo del eje principal del rotor con respecto al eje de rotación.
- **Desbalance par:** se da cuando se intercepta el eje de rotación del rotor con el eje longitudinal principal en el centro de masa del propio rotor.
- **Desbalance dinámico:** es el desbalance en el cual no existe intercepción por parte el eje principal con el eje de rotación y tampoco es paralelo.

Las causas de desbalance más comunes son por desgaste y erosiones, corrosión y deformaciones en el rotor.

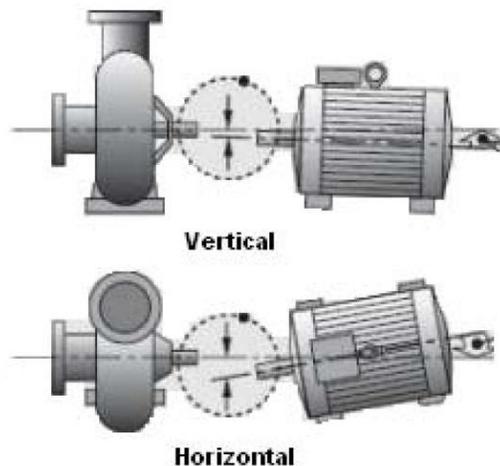
7.3.5.2. Desalineación

Cherres Ñauta (2015). Indican que: “Es el defecto más usual en la industria. El desalineamiento se produce entre dos ejes conectados, mediante acoplamientos” (p. 25). La desalineación puede ser de dos formas:

- **Desalineación vertical:** ocurre cuando dos ejes no están en el mismo plano provocando vibración radial.
- **Desalineación horizontal:** ocurre cuando los ejes entre sí no son paralelos, es cuando entre los ejes existe un ángulo provocando vibración axial.

En la figura 8, se muestra la falta de alineación entre dos equipos.

Figura 8. **Desalineación en máquinas**

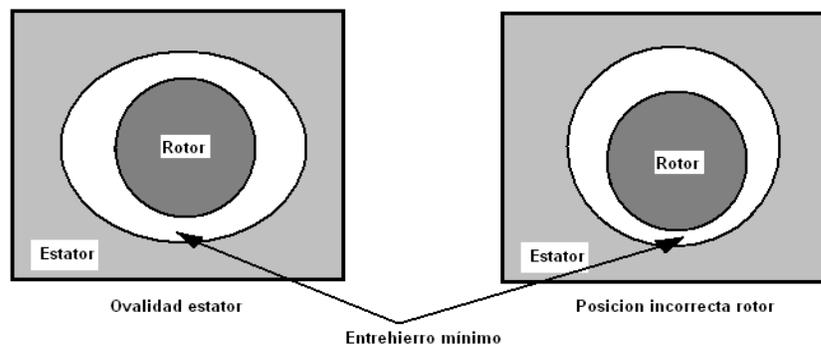


Fuente: Mejía (2009, p. 34)

7.3.5.3. Excentricidad

De acuerdo a González (2009), “la excentricidad es el estado que presenta un rotor cuando la línea central-rotacional de un eje no es igual a la línea central-geométrica” (p. 39). Es la causa número uno de origen de desequilibrio, lo que deriva de la situación de tener más peso de un lado de la línea central que del otro lado. En la figura 9, se muestra un ejemplo de excentricidad en una máquina.

Figura 9. Esquema de excentricidad en un motor



Fuente: Mejía (2009, p. 34)

7.3.5.4. Rodamientos defectuosos

Según Mejía (2009), “en todas las máquinas rotativas se utilizan cojinetes para apoyar los extremos del eje. Debido a que todas las vibraciones se transmiten directamente a los cojinetes y que éstas están en continua fricción, es de suma importancia determinar su estado con un análisis de vibraciones” (p. 37). La mayor parte de fallas en los cojinetes se deben a las siguientes causas.

- Sobre carga del cojinete
- Lubricación ineficiente o excesiva
- Contaminación externa
- Instalación incorrecta
- Exposición a vibraciones cuando el cojinete está en reposo
- Defectos de fábrica
- Circulación de corriente eléctrica a través del cojinete

7.3.5.5. Holgura mecánica

De acuerdo a Valdez (2009), la holgura se debe al “aflojamiento de manguitos, tolerancias de manufactura inadecuadas, con juego y holgura entre el impulsor y su eje en bombas” (p. 140). Ocasiona una discontinuidad en la forma de onda en el tiempo.

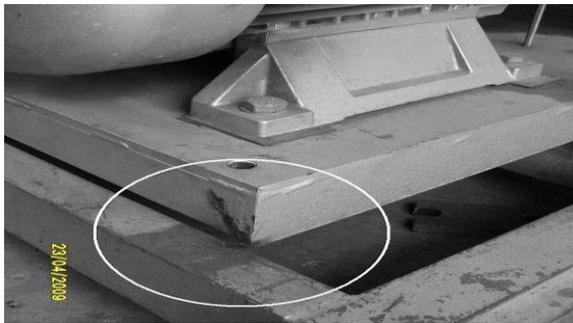
El tipo de falla en términos generales puede darse en la estructura o soporte, aflojamiento de tuercas de sujeción, fracturas o fisuras en estructuras o alojamientos. Es recomendable que se realicen inspecciones visuales en estructura y soportes de la máquina, para evitar que se confunda con otro tipo de vibraciones.

7.3.5.6. Vibración debido a partes flojas

“La soltura mecánica es debido al deterioro de la condición de ensamblaje de los elementos mecánicos, que se han excedido en las tolerancias permitidas o simplemente se han aflojado debido a movimiento del motor. Pueden aparecer holguras en la base de la máquina y en los cojinetes afectando el alineamiento del eje” (Mejía, 2009, p. 43).

La característica de la vibración por partes flojas es que la producen las fuerzas generadas por otro tipo de problemas, como la falta de alineación o desbalance. En la figura 10, se muestra un ejemplo de la vibración por partes flojas.

Figura 10. **Vibraciones por partes flojas**



Fuente: Mejía (2009, p. 43)

7.3.5.7. Vibraciones en transmisiones de fajas y poleas

Tapia (2011), indica que: “las transmisiones por poleas y fajas son susceptibles de ser afectadas por una serie de problemas, cuyo origen se encuentra en gran medida en diferencias asociadas al montaje de la transmisión, aunque el envejecimiento de la faja también atenta contra los niveles de vibración” (p. 42).

Las vibraciones producidas en equipos con transmisiones de fajas y poleas están asociadas a desgates, deterioro, desalineación y defectos en el montaje. Para evitarlas es necesario hacer revisiones visuales periódicas y

utilizar equipo adecuado al momento de hacer los montajes, para asegurar el buen funcionamiento y evitar fallas en corto plazo.

7.3.5.8. Vibraciones por torbellino de aceite

Según Valdez (2009), “es el remolino de aceite presente al superar el doble de la velocidad crítica del rotor. El nivel de vibración ocasiona fatiga y desgaste acelerado en la película de aceite” (p. 142).

La adecuada interpretación de registros espectrales puede ser una forma fácil de detectar ésta falla, por la posible presencia de amplitudes a frecuencias inferiores a la frecuencia de rotación.

7.3.5.9. Vibraciones en engranajes

En las transmisiones de engranajes también se pueden presentar vibraciones, se generan frecuencias cuando dos ruedas dentadas engranan y se pueden dar por la velocidad, excentricidad y número de dientes.

Según González (2009), “al medir vibraciones en transmisiones de engranajes es posible la identificación de problemas como un error en la relación del número de dientes, excentricidad o error de criticidad, oscilaciones torsionales, desalineación y fractura o deterioro de los dientes” (p. 43).

7.3.5.10. Vibraciones en motores de inducción

Al ser máquinas rotatorias como tal los motores eléctricos suelen presentar problemas de desalineación, desbalance, problemas de rodamientos,

entre otros. También se les suman problemas electromecánicos característicos de éstas máquinas.

Según González (2009), entre las principales causas que generan vibración en los motores eléctricos se encuentran los siguientes:

- Desfase del centro magnético
- Barras del rotor rajadas o con fractura
- Corto circuito en las bobinas del estator
- Deformación por alta temperatura
- Pulso por torsión

7.3.6 Efectos de las vibraciones mecánicas

Los efectos producidos por las vibraciones mecánicas en los equipos pueden resultar nocivos para la maquinaria, estructuras y para el mismo personal que trabaja en el área.

De acuerdo a Castellanos y Sánchez (2005), la vibración en exceso puede producir:

- Deterioro de la capacidad del personal operativo para hacer de forma eficiente sus funciones, provoca retrasos en la producción y a la vez pérdidas en las empresas.
- Peligro de accidente para los colaboradores que trabajan con los equipos en operación que tienen vibraciones altas. Un ejemplo de ello son los que laboran con trituradoras y molinos.

- Disminución de la vida útil de la maquinaria, lo que provoca que los índices de producción sean elevados.
- La presencia de vibraciones es un indicador de que los equipos no operan en condiciones estables, provocando mayores consumos de energía, combustibles e insumos.
- Se puede incurrir en penalizaciones legales, según la legislación local, al provocar daños al personal por trabajar bajo esas condiciones.

Para resolver y corregir los problemas que producen las vibraciones, se tiene una variedad de técnicas para análisis de vibraciones, las cuales estudian su comportamiento. Por medio del uso de éstas técnicas, se puede determinar con certeza las condiciones de operación a las cuales está sometido un equipo rotativo.

7.4. Termografía infrarroja

Una de las técnicas de mantenimiento basado en condición más utilizadas y de mayor aplicación de la industria es la termografía. Es una técnica de mantenimiento, basado en condición, la cual permite medir y visualizar a distancia y sin ningún contacto con el equipo temperaturas en la superficie.

Iglesias y Abarca (2012), indican que: “la termografía es una técnica que permite medir temperaturas exactas a distancia y sin necesidad de contacto físico, con el objeto de estudiar y medir la captación de la radiación infrarroja, utilizando cámaras termográficas o de termovisión” (p. 14).

La termografía infrarroja representa una de las técnicas no destructivas o intrusivas, porque no se necesita entrar en contacto físico entre el equipo analizado y el equipo de medición, por lo que no afecta el funcionamiento y operación.

Según Carmona y Ochoa (2008), indican que la termografía infrarroja es: “una técnica que permite a distancia y sin contacto, medir la distribución de temperaturas en la superficie de un cuerpo. Para ello se hace el uso de detectores de infrarrojo que permiten extraer una imagen cuantificable en temperatura mediante cálculos llamada termograma” (p. 27).

La termografía es usada como una técnica de investigación industrial, comercial y de desarrollo de pruebas. Para Delgadillo y Joaquín (2013), es la técnica “para hacer que la radiación infrarroja invisible sea visible, es la técnica de monitoreo de condición remoto que permite la medición de temperaturas y la formación de imágenes térmicas de un componente, equipo o proceso a partir de la radiación infrarroja” (p. 75).

En el mantenimiento basado en condición, la termografía infrarroja es utilizada como un método eficiente de ensayo no destructivo y forma parte importante de él. La ventaja de medir la temperatura sin tener contacto directo, la ha llevado a ser una mejor alternativa y de alto crecimiento sobre otros métodos. El comportamiento térmico y la temperatura del equipo ha llegado a ser un factor crítico en el mantenimiento industrial.

7.4.1. Tipos de termografía

La termografía infrarroja se puede dividir en tres tipos, según su aplicación, su forma de obtener y analizar los resultados. Iglesias & Abarca (2012) describen cuáles son los tres tipos de termografía.

- **Termografía comparativa:** Es la técnica usada para comparar equipos en iguales condiciones, con el objeto de evaluar el estado del componente que se inspecciona, cuando ésta técnica es aplicada correctamente las diferencias entre los componentes inspeccionados son indicadores de su condición.
- **Termografía inicial:** Con un estudio inicial se tiene el objetivo de establecer un punto de referencia del componente, cuando opera en condiciones estables sin fallas. Es primordial establecer el estado normal del componente y usarlo como un punto de referencia para comparar con inspecciones posteriores.
- **Termografía cualitativa:** Localiza e identifica las fallas que existen en los diferentes equipos monitoreados, se basa en el método comparativo de sus estados anormales de operación. La diferencia entre áreas o equipos similares puede significar un problema potencial, en la realidad se debe tener información de la estructura, sistema, objeto o proceso, a través de observarlo con imágenes de la radiación infrarroja, grabarlas y presentar la información.

7.4.2. Diagnóstico térmico

Es el método de usar la información de las temperaturas superficiales, como un indicador para evaluar la condición de un equipo componente o proceso.

De acuerdo a Delgadillo y Joaquín (2013), “el diagnóstico térmico es una disciplina invaluable para evaluar la calidad, producto y procesos, así como las pruebas no-destructivas y el monitoreo de condiciones” (p. 75).

En la figura 11, se observa el monitoreo de condición de un motor eléctrico

Figura 11. **Monitoreo de condiciones**



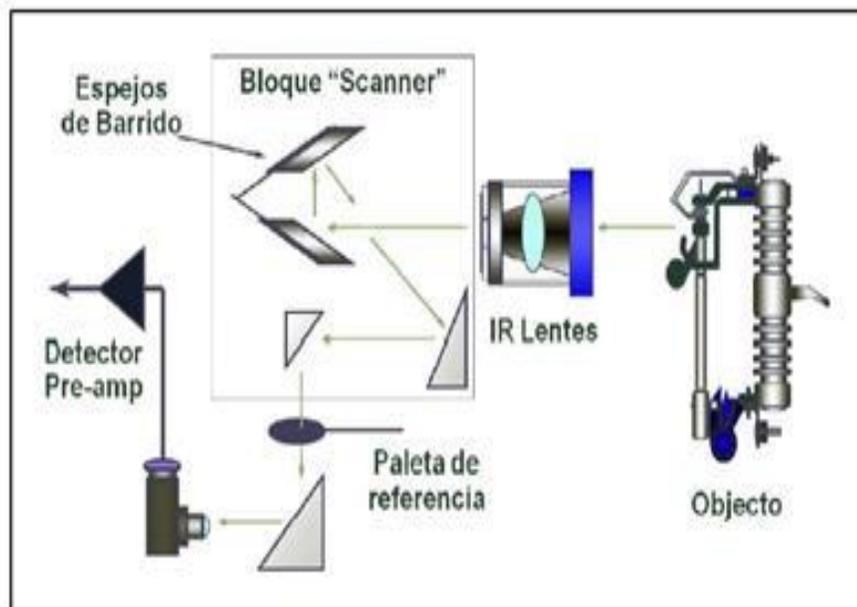
Fuente: Delgadillo y Joaquín (2013, p. 75)

7.4.3. Funcionamiento del instrumento de termografía

El instrumento para captar imágenes térmicas es muy similar a una cámara regular, tiene lentes ópticos que enfocan la energía infrarroja hacia el detector siendo éste su componente principal. El detector al ser sensible a la energía infrarroja convierte esta energía en una señal eléctrica proporcional y la amplifica. La señal amplificada es enviada a un procesador de video y luego a una pantalla de cristal líquido.

En la figura 12, se presenta el esquema del funcionamiento de un instrumento de imágenes infrarrojas.

Figura 12. Funcionamiento de un instrumento de imágenes infrarrojas



Fuente: Delgadillo y Joaquín (2013, p. 77)

La imagen que se observa en la pantalla de la cámara termográfica es un mapa de temperaturas en el que las diferencias de energía radiante se ven en las variaciones de las densidades de la imagen. El mapa de densidades térmicas se denomina termográmama.

En el termográmama en blanco y negro, se muestra en tonos claros los objetos más calientes y en tonos más oscuros los más fríos. También se utiliza el termográmama a color, al momento de utilizarlo se debe tener el cuidado de interpretar los colores, debido a que existe variedad de paletas de color disponibles para los equipos termográficos. Por lo regular, los colores rojos y amarillos muestran los objetos más calientes y los colores azules y violetas los objetos más fríos.

Es necesario aclarar que la cámara infrarroja no mide temperatura, lo que mide es la energía radiada en la superficie de los objetos. En la figura 13 a y b, se muestran los ejemplos de termográmama en blanco y negro y a color.

Figura 13. **Termográmama en blanco y negro y a color**



Fuente: Delgadillo y Joaquín (2013, p. 78)

7.4.4. Ventajas de la termografía infrarroja

La termografía infrarroja tiene ciertas ventajas tecnológicas sobre otros instrumentos de diagnóstico térmico, de acuerdo a Carmona y Ochoa (2008), se encuentran las siguientes:

- Alta resolución en temperaturas.
- Amplia resolución espacial.
- Medición de un amplio rango de temperaturas: -20°C hasta 2500°C .
- Incremento de seguridad y velocidad en las inspecciones.
- Incremento en la exactitud para localizar problemas.
- Identificación de problemas potenciales asociados a procesos térmicos.
- Reducción de fallas inesperadas y como consecuencia una disminución de reparaciones.
- Extensión del tiempo de vida de equipos o maquinarias.
- Habilidad para planear reparaciones.
- Es no intrusivo, por lo tanto, no requiere contacto físico ni modificación de las variables, sustancias o elementos del sistema analizado.
- Práctico y portátil, sobre todo en áreas peligrosas de trabajo.

Las ventajas que la termografía infrarroja tiene sobre otros métodos de detección térmica son bastantes y muy importantes para tomar en cuenta, puesto que brinda seguridad para el personal que lo ejecuta, es un método no intrusivo o invasivo, no necesita parar operaciones en los equipos, se puede prevenir accidentes, se evitan paros no programados, y por consiguiente, pérdidas en la producción al detectar con tiempo de anticipación las fallas en los equipos.

Es muy importante tener una cámara termográfica de buena calidad, para obtener los mejores resultados y datos confiables para el control de la maquinaria.

7.4.5. Cámara termográfica

La cámara de termografía infrarroja es el dispositivo que permite ver la distribución térmica superficial de un objeto, sin entrar en contacto con el equipo y con alta precisión.

Se puede definir una cámara termográfica “como un dispositivo que a partir de las emisiones de infrarrojos medias del espectro electromagnético de los cuerpos detectados, forma imágenes luminosas visibles por el ojo humano” (Picazo, 2016, p.49). Las cámaras infrarrojas trabajan con longitudes de onda en la zona del infrarrojo térmico, que se considera entre $3\mu\text{m}$ y $14\mu\text{m}$.

En la figura 14, se muestra la imagen e información técnica de una cámara termográfica de última generación.

Figura 14. **Cámara termográfica FLIR E40**

Rango de temperaturas	-20 ° a 650 ° C
Almacenamiento	>1.000 imágenes JPEG radiométricas (en tarjeta de memoria incluida)
Emisividad	De 0.1 a 1.0 ajustable
Frecuencia de imagen	60 Hz
Cambio de visión	25°x19°
Sensibilidad térmica	0,07 ° C
Resolución del detector	160x120 píxeles
Medición	3 puntos, 3 tareas, isoterma y delta T
Video	SI
Autonomía	4 horas
Dimensiones	245x95x105 mm
Peso	825 g
Precio aproximado	4.000 €



Fuente: Picazo (2016, p. 51)

7.4.6. Aplicaciones de la termografía infrarroja

Las aplicaciones de la termografía infrarroja son muy numerosas, debido a su técnica de aplicación es utilizada en diversos campos como una herramienta principal y en otros como secundaria. Gracias a que las imágenes pueden detectar incrementos de temperatura es utilizada en una gran variedad de áreas de la industria como una de las herramientas principales del mantenimiento predictivo.

Como principales aplicaciones de la termografía infrarroja, se pueden mencionar las siguientes:

7.4.6.1. Inspección de sistemas eléctricos

Debido a la gran importancia que tienen los equipos eléctricos en la industria la termografía infrarroja tiene su principal y más común aplicación en la

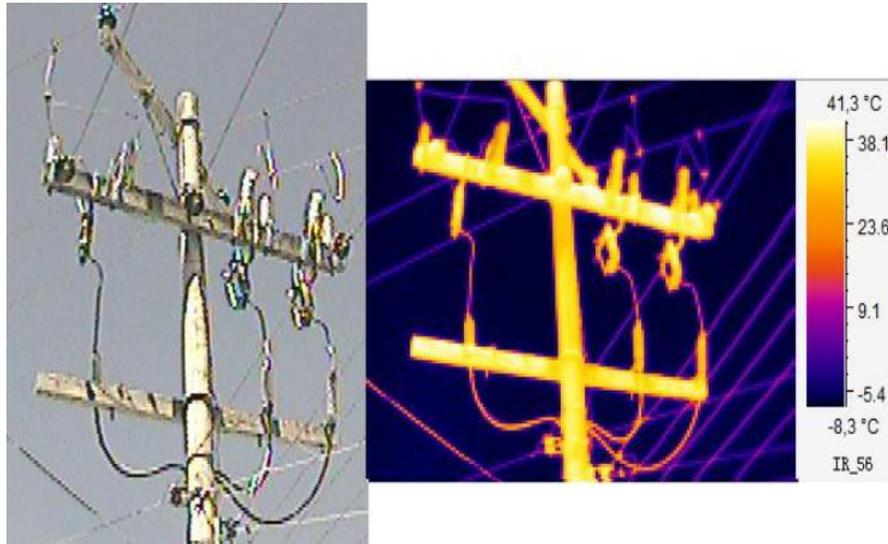
inspección de sistemas eléctricos. De acuerdo a Abarca y Iglesias (2012), la termografía en estos sistemas se puede dividir en dos categorías:

- Instalaciones de baja tensión
 - Instalaciones de baja tensión
 - Instalaciones corridas
 - Averías internas de los fusibles
 - Conexiones deficientes
 - Avería de interruptor
 - Conexiones de cableado suelto
 - Monitoreo de paneles de control y fuerza
 - Monitoreo de motores eléctricos
 - Monitoreo de acometidas

- Instalaciones de alta tensión
 - Monitoreo de subestaciones
 - Corrosión en seccionadores
 - Instalaciones defectuosas
 - Aislamiento en mal estado
 - Instalaciones recalentadas
 - Verificación de líneas de alta tensión
 - Verificación en mandos de potencia
 - Inspección al terminar la reparación

En la figura 15, se muestra la imagen real y la imagen infrarroja de una línea de alta tensión.

Figura 15. **Imagen infrarroja de líneas de alta tensión**



Fuente: Iglesias y Abarca (2012, p. 31)

7.4.6.2. Inspección en sistemas mecánicos

Los equipos que realicen movimientos provocan calentamientos en ejes y todo tipo de articulaciones, esto es debido a rozamiento, el cual puede generar desgastes y fallos en los equipos. Según Cherres y Ñauta (2015) puede ser debido a:

- Deficiente lubricación
- Ajustes defectuosos
- Mal estado de los cojinetes
- Desgaste por uso
- Errores de alineación
- Motores recalentados

- Rodillos sospechosos
- Bombas sobrecargadas
- Ejes de motor recalentados

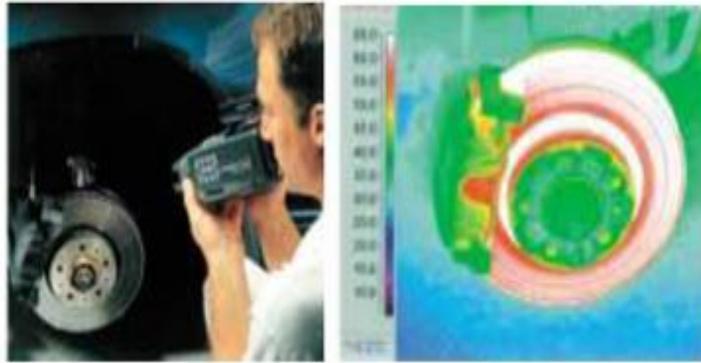
Estudios realizados han demostrado que las averías mecánicas provocan gran cantidad de calor antes de fallar Picazo (2016), indica que “las averías en los rodamientos del motor producen una gran cantidad de calor debido a la fricción que se genera entre las pistas de rodadura y los elementos rodantes, el eje gira con mayor dificultad lo que sobrecarga el motor y genera calor” (p. 60).

Picazo (2016) explica que en un estudio realizado por (Gaberson, 1999)

Se estableció que basado a la relación entre desalineamiento y desequilibrio se tienen pérdidas de energía. Al haber un elevado desalineamiento las pérdidas de energía eran del 2% con un elevado incremento de la temperatura en el acoplamiento, el desequilibrio originaba pérdidas de energía del 1%. Estos estudios respaldan el uso de la termografía para identificar desalineación y desequilibrio. (p. 60)

En la figura 16, se muestra un análisis termográfico de freno de disco en un motor.

Figura 16. **Termografía de un freno de disco**



Fuente: Cherres y Ñauta (2015, p. 21)

7.4.6.3. Aplicaciones industriales

La termografía infrarroja puede aplicarse a una variedad de procesos y áreas dentro de la industria, según Delgadillo y Joaquín (2013), las aplicaciones son las siguientes:

- Procesos de fabricación
- Control de procesos
- Funcionamiento de válvulas
- Aislamientos térmicos
- Carcasas de motores
- Calderas
- Líneas de vapor
- Hornos chimeneas
- Reactores

7.4.6.4. Otras aplicaciones

La técnica de termografía infrarroja, debido a su capacidad de detectar la transferencia de calor es utilizada en una amplia gama de procesos y equipos en general, Iglesias y Abarca (2012), mencionan las diferentes aplicaciones que posee la termografía:

- Tubería
- Fugas
- Fallas en aislamiento
- Tuberías obstruidas
- Localización de llamas
- Identificar el nivel en acumulación de depósitos
- Localizar humedad en trabajos de construcción
- Detectar puntos calientes en soldadura
- Monitoreo de materiales de uso en aeronáutica
- Monitorear moldes
- Verificar la temperatura en pavimentos
- Monitoreo en industrias de papel
- Localización de tumores en el cuerpo humano

7.4.6.5 Visión nocturna

Cherres y Ñauta (2015), indican que: “es bastante conocida y utilizada, no solo en el campo militar para localizar objetivos, sino también en su aplicación civil para vigilancia y detección. Son muy utilizadas las cámaras de termografía desde helicópteros para patrullar fronteras, azoteas, búsqueda y rescate” (p. 17).

La termografía infrarroja desde hace muchos años ha tenido aplicaciones importantes desde usos militares como en usos de vigilancia domiciliar y para búsqueda y rescate de personas por los cuerpos de socorro. En la figura 17, se muestra una imagen termografica de vigilancia en un edificio.

Figura 17. **Localización de personas en la azotea de un edificio**



Fuente: Cherres y Ñauta (2015, p.18)

7.4.6.5. Diagnóstico de motores de inducción

En los motores de inducción los principales fallos se dan en los rodamientos y en los devanados del estator, los fallos en los motores se manifiestan como incremento o alta temperatura. Por esa razón es que la termografía es una herramienta predictiva muy útil para la detección de dichos fallos.

Para la detección y diagnóstico correcto de las distintas fallas en los motores se presenta una descripción de la clasificación de las fallas en cada

una de las partes del motor, en donde se presentan incrementos de temperatura, por lo que generan las fallas más comunes en dichos equipos.

- Fallas en el estator

Las fallas en el núcleo se pueden dar en el núcleo y en el devanado presentando diferentes síntomas, los cuales pueden ser detectados por medio de termografía infrarroja, Picazo (2016) describe cuales son las fallas en cada una de las partes del motor:

- **Fallas en el núcleo:** corresponden a causas que inducen la formación de puntos calientes entre las laminaciones del estator, tal efecto se debe al deterioro paulatino del aislamiento entre la lámina provocado por estrés térmico, ambiental, eléctrico o mecánico, por roce entre rotor y estator a causa de rodamientos.
- **Fallas en los devanados:** ocasionales cortocircuitos en el devanado provoca que el motor se caliente, por la reducción en la resistencia del conductor, lo que provoca mayor intensidad de corriente, debido a este tipo de fallas la termografía infrarroja se considera una técnica efectiva para detectar fallas de ese tipo.

- Fallas en el rotor

Según Picazo (2016), la principal falla en el rotor de los motores de inducción se da en las barras.

La rotura de barras es un fenómeno que supone una gran disipación de calor alrededor de la punta dañado, conceptualmente cuando una barra se rompe, las

barras adyacentes pasan a conducir una corriente superior con lo que su calentamiento también incrementa, por lo que la termografía puede resultar un buen método para detectar este tipo de fallas. (p. 59)

- Fallos externos

De acuerdo a Picazo (2016), se pueden dar fallas en la parte externa de los motores de inducción específicamente en las conexiones y empalmes “los datos estadísticos y argumentos de distintos artículos muestran la importancia del monitoreo mediante la técnica de la termografía infrarroja de las conexiones defectuosas para lograr un funcionamiento fiable, eficiente y seguro” (p. 60). Sobresale la importancia de monitorear la temperatura y al mismo tiempo identificar los puntos calientes en diferentes zonas del equipo.

Se puede concluir que la termografía infrarroja es una técnica muy útil en diversas aplicaciones de la industria y de forma importante en el mantenimiento industrial, siendo parte fundamental en el mantenimiento de monitoreo de condición.

La aplicación de la técnica de forma programada sistemática ayudará a la reducción de costos de producción y mantenimiento por paradas imprevistas, se aumenta la disponibilidad de los equipos, se logra tener un mayor tiempo de vida de los mismos. Se ha comprobado que su aplicación eficiente ayuda directamente a operar con reducción de costos de mantenimiento, reducción de pérdidas de producción por evitar paros no programados o de emergencia.

La aplicación de la termografía infrarroja se ha extendido, pues ha demostrado ser una técnica reconocida, se utiliza en el sector industrial,

medicina y como apoyo en control de procesos, control de calidad e investigación y desarrollo.

7.4.7. Normativa ISO para termografía infrarroja

Para apoyar la gestión de mantenimiento en las distintas ramas de su aplicación existen diversas normas para el desarrollo correcto de los procesos de mantenimiento industrial, para este caso se citará la norma ISO 18434-1: 2008, que está directamente relacionada con el campo de la termografía en el mantenimiento por monitoreo de condición.

7.4.7.1. Norma ISO 18434-1: 2008

- **Supervisión de condición y diagnóstico de máquinas:** suministra una introducción sobre la aplicación de la técnica de la termografía infrarroja en la supervisión y monitoreo de condición de la maquinaria, en donde se incluyen equipos auxiliares como válvulas, líquido, las máquinas accionadas eléctricamente y todo equipo relacionado con el intercambio de calor. También se mencionan las aplicaciones de la termografía infrarroja en cuanto a la evaluación del funcionamiento de los equipos o máquinas.
- **Procedimientos generales:** habla de la terminología de termografía infrarroja que pertenece a la supervisión de condición, monitoreo y diagnóstico de máquinas. Describe los tipos de termografía infrarroja y sus ventajas, brinda una dirección para establecer los criterios de severidad para las fallas identificadas por termografía infrarroja, técnicas y requerimientos del entorno para hacer las mediciones de termografía infrarroja en maquinaria. Se incluyen recomendaciones de seguridad,

brinda información para la interpretación de datos y criterios de evaluación, brinda los criterios para elaboración y divulgación de informes.

Como se puede apreciar para la utilización de la técnica de termografía infrarroja en una gestión de mantenimiento, basado en monitoreo de condición se tiene el respaldo de una norma certificada por la ISO, la cual ampara a las empresas en cuanto a la aplicación de la técnica, para buscar mejoras de sus procesos en general, por medio de la gestión de mantenimiento industrial.

7.5. Análisis de aceite

El análisis de aceite es una técnica del mantenimiento de monitoreo de condición que brinda mayor información al departamento de mantenimiento, referente a condiciones de operación de la maquinaria, algunas empresas utilizan el laboratorio del proveedor de los lubricantes, mientras que otras contratan los servicios de laboratorios privados, es importante conocer dentro de las propiedades de un aceite factores importantes, los cuales se pueden mencionar la degradación, la contaminación y desgaste.

Arellano (2009), indica que el análisis de aceite radica en una serie de exámenes de laboratorio que se utilizan para evaluar el estado de los lubricantes usados. Al analizar los resultados, se obtiene la información que permite tomar decisiones en cuanto a la necesidad de cambiar el lubricante o de someterlo a un proceso de filtración.

La importancia de analizar las condiciones del aceite lubricante es saber el momento en el que se tiene que hacer un cambio, para evitar desgaste en los equipos y optimizar el uso el aceite.

De acuerdo a Díaz (2007) “se hace más imprescindible utilizar los recursos en la mejor forma, esto pasa por usar los lubricantes hasta completar su vida útil. Los análisis de aceites son la única y mejor forma de asegurarse que se están utilizando adecuadamente los lubricantes” (p. 69).

Con un adecuado uso de los aceites lubricantes se pueden optimizar costos de mantenimiento, reducir tiempos de paro no programados y aumento en la disponibilidad de los equipos al reducir las fallas.

Según Gómez (2013) dentro del mantenimiento predictivo el análisis de aceite utilizado como una herramienta, permite obtener información exacta del estado de un sistema lubricado sin necesidad de que éste se encuentre fuera de operación, por medio de ésta técnica se pueden evaluar distintos parámetros de las condiciones de los aceites en operación.

Se puede concretar que existe gran necesidad de maximizar la vida de los aceites a su máxima capacidad, pero implica ser conocedor de los riesgos de extender los períodos de cambio, el análisis de aceite puede convertirse en la pieza fundamental de un programa de mantenimiento basado en condición.

7.5.1. Objetivos del análisis de aceite

Tener claros los objetivos por los cuales implementar un sistema de análisis de aceite es importante para definir las metas, los recursos materiales y humanos para lograr que el sistema funcione, Díaz (2007) menciona que para identificar posibles problemas se tienen como principales objetivos:

- Identificar impurezas en los aceites, para evitar problemas relativos al desgaste de maquinaria y componentes.

- Detectar fuentes de contaminación posibles como agua, combustible, polvo, etc.
- Detectar posibles mezclas de aceite.
- Comprobar si mantienen sus especificaciones técnicas o han completado su vida útil.

Arellano (2009), también indica cuáles son algunos de los objetivos del análisis de aceite:

- Control de la degradación del lubricante.
- Monitorear daño mecánico de componentes (desgaste).
- Control de contaminantes por sólidos, fluidos o gases.
- Verificar que se está usando el lubricante adecuado.

La implementación de un sistema de análisis de aceite proporciona una serie de beneficios, tanto para los equipos como para la empresa que lo implementa y lo ejecuta de forma eficiente, Díaz (2007), indica cuáles son algunos de los beneficios del análisis de aceite, se describen a continuación:

- Ahorros en los costos, prolongando la vida útil de los aceites y evitando cambios normalmente costosos antes de tiempo.
- Avisos previos de fallas en maquinaria o de un excesivo desgaste de los componentes.
- Proporciona una referencia para la comparación de máquinas idénticas.

- Determina si se está utilizando el aceite correcto.

La implementación de un sistema de análisis de aceite es un avance a la reducción de costos, reducción de insumos, ayuda a la reducción de consumo de recursos que se utilizan cuando se hacen cambios innecesarios.

7.5.2. Pasos para la selección de un programa de análisis de aceite

Es importante tomar en cuenta algunos pasos al momento de seleccionar un sistema de análisis de aceite, para garantizar su efectiva ejecución, Grijalva (2009) nos indica los pasos a seguir:

- Seleccionar el sistema a ser monitoreado.
- Establecer las frecuencias de toma de muestras (tomando en consideración equipos y edad del aceite).
- Determinar los parámetros del estado aceptable de las muestras.
- Determinar los lineamientos de limpieza de una muestra de aceite.
- Asegurar métodos y técnicas apropiadas para tomar las muestras.
- Asegurar una correcta evaluación y documentación de los resultados del muestreo (historia y tendencias gráficas, son parte esencial del proceso de evaluación).

7.5.3. Recomendaciones para el muestreo de aceite

Es necesario tener en cuenta algunas consideraciones para tomar las muestras de aceite de una forma correcta y efectiva, según Arellano (2009), las siguientes son algunas recomendaciones a seguir:

- Las muestras de aceite lubricante deben ser tomadas del aceite en circulación y con el motor en operación.
- La muestra debe ser tomada en el punto de muestreo ubicado después del equipo de separación y filtrado.
- Es recomendable tomar la muestra antes de refrescar con aceite nuevo.
- La primera muestra de aceite que tome al abrir la válvula no debe considerarse, sino la siguiente, porque de lo contrario se estaría analizando el aceite acumulado en esa sección de la tubería.
- Utilizar botellas de muestras limpias y limpiar la línea de muestra antes de tomar la muestra, la cantidad adecuada de la muestra es de 0.75 a 1 litro.
- Las frecuencias de muestreo comienzan desde las 250 horas.
- El recipiente empleado para la muestra debe ir debidamente marcado para su completa identificación. Los datos que se deben especificar con la muestra de aceite son: nombre y marca del aceite, volumen de aceite que utiliza el equipo, tipo de aceite, fecha de toma de la muestra.

En los equipos se pueden dar diferentes tipos de desgaste en las piezas que los componen debido a los diferentes procesos industriales y a los diferentes ambientes en los que operan. Se pueden identificar algunas fuentes de desgaste primarias, pueden estas relacionadas con el tipo de aceite, degradación y contaminación.

7.5.4. Contaminación del aceite

Para la implementación de un sistema de análisis de aceites, se debe tomar en cuenta un factor muy importante como la contaminación y las fuentes de contaminación del aceite. La contaminación puede ser por factores internos los que se dan en el interior del equipo o en el contenedor del aceite, también externos los que tienen que ver directamente con el ambiente de trabajo donde se encuentra el equipo.

De acuerdo a Díaz (2006), las fuentes de contaminación del aceite se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Contaminación de aceite nuevo: se puede dar en las líneas de envasado con partículas metálicas y gomas; en el depósito de transporte puede contaminarse por partículas metálicas e incrustaciones del depósito; por último en tanques de almacenamiento.
- Ingreso de contaminación a los equipos: se puede dar por los respiraderos o los tapones de depósito de aceite del equipo. Puede ingresar contaminación durante el mantenimiento de los equipos y por los sellos o retenedores.
- Contaminación en los depósitos de aceite: por lo general, en la parte superior interna de los depósitos se mantiene una neblina de humedad, lo cual produce acumulación de agua por condensación en el aceite.
- Contaminación por agua: la contaminación por agua es altamente peligrosa, debido a la oxidación del lubricante y la degradación de los

aditivos antiherrumbre y oxidación, puede darse también un incremento en la viscosidad.

- Contaminación generada internamente: contaminación que genera partículas altamente abrasivas, lo que produce mayor desgaste en los componentes, por tal motivo es la contaminación más peligrosa para la maquinaria.

7.5.5. Tipos de desgaste

Los tipos de desgaste más agresivos son los que se producen por fuentes internas mientras el equipo está en operación. Cherres y Ñauta (2015) dan una descripción de los desgastes generados:

- Desgaste adhesivo: ocurre cuando dos superficies metálicas están en contacto, permitiendo que se desprendan partículas. Lubricación insuficiente o contaminada ocasiona esta condición.
- Desgaste abrasivo: resulta del contacto de partículas pesadas que entran en contacto con las partes internas como polvo y metales. Hacer un proceso de filtrado logra reducir la abrasión.
- Cavitación: ocurre cuando aire a presión o burbujas colapsan en el interior y ocasiona que las superficies se piquen o se fisuren. Para esto se usa un aditivo anti-espumante.
- Desgaste corrosivo: es un resultado directo de la oxidación, lo causa una reacción química que remueve material de la superficie de los componentes.

- Desgaste por fatiga: es producido por fisura de la superficie, lo que ocasiona que se generen partículas de desgaste.

Es necesario realizar las pruebas o análisis de aceite para detectar o prevenir la falla en los equipos. A continuación se hace una descripción de las pruebas más utilizadas en el análisis de aceite, según Cherres y Ñauta (2015).

7.5.6. Pruebas que se realizan en aceites industriales

- Viscosidad: la viscosidad es la propiedad más importante de un aceite, es conocida como la resistencia de un líquido a fluir. Se ve afectada por la temperatura y la presión, es de vital importancia para diagnosticar el desempeño, se recomienda que si la viscosidad de un aceite tiene una diferencia del 10 % de la nominal debe considerarse el cambio.
- Número de ácido total (TAN): por medio de este indicador se monitorean los niveles de ácidos generados por la oxidación de los aceites. Al momento de presentar un incremento en al TAN se debe considerar como operación en condiciones anormales y requiere de la intervención del departamento de mantenimiento.
- Número total básico (TBN): indicador por medio del cual se mide la alcalinidad o reserva alcalina de los aceites, la corrosión ácida en los componentes se puede presentar con los niveles bajos de TBN lo que incrementa los niveles de desgaste.
- Contenido de agua: el agua es un elemento crítico a monitorear, debido a que disminuye la capacidad del aceite para proteger las partes en

movimiento, provoca herrumbre y desgaste en los componentes del equipo. También provoca turbidez, espuma y lodos en los depósitos.

- **Análisis espectrométrico:** es la prueba o técnica más importante de los laboratorios de análisis de aceite, debido a que da información sobre el equipo, el desgaste y la contaminación de forma rápida y efectiva. Se utiliza para monitorear partículas metálicas muy pequeñas de 5μ a 10μ , arriba de ese rango es necesario utilizar otra técnica.
- **Conteo de partículas:** se utiliza para monitorear la cantidad de partículas en el aceite, no se especifica la composición del material. Es un método muy bueno para comprobar la eficiencia del filtro y es actualmente una de las técnicas del mantenimiento, basado en monitoreo de condición para detectar el inicio de condiciones anormales en los equipos.
- **Ferrografía analítica:** utiliza el estudio microscópico para analizar las partículas y así determinar la composición del material, la fuente y el modo de desgaste. Se usa para establecer las características de la maquinaria por medio de examinar el tamaño, tipo, distribución y concentración de la partícula. Se usa solo para materiales ferrosos.
- **Insolubles:** en el lubricante se pueden presentar partículas como materiales de desgaste, arcilla y arena, al adherirse a las superficies puede provocar desgastes al entrar en contacto, el nivel máximo de estas partículas permitido es del 2 %.
- **Punto de inflamación:** es un punto de referencia para saber la temperatura máxima a la que se puede utilizar sin ningún riesgo, cuando el aceite es usado y se detecta una disminución de éste índice indica que

el aceite esta diluido, contaminado con otros aceites, cuando presenta un valor más alto indica evaporación.

Como se puede apreciar cada prueba o técnica de inspección del aceite es para un determinado objetivo y aplicación en los equipos industriales, a continuación en la tabla IV se muestran algunas pruebas de aceite y su enfoque.

Tabla IV. **Pruebas de análisis de aceite y su enfoque**

ANÁLISIS DE ACEITE	OBJETIVO	RESULTADO ESPERADO
Viscosidad	Salud del lubricante	Estable
Número de Neutralización (AN y BN)	Degradación del lubricante	Tendencia decreciente lenta
Punto de inflamación	Contaminación	Estable
Análisis de elementos por emisión atómica	Degradación de aditivos	Decremento suave
	Contaminación Metales de Desgaste	Negativo Negativo- Tendencia suave
FTIR-Análisis infrarrojo	Degradación de aditivos Contaminación	Decremento suave Negativo
Conteo de partículas	Contaminación y/o desgaste	Estable en la meta establecida
Análisis de humedad	Contaminación	Negativo
Densidad ferrosa o partículas ferrosas	Desgaste	Decremento o Estable
Ferrografía analítica	Localización del tipo de desgaste presente	Identificación del tipo de desgaste, procedencia y causa
Resistencia a la oxidación RPVOT	Salud del lubricante	Estable
Pruebas de membrana y gota	Salud del lubricante	Conservación de aditivos
	Contaminación Desgaste	Negativo Negativo- Estable

Fuente: Cherres y Ñauta (2015, p. 36)

7.5.7. Análisis de aceite en cajas de engranajes

Las cajas de engranajes por su aplicación se encuentran bajo condiciones de esfuerzo, rozamiento y altas cargas, por tal motivo, las principales pruebas de aceite en estos equipos con la viscosidad y desgaste. Es de vital importancia mantener atención a la variación de la viscosidad, aunque se debe mantener atención importante a la adecuada selección del lubricante y la contaminación por agua.

En la tabla V, se muestran algunos lineamientos para cajas de engranajes en base a pruebas de laboratorio.

Tabla V. Límites de advertencia para engranajes

LÍMITES GENERALES DE ADVERTENCIA PARA ENGRANAJES		
Prueba de análisis de aceite	Límites de alarma	Siguiente acción recomendada
Análisis Espectrométrico	10 % de incremento sobre la muestra anterior	
RFS Espectroscopia de Filtro Rotatorio	Tasa de 2:1 o mayor de gruesos a finos	Ferrografía
Viscosidad	+20 %, -10% del grado nominal ISO	
Oxidación	0.2 Abs/0.1mm sobre la última muestra	TAN
Agua	0.25 % max.	Karl Fisher

Fuente: Díaz (2006, p. 91)

7.5.8. Normativa para análisis de aceite

Los laboratorios especializados en el análisis de aceite tienen como objetivo analizar las características físico-químicas. Todos los análisis están aprobados o ejecutados de acuerdo a las normas ASTM para determinar si continua en servicio o si requiere cambio. A continuación se mencionan algunas técnicas y la norma ASTM con la que se realiza:

- Viscosidad: ASTM D455 y ASTM 1745
- Punto de inflamación: ASTM D92
- Número de neutralización: ASTM D974
- Número básico total TBN: ASTM D664 y D2896
- Insolubles: ASTM D893
- Contenido de agua: ASTM D95
- Dilución por gases o combustibles: ASTM D92

Toda prueba o análisis también depende del tipo de aceite puesto que puede ser industrial o automotriz, también depende del equipo en el que se esté utilizando. Todas las pruebas fisicoquímicas se realizan por métodos, según las normas ASTM, para el análisis de partículas sólidas se utiliza la norma ISO 4406.

7.6. Indicadores de gestión de mantenimiento

Para monitorear la gestión del mantenimiento de los activos, en una empresa es necesario determinar y dar seguimiento estadístico a los indicadores de mantenimiento.

Valdez (2009), dice que para evaluar y dar seguimiento al trabajo y resultados de los equipos y del departamento de mantenimiento es necesario establecer indicadores, para que de forma cuantitativa se pueda evaluar el alcance de las metas que lleven al mejoramiento del mantenimiento de los equipos.

Una buena medida de la capacidad de uso del equipo en un tiempo programado es la disponibilidad la que, según Tapia (2011) “es la que permite determinar la probabilidad de que los equipos de una empresa estén aptos para su funcionamiento cuando se requieren en un período de tiempo dado” (p. 39).

De acuerdo a Grijalva (2009), “Se deben crear reportes precisos y específicos de los resultados en cuanto al desempeño y logro de metas, deben ir incluso acompañados de gráficos actuales e históricos para una fácil comprensión e interpretación de los resultados” (p. 36). Para dar seguimiento a la gestión de mantenimiento es indispensable implementar y dar seguimiento a los siguientes indicadores:

7.6.1. Disponibilidad de equipos

Según Valdez (2009) “es un indicador muy importante que refleja el porcentaje real de utilización de los equipos, el período de cálculo es mensual y se puede implementar sobre un equipo en particular o toda la planta en general” (p. 208).

En el cálculo de este indicador, se debe tomar en cuenta la información de las órdenes de trabajo y los reportes de mantenimiento. En las fórmulas que se describen a continuación se detallan los indicadores necesarios para medición de la disponibilidad.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTRt}} \quad (1)$$

Donde:

MTBF: Mean time between failures

Tiempo medio entre fallas (Indicador de confiabilidad)

MTTRt: Mean time to restore

Tiempo medio para restaurar

Indicador de eficiencia de mantenibilidad

7.6.2. Tiempo promedio entre fallas (MTBF)

Indicador que facilita saber la frecuencia con la que ocurren las fallas, es el tiempo promedio que una máquina o equipo opera sin interrupciones por fallas. Se obtiene dividiendo el tiempo total de operación entre el número de paros por fallas.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{TTO}}{\#F} \quad (2)$$

Donde:

TTO: Tiempo total de operación en el periodo

#F: Número total de fallas

7.6.3. Tiempo medio de restauración (MTTRt)

Indicador que mide la eficacia de la gestión de mantenimiento para solucionar las fallas que se presentan en un período. Incluye el tiempo para analizar y diagnosticar la falla, tiempo en conseguir los insumos o repuestos y tiempo de planeación.

$$\text{MTTRt} = \frac{\text{TTR}}{\#F} \quad (3)$$

Donde:

TTR: Tiempo total empleado en restaurar el equipo después de cada falla.

#F: Número de fallas totales.

El indicador debe tender a bajar para indicar mejora en la mantenibilidad.

7.6.4. Tiempo medio de reparación (MTTRr)

Es el tiempo promedio que realmente se ha utilizado para reparar la falla y restaurar la operación del equipo, línea o maquinaria después que ocurrió la falla de funcionamiento.

8. ÍNDICE PROPUESTO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Mantenimiento

1.2. Tipos de mantenimiento

1.2.3. Mantenimiento basado en condición

1.2.3.1. Toma de datos

1.2.3.2. Toma de decisiones

1.2.3.4. Objetivos del CBM

1.2.3.5. Técnicas de CBM

1.3. Análisis de vibraciones

1.3.1. Pasos para la aplicación de análisis de vibraciones

1.3.2. Parámetros usados para medir vibraciones

1.3.2.1. Puntos de medición

1.3.3. Norma para criterio de severidad

1.3.4. Causas de falla

1.3.5. Efectos de las vibraciones mecánicas

- 1.4. Termografía infrarroja
 - 1.4.1. Tipos de termografía
 - 1.4.2. Ventajas de la termografía infrarroja
 - 1.4.3. Cámara termográfica
 - 1.4.4. Aplicaciones de la termografía infrarroja
 - 1.4.5. Norma ISO para termografía infrarroja
 - 1.5. Análisis de aceite
 - 1.5.1. Objetivos del análisis de aceite
 - 1.5.2. Recomendaciones para el muestreo de aceite
 - 1.5.3. Tipos de desgaste
 - 1.5.4. Pruebas en aceites industriales
 - 1.5.5. Normativa para análisis de aceite
 - 1.6. Indicadores de gestión de mantenimiento
-
- 2. MODELO DEL DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADO EN MONITOREO DE CONDICIÓN CON BASE EN LA NORMA ISO 17359
 - 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
 - 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Diseño de la investigación

El presente trabajo se realizará bajo el diseño de tipo investigativo no experimental, para lo cual se recolectará la información de cómo se encuentran las condiciones de operación de los equipos, de acuerdo a la gestión de mantenimiento actual, se analizarán los procesos y datos actuales, se documentarán para aplicar y adaptar las técnicas de monitoreo de condición.

9.2. Tipo de investigación

El trabajo tiene un enfoque mixto, debido a que se utilizarán variables cuantitativas y cualitativas. Se incluirán variables cuantitativas respecto a investigación, tabulación y análisis de las fallas, tiempos de paro y disponibilidad de equipos, se determinará con base en las nuevas técnicas predictivas el seguimiento a las fallas para prevenir paros inesperados. Variables cualitativas para determinar si los equipos están en condiciones como: bueno, aceptable, satisfactorio o no satisfactorio, lo que determinará el cumplimiento de operación de los mismos.

9.3. Alcances

El alcance del trabajo es descriptivo y comprende a todos los equipos de la línea 1 de la planta de jabones. Se documentarán todos los procesos de aplicación de las técnicas predictivas y se hará el registro de los resultados obtenidos. Es correlacional puesto que se hará una comparación de la gestión

de mantenimiento actual y los resultados después de la implementación del monitoreo por condición. Se logrará mejorar la gestión de mantenimiento aplicando técnicas predictivas y la medición de indicadores de mantenimiento como la disponibilidad y tiempo de paro no programado. Las variables a medir serán: tiempo de operación, tiempo de falla, número de fallas, equipo, tipo de falla.

9.4. Fases de la investigación

- Fase 1: Recopilación de datos

Consiste en la recopilación de la información histórica sobre la gestión de mantenimiento que se ha estado ejecutando, histórico de fallas de los equipos, tiempos de paro no programados, disponibilidad de los equipos y de la línea de producción, programación de las rutas de inspección y órdenes de trabajo. Todo se obtendrá de los registros de reportes en Excel, bitácoras y reportes del programa o software de mantenimiento que se utiliza.

- Fase 2: Revisión y análisis documental

Con toda la información recolectada y documentada se harán bases de datos con cálculos y datos específicos sobre las fallas, recurrencia, programación y seguimiento a las reparaciones, análisis de los valores de los indicadores de la gestión de mantenimiento. Se investigará y profundizará sobre las técnicas predictivas de termografía, análisis de vibraciones y análisis de aceites como parte de la implementación de la gestión de mantenimiento, basado en monitoreo de condición para la línea 1 de la planta de jabones.

- Fase 3: Diseño del plan de mantenimiento

Fase en la que se definirán las técnicas predictivas a implementar en la gestión de mantenimiento, basado en monitoreo de condición. Se elaborarán manuales guía de cada una de las técnicas, se definirá y se capacitará al personal que se encargará de la ejecución de las rutas de inspección. Se ingresarán al programa o software de mantenimiento, las nuevas actividades predictivas para cada equipo, definiendo su frecuencia ya sea semanal, mensual, trimestral, semestral o anual.

Se generará el programa de mantenimiento con las nuevas rutas y actividades ingresadas para la generación de las órdenes de trabajo, ya sea sistemáticas o rutas de inspección. Se definirá el proveedor del servicio de análisis de aceite, el cual será con laboratorio externo certificado. Se desarrollará la documentación para informes físicos, electrónicos, control estadístico y nuevas metas de los indicadores.

- Fase 4: Ejecución del plan de mantenimiento, basado en monitoreo de condición

Se implementará y desarrollará el plan de mantenimiento, basado en monitoreo de condición aplicando las técnicas de termografía, análisis de vibraciones y análisis de aceite. Se presentará el nuevo plan de mantenimiento, para la línea 1, de producción de jabones a la gerencia para su aprobación y seguimiento a la gestión. Se hará con base a la documentación elaborada en la fase anterior, se apegará a la normativa de cada técnica, iniciarán las rutas de inspección y órdenes de trabajo.

- Fase 5: Control, seguimiento y mejora continua

Fase en la que se llevarán controles estrictos, para garantizar que los resultados obtenidos de las técnicas de monitoreo sean registrados y analizados para la programación de órdenes de trabajo, medición constante de los indicadores de gestión, presentación de resultados a la gerencia.

9.5. Resultados esperados

Los resultados que se esperan son el aumento de la disponibilidad de los equipos, y a su vez, de la línea de producción, disminución de los tiempos de paro no programados, por fallas inesperadas. Obtener una guía para la detección de averías antes que falle el equipo, hacer más eficiente la gestión de mantenimiento, evitando las tareas emergentes y trabajar de forma programada en las reparaciones.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo del trabajo se utilizarán herramientas de análisis y control de la estadística descriptiva, para el manejo de las variables cuantitativas. Se utilizarán herramientas como:

- Hojas de recolección de datos.
- Bases de datos tabuladas obtenidas de los informes diarios del personal operativo y de mantenimiento.
- Histograma.
- Gráficos de control.

Se realizará un análisis estadístico con cada una de las variables utilizando las herramientas siguientes:

- Diagrama de Pareto, análisis 80-20
- Media aritmética

Se conformarán todos los indicadores de gestión que permitirán hacer un análisis de las fallas recurrentes y medición de tiempos. Se llevará una tabulación de los tiempos medios entre fallas, los tiempos medios de reparación y la disponibilidad diaria.

11. CRONOGRAMA



Fuente: elaboración propia.

12. RECURSOS NECESARIOS

Los recursos que se utilizarán para el desarrollo del trabajo son los siguientes:

12.1. Equipo

Para el desarrollo del trabajo, se utilizará equipo de cómputo personal, equipo de cómputo de la planta, cámara termográfica, analizador de vibraciones con los cuales ya cuenta la empresa y útiles de librería.

12.2. Recurso humano

Se cuenta con el personal técnico de mantenimiento de la empresa, ingeniero de mantenimiento y asistente, estudiante de la maestría e ingeniero asesor del proyecto con conocimientos en las técnicas de mantenimiento, basado en condición y maestría en ingeniería de mantenimiento.

12.3. Recursos financieros

La empresa manufacturera de jabón proporcionará todos los recursos que se utilicen dentro de la planta como mano de obra, papelería y útiles, equipo de cómputo y los equipos para los análisis de termografía y vibraciones. No se hará la contratación externa de personal especializado. Se invertirán recursos para fines del desarrollo del presente proyecto como internet, pago de asesor y medios que se necesiten para fundamentar el estudio.

Tabla VI. **Recursos necesarios**

Descripción	Costo	Unidad	Total
Cámara termográfica	Q 32,000.00	1	Q 32,000.00
Tester de vibraciones	Q80,000.00	1	Q 80,000.00
Asesor	Q 2,500.00	1	Q 2,500.00
Ing. de mantenimiento	Q 55.00/hr	780 hr	Q 42,900.00
Papelería y útiles	Q 5,000.00	1	Q 5,000.00
		Total	Q 162,400.00

Fuente: elaboración propia.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El estudio es factible tomando en cuenta que la principal inversión ya es un activo de la empresa. La empresa denominada fábrica de jabón cuenta con los instrumentos de medición para la aplicación de las técnicas de termografía y vibraciones, también con el personal técnico y administrativo. Cuenta con las instalaciones necesarias y con el software para la gestión de mantenimiento, el proyecto propuesto a desarrollar es viable y factible, puesto que el costo lo absorberá la empresa y se pondrá en marcha siguiendo paso a paso lo descrito en la metodología.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arellano, G. (2009). *Implantación de análisis de aceite en motores de combustión interna del ciclo Diesel* (tesis). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
2. Carmona, F, y Ochoa, J. (2008). *Procedimiento para el mantenimiento predictivo en subestaciones de 115/34.5/13.8 kV, utilizando técnicas de termografía y ultrasonido. Caso de estudio empresa Electricidad de Valencia*. (tesis). Universidad de Carabobo, Valencia.
3. Castellanos, M, y Sánchez, M. (2005). *Programa de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones en equipos críticos de la industria azucarera*. (tesis). Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, San Salvador, El Salvador.
4. Cherres, D, y Ñauta, J. (2015). *Estudio de implementación del sistema de mantenimiento predictivo en la compañía ecuatoriana del caucho Erco*. (tesis). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
5. Delgadillo, L, y Joaquín, V. (2013). *Diagnóstico del mantenimiento a motores jaula de ardilla aplicando tecnología de termografía infrarroja*. (tesis). Instituto Politécnico Nacional, México D.F.

6. Díaz, J. (2006). *Documento de apoyo a la gestión de mantenimiento para la selección y aplicación de lubricantes*. (tesis). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
7. Gómez, Y. (2013). *Contribución al desarrollo y mejora para la cuantificación de la degradación en aceites lubricantes usados de MCI, a través de la técnica de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)*. (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
8. González, J. (2013). *Desarrollo de un sistema de monitoreo de la condición, mediante análisis de vibraciones en central microhidráulica*. (tesis). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
9. González, R. (2009). *Implementación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración en los compresores de tornillo de una empresa procesadora y enlatadora de productos del mar*. (tesis). Universidad de Oriente, Barcelona, España.
10. Grijalva, L. (2004). *Manual de operación, diseño y propuesta de implementación del programa de monitoreo de condición en la planta San Miguel de Cementos Progreso, S.A.* (tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
11. Iglesias, F, y Abarca, D. (2012). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo mediante la aplicación de termografía industrial en los motores eléctricos de la planta de Eurolit en la empresa Tubasec C.A.* (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

12. Martínez, L. (2014). *Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional*. (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
13. Mejía, J. (2009). *Análisis de Vibraciones en motores eléctricos asíncronos trifásicos*. (tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
14. Mundarain, C. (2009). *Diseño de un programa de mantenimiento basado en monitoreo de condición enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotatorios*. (tesis). Universidad de Oriente, Venezuela.
15. Padilla, N. (2013). *Análisis de aceite para detección temprana de fallas en motores Caterpillar*. (tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
16. Pesántez, A. (2007). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empacadora de camarón*. (tesis). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
17. Picazo, M. (2016). *Diagnóstico de máquinas eléctricas mediante técnicas de termografía infrarroja*. (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

18. Riquelme, M. (2013). *Proyecto en monitoreo de condiciones para mantenimiento predictivo de palas electromecánicas*. (Tesis). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
19. Ruiz, A. (2012). *Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo*. (tesis de maestría). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
20. Tapia, M. (2011). *Diseño de plan de mantenimiento predictivo para la línea de producción extrusión de bolsas plásticas en la empresa Kalusin Importing Company (KICO, S.A.)*. (tesis). Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias.
21. Toapanta, O. (2009). *Implementación de un análisis de mantenimiento basado en condición de los compresores reciprocantes y de tornillo*. (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
22. Valdes, J, y San Martin, E. (2009). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo-predictivo aplicado a los equipos de la empresa Remaplast*. (tesis). Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias.
23. Villa, L. (2011). *Mantenimiento predictivo aplicado a máquinas sometidas a velocidad y carga variables mediante análisis de órdenes*. (tesis doctoral). Universidad de Valladolid, Valladolid.

24. Villar J. (2009). *Metodología para la detección y prevención de fallas en equipos instalados de producción*. (tesis). Universidad Nacional Autónoma de México. México.

