



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UTILIZACIÓN DE
TECNOLOGÍA ULTRASÓNICA PARA EL DISEÑO DE RUTAS DE
MONITOREO POR CONDICIÓN PARA LOS RODOS DE SELLADO DE
SOBRE Y BLÍSTER EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S. A.**

Diego Estuardo García Roldán

Asesorado por el MSc. Ing. Javier Quan Hidalgo

Guatemala, enero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UTILIZACIÓN DE
TECNOLOGÍA ULTRASÓNICA PARA EL DISEÑO DE RUTAS DE
MONITOREO POR CONDICIÓN PARA LOS RODOS DE SELLADO DE
SOBRE Y BLÍSTER EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S. A.**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIEGO ESTUARDO GARCÍA ROLDÁN
ASESORADO POR EL MSC. ING. JAVIER QUAN HIDALGO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ENERO DE 2016

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Herny Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

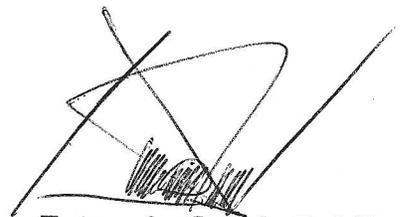
DECANO	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADORA	Inga. Karla-María Lucas Guzmán
EXAMINADOR	Ing. Ismael Homero Jerez González
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA
ULTRASÓNICA PARA EL DISEÑO DE RUTAS DE MONITOREO POR CONDICIÓN
PARA LOS RODOS DE SELLADO DE SOBRE Y BLÍSTER EN LA PLANTA DE
PRODUCCIÓN BAYER, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 11 agosto de 2015.

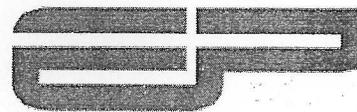


Diego Estuardo García Roldán



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



AGS-MIMPP-003-2015

Guatemala, 11 de agosto de 2015.

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
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 del estudiante **Diego Estuardo García Roldán** con carné número **2005-11875**, 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.

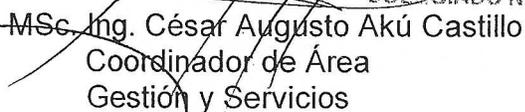
Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



MSc. Ing. Javier Quan Hidalgo
Asesor (a)

Ing. Javier Quan
Colegiado No. 10939


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

César Akú Castillo MSc.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 4,373


MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

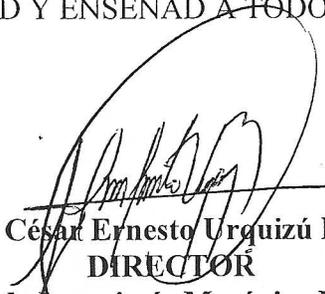




REF.DIR.EMI.229.015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA ULTRASÓNICA PARA EL DISEÑO DE RUTAS DE MONITOREO POR CONDICIÓN PARA LOS RODOS DE SELLADO DE SOBRE Y BLÍSTER EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Diego Estuardo García Roldán**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


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



Guatemala, noviembre de 2015.

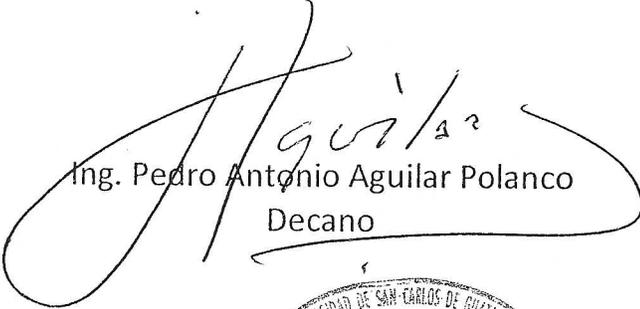
/mgp



DTG. 007.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA ULTRASÓNICA PARA EL DISEÑO DE RUTAS DE MONITOREO POR CONDICIÓN PARA LOS RODOS DE SELLADO DE SOBRE Y BLÍSTER EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S. A.,** presentado por el estudiante universitario: **Diego Estuardo García Roldán,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, enero de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme estar vivo y darme las fuerzas necesarias para cumplir esta meta
- Mis padres** César Alberto García Moreira y Gloria Elisabet Roldán de García, por brindarme su apoyo y amor incondicional, y por inculcarme los valores y enseñanzas que me condujeron a lograr esta meta.
- Mis abuelos** César García, Adela Moreira, Rosa Mejía y Virgilio Roldán. Cada uno de ellos formó una parte importante en mi carrera, dándome lecciones de sabiduría, fortaleza y perseverancia.
- Mis hermanos** César y Ana García Roldán, por ser mi más grande inspiración, y por estar siempre a mi lado.
- Mis amigos** Que a lo largo de mis estudios añadieron muchas alegrías, así como estuvieron conmigo en los malos momentos, en especial a la familia Barrera Urquizú; quienes me permitieron estar al lado de dos personas maravillosas que compartieron conmigo momentos inolvidables en mi vida.

Mi familia

A mis tíos y primos más cercanos que siempre me brindaron su apoyo desinteresado en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser orgullosamente mi casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los conocimientos y enseñanzas a lo largo de mi carrera.

A mi asesor

Ing. Javier Quan, por la asesoría y el apoyo brindado en el desarrollo de este trabajo.

Bayer, S. A.

Por permitirme desarrollar este trabajo en sus líneas productivas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
4. OBJETIVOS	13
5. JUSTIFICACIÓN	15
6. ALCANCE	17
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	19
7.1. Mantenimiento predictivo y monitoreo por condición.....	19
7.2. Conceptos básicos del sonido	22
7.2.1. Frecuencias del sonido	23
7.3. Ultrasonido propagado por aire	23
7.3.1. Módulo de contacto.....	24
7.4. Rutas de monitoreo por condición y modos de falla	25
7.5. Diferencia entre ultrasonido propagado por aire y análisis de vibraciones	27
7.6. Monitoreo por condición con ultrasonido para rodamientos de baja revolución	28
8. CONTENIDO.....	29
9. ÍNDICE PROPUESTO.....	31

10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	35
11.	OBTENCIÓN DE DATOS	39
12.	ANÁLISIS FINAL.....	41
13.	ANÁLISIS DE DATOS	43
14.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	47
15.	RECURSOS NECESARIOS.....	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	55
	APÉNDICES.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Gráfico de condición versus tiempo de un elemento mecánico	21
2.	Módulo de contacto (estetoscopio), Ultraprobe 10000.....	25
3.	Variación de un rodamiento antes y después de lubricación	43
4.	Variación de amplitud de un rodamiento entre pobre, ideal y sobre lubricación	44
5.	Detector ultrasónico Ultraprobe 10000.....	50
6.	Ultraprobe 10000	51
7.	Pantalla de exhibición	52
8.	Rodos de sellado de sobre	59

TABLAS

I.	Modos de falla de rodamientos de baja revolución	27
II.	Recursos necesarios.....	49
III.	Especificaciones Ultraprobe 10000	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dB	Decibel
dBmV	Decibelio-milivatio
€	Euro
f	Frecuencia
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
Hz	Hertz
kg	Kilogramo
kHz	Kilohertz
lbs	Libras
psi	Libra por pulgada cuadrada
MHz	Megahertz
m	Metros
MPH	Millas por hora
mm	Milímetros
ms	Milisegundos
mV	Milivoltio
ft	Pie
%	Porcentaje
Q	Quetzal, moneda de Guatemala
SNR	Relación señal/ruido
bar	Unidad de presión bar

GLOSARIO

Blíster	Empaquetadura que consiste en un soporte de aluminio sobre el que va pegado una lámina de plástico transparente con cavidades en las que se alojan diferentes tipos de comprimidos o cápsulas.
Frecuencia	Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.
Hermeticidad	Calidad de un cerramiento de estar perfectamente cerrado o estanco al aire mediante fusión o sellado.
Inspección	Exploración física que se realiza, principalmente a través de la vista.
Lubricación	Acción de reducir el rozamiento y sus efectos en superficies adyacentes con movimientos que puedan ocasionar algún tipo de maquinado.
Mantenibilidad	Probabilidad de que una determinada acción de mantenimiento activo aplicada sobre un dispositivo pueda llevarse a cabo dentro de un intervalo de tiempo establecido, cuando dicho mantenimiento se realiza bajo condiciones fijadas y usando procedimientos y recursos establecidos.

Rodamiento

Cojinete que consta de dos cilindros concéntricos entre los que va colocado un juego de rodillos o bolas que pueden girar libremente.

Sellado

Cierre de algo de forma hermética.

RESUMEN

El presente trabajo busca aumentar la mantenibilidad de los rodos de sellado de la planta de producción Bayer, S. A., específicamente en sellado de sobres con tabletas efervescentes y blíster con tabletas comprimidas de diferentes productos. Dicha planta cuenta con planes de mantenimiento programado en intervalos trimestrales, semestrales y anuales, y se realizan limpiezas e inspecciones diarias y semanales. Durante los mantenimientos programados se hacen limpiezas profundas, calibraciones, sustitución de piezas con desgaste, cambio de cojinetes y ejes dañados, entre otros.

Para producir un sobre o un blíster, las líneas cuentan con varias etapas que esencialmente se componen por la formación de comprimidos, sellado con empaque tipo sobre o blíster, empaque en estuche y el empaque de estuches en cartón corrugado. Todas las etapas son importantes para manufacturar, sin embargo, en el sellado se encuentra una de las estaciones más críticas, compuesta de rodos de sellado por temperatura, los cuales tienen características especiales, debido a que de ellos depende la hermeticidad del empaque de comprimidos. Esto los hace ser equipos caros y difíciles de intercambiar en caso de dañarse.

El enfoque de este trabajo es utilizar un detector ultrasónico como base para establecer un diseño de rutas de monitoreo que permitan conocer el estado real de los rodamientos de la estación de sellado, de modo que se puedan tomar acciones preventivas para aumentar su vida útil.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la industria farmacéutica en Guatemala produce alrededor de Q 2 964 000,00 anualmente, exporta más del 45 % de esta cantidad y se compone de 70 fabricantes locales aproximadamente.

(López, *La industria farmacéutica y su proyección en el sistema de salud de Guatemala*, 2011, p. 6)

Bajo la necesidad de cumplir las normativas de salud y eficiencia operacional, las líneas de producción deben ser altamente eficientes, y buscar constantemente adquirir nuevas tecnologías para lograr altos volúmenes de producción bajo el rendimiento óptimo, además de cumplir con las normativas de calidad, por tratarse de productos de precisión y con altos riesgos de contaminación.

El mantenimiento, en general, forma un papel muy importante para la conservación industrial de los equipos que componen la planta. El mantenimiento se compone por 3 áreas: mecánico, eléctrico y áreas técnicas. La planta productiva se desglosa en dos áreas significativas: estándar y efervescentes. En ambas áreas se realizan procesos de sellado por medio de rodos con temperatura para la hermeticidad de la empaquetadura del producto, por lo que se ha determinado que la etapa de sellado presenta una alta criticidad y mantenibilidad de todas las líneas de producción.

El presente trabajo consistirá en el diseño de rutas de monitoreo de la condición de los rodamientos y demás elementos mecánicos rotativos de los rodos de sellado de las blisteadoras y selladoras de sobre. Este diseño

establece la estructura para implementar un programa que detecte las variaciones que existen en las lecturas tomadas bajo una periodicidad propuesta, con el fin de advertir anticipadamente, cuándo los rodos de sellado presenten un problema mecánico mayor.

La información se recopilará mediante la utilización de técnicas de mantenimiento predictivo por un detector ultrasónico marca Ultraprobe 10000 como principal herramienta. Este permite grabar en pequeños períodos de tiempo las variaciones de sonido medido en decibeles bajo una frecuencia entre 30 y 40 kHz, utilizando un módulo de contacto.

Las rutas serán establecidas bajo una propuesta preliminar dependiendo de las tendencias que presentarán las primeras mediciones, y se realizarán en el mismo punto de contacto y bajo los mismos parámetros y condiciones, para obtener información confiable y certera.

En el primer capítulo se definirán cuáles serán las aplicaciones para el diseño de la estrategia de mantenimiento y la definición de cada una de ellas. Se describirá brevemente el funcionamiento básico de los rodos de sellado y los problemas que se han presentado al realizar reparaciones de los mecanismos, así mismo se mencionarán los efectos y consecuencias que se desean reducir con la aplicación del diseño de investigación.

En el segundo capítulo se describirán las herramientas que serán utilizadas. Se incluirá la descripción del equipo detector Ultraprobe 10000 MPH, así como el software Ultratrend DMS.

En el tercer capítulo se detallarán los formatos de inspección, como parte de una nueva rutina de mantenimiento, que establecerán los lineamientos para

su puesta en marcha, así como toda la documentación que deberá llevarse a cabo para que el programa sea sostenible en los sistemas de gestión establecidos actualmente. También se diseñarán las hojas de verificación de rutas de inspección para el uso de la tecnología ultrasónica.

En el cuarto capítulo se especificarán técnicas para la interpretación de resultados basado en la tendencia de inspecciones mecánicas de rodamientos de baja revolución, se describirá una guía para diagnosticar los diferentes módulos de falla por fatiga de los rodamientos.

En el último capítulo se mencionarán los resultados y el análisis final sobre las primeras tendencias encontradas, por medio de las comparaciones entre las diferentes lecturas del detector.

Finalmente se encontrarán las conclusiones y recomendaciones, la bibliografía y el apéndice del trabajo.

2. ANTECEDENTES

El monitoreo por condición, junto con el ultrasonido propagado en aire es una técnica que puede ser utilizada en toda empresa e industria. Es comúnmente utilizado en manufactura, para inspección de rodamientos, válvulas, trampas de vapor, compresores, cajas de engranajes, dispositivos eléctricos, entre otros. (UE Training Systems, 1997, p. 138)

Se hace mención sobre la importancia del inspector, quien debe contar con la información precisa y suficiente para poder dar una descripción detallada del ambiente en prueba. La información presentada tiene que ser suficientemente clara para que la inspección pueda ser repetible y los resultados similares.

Al utilizar un detector ultrasónico propagado en aire, como herramienta de monitoreo por condición, debe ser posible para el inspector poder determinar la condición del equipo sujeto a cargas de trabajo, y permitirle tomar acciones correctivas para prolongar la vida útil del equipo. La técnica adecuada de realizar la inspección es localizar una marca de referencia de manera permanente con punzón o pintura y utilizar el módulo de contacto. Se sugiere utilizar una tabla de ajustes de frecuencia como referencia, para ajustar la sensibilidad del medidor, también que se ajuste a la velocidad del medidor, según la necesidad, luego debe tocarse el área de prueba y escuchar con los audífonos y observar el medidor, lo que permitirá ajustar la frecuencia para escuchar claramente la operación mecánica. Deben realizarse anotaciones indicando los valores utilizados, como frecuencias, nivel de sensibilidad, lectura

del medidor e información del equipo analizado. (UE Training Systems, 1997, p. 142).

La inspección de rodamientos con ultrasonido es el método que se utiliza para detectar fallos tempranamente para rodamientos de baja revolución, esto debido al rango de frecuencia que se origina a las pequeñas perturbaciones del sonido por el rozamiento de rugosidades de las superficies del metal, cuando este ha alcanzado modos de prefalla como los describe (UE Systems, 1997), en la *Guía de certificación de ultrasonido nivel I*.

“La inspección ultrasónica de rodamientos es útil para reconocer: (1) el comienzo de falla por fatiga (2) dureza de superficies del rodamiento y (3) carencia o exceso de lubricante” (UE Systems, 1997, p.141).

Es importante mencionar que existe una diferencia entre la medición de rodamientos de alta y baja revolución. En el caso de rodamientos de baja revolución se aplican técnicas de ultrasonido, menores a 60 rpm, esto debido a que el ultrasonido detecta ondas acústicas ocasionadas por los impactos en los cojinetes o problemas de mala lubricación. Es decir, el ultrasonido permite detectar choques en frecuencias muy altas, por encima de 20 kHz, que no pueden ser detectadas por las técnicas utilizadas para rodamientos de alta revolución. De manera que es evidente detectar fallos cuando las pequeñas variaciones en decibeles indican un indicio de falla.

“La débil señal proporcionada por un rodamiento de baja velocidad requiere un rango dinámico y un ruido de fondo apropiados. Se requiere frecuentemente una amplificación de 90 dB. Por encima de todo, una excelente relación señal-ruido (SNR) es esencial. Normalmente encontrará una lectura de -6 dBmV para un rodamiento sano y cada vez más cerca de 0 dBmV cuando falle. -6 dBmV significa una señal de 0.5 mV y 0 dBmV corresponde a 1 mV. Su

instrumento debe ser capaz de extraer esta baja señal del ruido de fondo. Por ello la relación señal-ruido es tan importante” (Emmanuele, *Monitorización de rodamientos a baja velocidad*, 2014, p.1).

Existen advertencias que indican que el rodamiento se encuentra en un modo de falla por fatiga, se ven reflejados en lecturas de decibeles fuera de los límites de referencia. La deformación del metal crea un incremento en la emisión de ondas de sonido ultrasónicas que son visuales en gráficos de control, en relación de los decibeles contra tiempo en segundos. Cuando se está realizando una inspección, se sugiere que los cambios de amplitud de 12 a 50 veces la lectura de línea base es un indicativo de falla del rodamiento. (UE Systems, 1997) afirma que: “Cuando una lectura excede cualquier lectura previa por 10 a 20 dB, debe asumir que el rodamiento ha entrado en modo de falla” (p.141).

“Las medidas estáticas son simples de implementar puesto que los resultados son solo números. Son fáciles de manejar para almacenar, dibujar curvas de tendencia y establecer alarmas. Para rodamientos a baja velocidad, se utilizan dos indicadores a partir de las medidas estáticas: el valor eficaz (*RMS*), que caracteriza energía de la señal y el valor pico (*PEAK*) que caracteriza la amplitud de la señal. Estudiando estos indicadores es fácil encontrar los fallos desde su etapa inicial” (Emmanuele, *Monitorización de rodamientos a baja velocidad*, 2014, p.1).

El ultrasonido es una señal de audio que contiene toda la actividad que se está produciendo en una frecuencia alta, el cual detecta los impactos, por lo que no requiere la necesidad de trabajar utilizando métodos de procesamiento de señales lentas, por ejemplo, la mayoría de detectores ultrasónicos procesan la señal de trabajo entre 36 a 41 kHz para una salida de audio de 2 kHz de ancho, lo que hace permisible al oído humano y poder interpretar sonidos

inaudibles por la frecuencia en que se encuentra. (Murphy, *Using ultrasound for effective inspection of slow speed bearings*, 2011, p. 1)

Una de las fallas más comunes en rodamientos es por fatiga, ocurren debido a una lubricación inadecuada. Los efectos de carencia de lubricación se describen como:

“Cargas normales de rodamientos causan deformación elásticas de los elementos en el área de contacto que dan una suave distribución elíptica. Pero las superficies de los rodamientos no son perfectamente suaves. Por este motivo, la distribución de la tensión actual en el área de contacto será afectado por rugosidad arbitraria de la superficie. En la presencia de una película lubricante en la superficie del rodamiento, hay un efecto de amortiguamiento en la distribución de tensión y la energía acústica producida ser baja” (Rivera y Palacio, 2008, *Implementación de programa de mantenimiento predictivo mediante técnica de ultrasonido de la cooperativa Colanta Ltda.*, p.33).

Por lo que, si se reduce la lubricación, las rugosidades incrementarán el contacto con la superficie elevando la energía acústica, lo que ocurrirá la aceleración del desgaste incrementando la probabilidad de falla reflejado en pequeñas perturbaciones del sonido. De igual manera, es importante también la selección de un lubricante adecuado, el cual debe ser capaz de cumplir con el espesor relativo de la película necesaria para no producir alteraciones en las rugosidades de la superficie de contacto.

Otra forma de explicar este efecto de forma contraria, es describiendo los efectos de una sobrelubricación en un rodamiento:

“Cuando un rodamiento esta sobrelubricado, y los sellos no son “soplado”, ahí puede haber una presión alta y esto lleva a un aumento de la temperatura, que causa una avería del lubricante. Si un sello se rompe, el

lubricante puede llenar la cavidad del motor o la bomba. Esto puede causar otros fracasos” (Rivera y Palacio, 2008, *Implementación de programa de mantenimiento predictivo mediante técnica de ultrasonido de la cooperativa Colanta Ltda.*, p.34).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las estrategias de mantenimiento en la planta Bayer, S. A. consisten en un plan de mantenimiento diario y semanal y mantenimiento programado trimestral y anual. Así como el conjunto de actividades que se llevan a cabo para encarar el mantenimiento correctivo y emergente. En muchas ocasiones se realiza mantenimiento proactivo por medio de mejoras continuas reflejadas en modificaciones para mejorar la funcionabilidad de las líneas. La suma de las estrategias descritas anteriormente, da como resultado la evaluación del rendimiento de la planta y la efectividad del Departamento Mecánico por medio de indicadores, confiabilidad de los equipos y costos de mantenimiento.

Sin embargo, no se ha logrado llevar a cabo un plan de mantenimiento basado en la condición de las máquinas, con lo cual se detectarían todas las variaciones en los mecanismos críticos de operación para un mantenimiento más eficiente en las líneas más productivas de la planta. Por lo que, la pregunta principal para este trabajo sería:

- Pregunta general

¿Es posible mejorar la confiabilidad de los equipos en la etapa de sellado de la planta Bayer, S. A., utilizando tecnología ultrasónica mediante rutas de monitoreo por condición?

- Preguntas específicas
1. ¿Es posible mantener un sistema sostenible de rutas de inspección por condición, utilizando el software profesional DMS administrando información de los equipos, puntos de medición, históricos y rutas programadas?
 2. ¿Qué información se necesita para conocer cuáles deben ser los criterios de aceptación y líneas de referencia posterior a las inspecciones de los rodos de sellado de la planta?
 3. ¿Cuáles deben ser los parámetros ideales para determinar la lubricación apropiada de los rodos de sellado?

4. OBJETIVOS

General

Diseñar rutas de monitoreo por condición, utilizando tecnología ultrasónica para los rodos de sellado de sobre y blíster en la planta de producción Bayer, S. A. para mejorar la confiabilidad de los equipos.

Específicos

1. Crear una base de datos de control en el software profesional DMS Ultratrend con los equipos, puntos de medición, históricos, y rutas de inspección programadas.
2. Interpretar datos mediante software del detector para establecer criterios de aceptación, y líneas de referencia como guía para el diagnóstico de falla por fatiga.
3. Definir mediante la guía de diagnóstico de falla la periodicidad y cantidad apropiada de lubricación de los rodos de sellado.

5. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo surge de la necesidad por mejorar la efectividad del mantenimiento, con base a la línea de investigación de mantenimiento predictivo y las estrategias actuales de mantenimiento preventivo y correctivo. La industria farmacéutica en Guatemala es un mercado, que actualmente está evolucionando y cada vez existe mayor competitividad. La planta de producción Bayer, S. A. es uno de los principales proveedores a nivel mundial en lo que respecta a productos de venta libre, cuya demanda es la más alta y reconocida del mercado por la calidad en los productos. Por lo tanto, demanda alta confiabilidad, baja mantenibilidad y alto desempeño de sus líneas de producción.

La mantenibilidad de los rodos de sellado (siendo una actividad de carácter delicado, tanto por la maniobra de reparación como el ajuste posterior el cual debe ser muy preciso), hace de la etapa del proceso de sellado durante la manufactura una de las más críticas. Sin tomar en cuenta, que la producción perdida puede ascender hasta € 300 000,00, lo cual es el costo de dejar de producir por dos días una línea, que es el tiempo aproximado para cambiar el juego de cojinetes de los rodos de sellado. El costo de un par de rodos de sellado de fábrica puede ascender hasta € 100 000,00, si fuera necesaria la sustitución de los mismos producida por una falla catastrófica no detectada a tiempo.

Se cuenta con el detector que se utilizará para el diseño de investigación. Por lo que la inversión económica se vería reducida considerablemente,

además del aprovechamiento de estas herramientas y el costo de oportunidad que significa tenerlas en desuso.

Cabe resaltar, que las técnicas de monitoreo por condición son herramientas que pueden implementarse paralelamente junto con las técnicas de mantenimiento preventivo, correctivo y emergente que se trabajan actualmente. Se buscará la reducción en costos global del presupuesto anual de mantenimiento que pueden ser asignados para otros proyectos del departamento mecánico, así como el aumento de la disponibilidad y consecuentemente, la eficiencia del equipo y calidad de los productos.

6. ALCANCE

El alcance del presente trabajo es de tipo descriptivo, se enfoca en el diseño de rutas de monitoreo por condición, para controlar las variables que indican alta probabilidad de falla en los rodos de sellado de las blisteadoras y selladoras de la planta de producción Bayer, S. A.

Las inspecciones serán realizadas con un detector ultrasónico con módulo de contacto, que serán efectuadas sistemáticamente en un período no mayor de 6 meses. Dichas inspecciones serán realizadas en los rodos de sellado de las líneas de producción de la planta farmacéutica Bayer, S. A., situada en la ciudad capital de Guatemala.

El estudio establecerá una base para la implementación de un sistema de rutas de monitoreo por condición para aumentar la confiabilidad de los equipos. Se verán reflejados en la detección temprana de fallas por fatiga de los rodamientos de baja revolución de los rodos de sellado.

Por efectos de confidencialidad de la empresa, el estudio mencionará el nombre e información básica, y los principios del funcionamiento de los equipos relacionados con el estudio. Sin embargo, no revelará datos específicos sobre las líneas de producción; como fabricantes y modelos de las máquinas, productos manufacturados y materias primas específicas (que se mencionarán como tabletas, sobres, blísteres, materias primas, estuches, entre otros), descripción de puestos, documentos y protocolos propios de la planta.

Las personas involucradas en el estudio serán propiamente del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento del área mecánica, encabezada por el jefe de Mantenimiento Mecánico, seguido por los dos supervisores de Mantenimiento Mecánico y 4 técnicos mecánicos con alta experiencia en las líneas en estudio. Habrá participación del Departamento de Mantenimiento eléctrico, para actividades de calibración de los dispositivos utilizados en el estudio.

7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Las técnicas conocidas de mantenimiento más comunes (mantenimiento preventivo, correctivo y emergente) son estrategias que se aplican bajo un determinado período, en el caso del preventivo, o planificarse y programarse como el correctivo, o bien ejecutarse de manera efectiva y rápida como el mantenimiento emergente. Existe una infinidad de mantenimientos poco comunes, que también son aplicables, como el mantenimiento proactivo, cuando se realiza una acción en la que se rediseña el equipo para mejorar la funcionalidad del mismo, o para eliminar la probabilidad de una falla detectándola anticipadamente.

Asimismo existen las técnicas de mantenimiento basados en la condición del equipo (mantenimiento predictivo y monitoreo por condición). Sin embargo, muchas veces tiende a no tenerse claro la diferencia entre estas dos estrategias. Si bien es cierto, se complementan entre sí, y tienen mucha similitud entre ellas, pero tienen enfoques diferentes.

7.1. Mantenimiento predictivo y monitoreo por condición

En su investigación (Altmann, 2007) define las técnicas las estrategias de mantenimiento predictivo:

- Mantenimiento predictivo: se enfoca a los síntomas de las fallas, y se basa en la utilización de herramientas predictivas: análisis de vibraciones, análisis de lubricantes, ensayos no destructivos y análisis de corriente en máquinas eléctricas.

- Monitoreo por condición: similar al mantenimiento predictivo, se enfoca hacia los síntomas de los efectos o síntomas de las fallas, utilizando herramientas para monitorear el desempeño de un equipo, comparando variables físicas para anticiparse a los modos de falla.

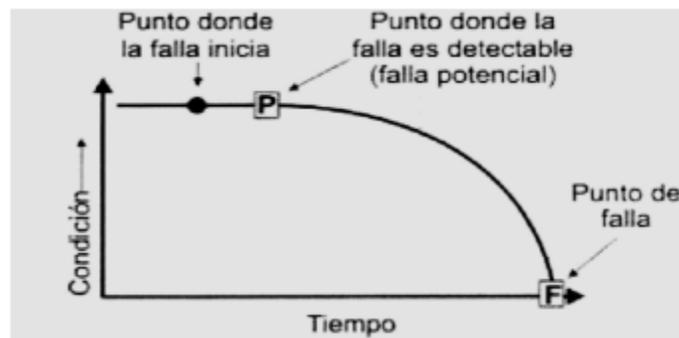
Altmann (2007) afirma que los pilares son las técnicas de inspección por sentidos (VOSO), inspecciones a través de ensayos no destructivos (END), y monitoreo de las condiciones dinámicas de la maquinaria.

- Vibraciones
- Monitoreo de temperatura
- Inspección mediante termografía infrarroja
- Ultrasonido
- Monitoreo de la condición del lubricante
- Medición del desempeño de equipos:
 - ✓ Presión
 - ✓ Caudal
 - ✓ Potencia entregada
 - ✓ Consumo eléctrico
 - ✓ Consumo de combustible

En otra definición: “El monitoreo por condición es el chequeo del estado de salud del equipo a través de la medición de una variable física, que se considere representativa del mismo, y su respectiva comparación con valores estándar o una norma que nos permitan diagnosticar si el equipo está en óptimas condiciones o, si por el contrario su estado está deteriorado” (*Evaluation Of Machine Vibration by Measurements on non-rotating Parts*, DIN ISO 10816-3, p. 3)

El objetivo principal del monitoreo por condición es detectar la alerta temprana, de manera de poder programar y planificar la ejecución de la acción para disminuir la probabilidad existente de fallas catastróficas. Con el fin de aumentar la disponibilidad del equipo, disminuir costos de reparación y por consecuencia los costos de oportunidad que conllevan detener un equipo para brindar un mantenimiento y en general, aumentar la confiabilidad del equipo (Altmann, 2007).

Figura 1. **Gráfico de condición versus tiempo de un elemento mecánico**



Fuente: ALTMANN, *Las técnicas de monitoreo de condición, como herramienta del mantenimiento proactivo*. 2007. p. 4.

Según Altmann (2007) existe un punto determinado entre el punto P y F, en el cual automáticamente se genera la probabilidad de una falla potencial, que va incrementándose con el paso del tiempo. El objetivo del monitoreo por condición es determinar el intervalo de tiempo más cercano al punto donde inicia la falla, en el cual la vida útil del componente analizado es igual al período de tiempo establecido por los límites condenatorios, ya evaluados y analizados.

7.2. Conceptos básicos del sonido

- “El sonido tiene como su fuente alguna propiedad vibratoria. Viaja a través de un medio y es percibido por el receptor como un “sonido”” (UE Systems, 1997, p.10).
- Baja frecuencia, alta frecuencia: “Las ondas de baja frecuencia harán vibrar las superficies sólidas varias longitudes de onda y harán que los muros y grandes objetos parezcan transparentes. Las ondas de alta frecuencia, son cortas y débiles, por lo que no pueden penetrar objetos sólidos” (UE Systems, 1997, p.15).
- Un decibel: “Expresión logarítmica de una relación de dos amplitudes o intensidades de energía acústica. El decibel es la unidad práctica para los niveles de intensidad relativa de sonidos audibles. En general, mayor la intensidad, más fuerte el tono escuchado” (UE Systems, 1997, p.17).
- Amplitud: “La amplitud de una onda de sonido puede ser ilustrado por la oscilación de una péndulo, en el cual la distancia desde el punto de reposo al punto máximo de oscilación es la amplitud. Amplitud de una onda de sonido no depende de la frecuencia de la onda” (UE Systems, 1997, p.17).
- Propagación del sonido: “El sonido, como se le conoce habitualmente, se propaga en forma de ondas. Una diferencia de importancia de estas ondas, producidas por medios elásticos, y las llamadas electromagnéticas (luz, rayos X, Gamma, entre otros) es que las ondas sonoras necesitan de un medio para transportarse (sea sólido, líquido o gaseoso), mientras que las últimas no” (Rimoldi, 2006, p. 8).

7.2.1. Frecuencias del sonido

Referente a las frecuencias del sonido, Rimoldi (2006) afirma que, más allá de todas las divisiones que puedan ser hechas se sabe que no todo el rango de frecuencias es audible para el oído del ser humano. Solamente es un cierto rango el cual puede diferir entre individuos y que puede variar con la edad. El límite inferior de audibilidad se halla alrededor de 16 Hz y el superior alrededor de 20 KHz. Los rangos de interés son:

- Subsónico: $f < 16\text{Hz}$: en este rango no se escucha ningún tono, solo se notará presión.
- Sónico: $16\text{Hz} \leq f \leq 20\text{KHz}$, rango audible por el ser humano.
- Ultrasónico: $f > 20\text{KHz}$.

Las frecuencias utilizadas en los ensayos ultrasónicos se encuentran en el rango de 0,5 a 25 MHz

7.3. Ultrasonido propagado por aire

En su investigación Olarte & Botero (2011) define: “La detección de ultrasonido es una técnica empleada en el mantenimiento industrial basada en el estudio de las ondas sonoras de alta frecuencia que se producen en los equipos cuando algo anormal está sucediendo.” (p. 231).

Olarte & Botero (2011) afirma que para detectar el ultrasonido, se utiliza un instrumento llamado detector de ultrasonidos el cual está diseñado para capturar ondas ultrasónicas y convertirlas en señales con frecuencias dentro del rango de audición humana. Este dispositivo cuenta con la tecnología necesaria para que una vez convertidas las ondas de ultrasonido puedan escucharse a

través de audífonos o visualizarse en un display por medio de un aumento de su intensidad. (p. 231).

En su definición de ultrasonido propagado por aire (UE Training Systems, 1997) menciona en su guía de certificación que el ultrasonido es una extensión de nuestra percepción auditiva, 20 KHz a 100 kHz. La percepción auditiva humana es de 20 Hz a 20 kHz. El equipo muestra una imagen visual de un sonido como la amplitud y los componentes frecuenciales del mismo en tiempo y amplitud.

El equipo puede ser aplicado para la localización de fugas de aire comprimido u otros flujos gaseosos. Inspección en elementos mecánicos rotativos, como motores, bombas, ventiladores, rodamientos. Inspecciones mecánicas estacionarias, como: válvulas, trampas de vapor, tuberías, intercambiadores de calor, e inspecciones eléctricas, como transformadores, motores eléctricos, líneas de transmisión, entre otros.

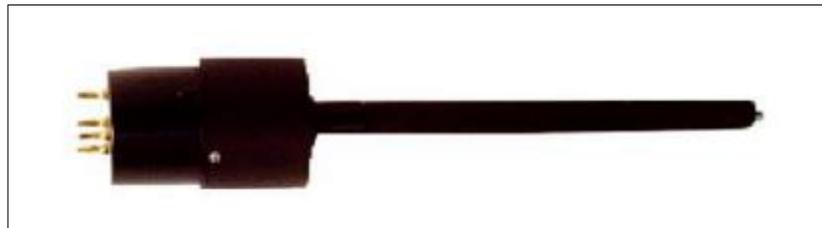
7.3.1. Módulo de contacto

El módulo de estetoscopio es un sensor aislado enchufable con protección RF: punta de acero inoxidable de 4 ½" de largo, de forma cónica para contacto uniforme en superficie. La punta es intercambiable con un juego de extensión. Este consiste de 3 piezas: varillas de metal, segmentadas para incrementar el rango de contacto del estetoscopio 20" y 31". (UE Training Systems, 1997).

Debido a que el ultrasonido no viaja efectivamente por más de un medio, es necesario utilizar el módulo estetoscopio (o contacto). Este sensor metálico es estimulado por ultrasonidos y actúa como una guía de ondas cuando se toca

la superficie. La guía de onda es conectada al transductor piezoeléctrico donde la energía acústica conducida por la guía de ondas es convertida en energía eléctrica (UE Training Systems, 1997).

Figura 2. **Módulo de contacto (estetoscopio), Ultraprobe 10000**



Fuente: *Manual de instrucciones Ultraprobe 10000*, 2008, p. 2.

7.4. Rutas de monitoreo por condición y modos de falla

Es necesario basar un programa de rutas de monitoreo por condición en un sistema de modos de falla, en donde sea posible identificar con líneas de referencia cuándo una falla está próxima por ocurrir.

Altmann (2007) define modo de falla como: “Un evento que causa una falla funcional o pérdida de función. Los modos de falla toman acción cuando ocurre un efecto o consecuencia en el equipo, impidiendo que este realice la función para la cual fue diseñado. Un análisis de consecuencias consiste en determinar las acciones que se deben tomar para anticipar, prevenir, corregir o detectar la falla, o en algunas situaciones qué acciones se deberán tomar para modificar el equipo para que el modo de falla no ocurra”.

Muchas veces, definir estas acciones es más complicado cuando varios efectos resultan de una misma causa, por lo que deben realizarse análisis más profundos. Es conveniente agrupar los modos de falla de la siguiente manera:

- Desgaste y deterioro
- Errores humanos en la ejecución, en operación o en mantenimiento
- Problemas de diseño

Cabe resaltar que los modos de falla no son aplicables para componentes eléctricos y electrónicos, debido a que la falla se presenta, en su mayoría de veces sin oportunidad de detectarlo de forma anticipada, y por lo tanto, las estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo y proactivo no pueden llevarse a cabo en estos casos (Altmann, 2007, p. 3).

Respecto al análisis de tendencias y el establecimiento de la línea de referencia en decibeles para rodamientos de baja revolución obtenida por las mediciones ultrasónicas, Fuentes Espinosa (2010), indica que: “El diagnóstico de falla para rodamientos de baja revolución debe darse conforme la tendencia de las mediciones vaya marcando los límites de referencia normales, es decir, los decibeles en que estos funcionan normalmente”. (p.11).

Cuando esta línea de referencia está establecida pueden existir alertas de referencia como muestra la tabla I.

Tabla I. **Modos de falla de rodamientos de baja revolución**

Modo de falla del rodamiento	Decibeles sobre la referencia	Acción recomendada
Prefalla o falta de lubricación	8 – 10 db	Lubricar y retomar las lecturas
Primeros síntomas o comienzo de la falla	10 – 12 db	Vigilar en el tiempo
Falla	16 db	Programar su reemplazo (próximo período conveniente)
Falla catastrófica	35 – 50 db	Remover y reemplazar de inmediato

Fuente: FUENTES ESPINOSA, Fernando, *Ultrasonido: una técnica predictiva muy versátil en el mantenimiento*. 2010. p. 11.

Claramente, estas recomendaciones dependerán y podrán variar respecto a las mejores prácticas desempeñadas de los rodamientos analizados, y se relacionarán directamente con la línea de referencia que se establecerá.

7.5. Diferencia entre ultrasonido propagado por aire y análisis de vibraciones

El ultrasonido extiende la habilidad de escuchar ondas sonoras que están por encima de la capacidad auditiva. El análisis de vibraciones aumenta el sentido del tacto para capturar pequeños movimientos (Fuentes, 2010, p. 17).

Esto quiere decir, que el ultrasonido actúa como una extensión al oído para determinar el inicio de una falla, sin embargo, no indica la causa específica del cambio. Por lo tanto, bajo situaciones específicas donde se requiera obtener mayor información sobre lo acontecido con la falla que ya se conoce, se deberá

intervenir con análisis de vibraciones. Este detectará el origen del impacto que afecta al rodamiento.

7.6. Monitoreo por condición con ultrasonido para rodamientos de baja revolución

Monitoreo de los rodamientos de baja velocidad es posible con la tecnología de ultrasonido. La mayoría de los instrumentos de ultrasonido tendrán una amplia gama de sensibilidad y algunos tendrán sintonización de frecuencia. Con estas características es muy posible escuchar a la acústica la calidad de los rodamientos. En los cojinetes extremadamente lentos (menos 25 RPM), a menudo es necesario hacer caso omiso de la pantalla del medidor y escuchar el sonido del rodamiento.

En estas situaciones extremas, los cojinetes suelen ser grandes (1/2" o más) y engrasados con aceite de alta viscosidad. Muy a menudo no se escuchará ningún sonido, ya que la grasa va a absorber la mayor parte de la energía acústica. Si se oye un sonido, por lo general un crepitante sonido, hay algunos indicios de deformidad ocurriendo.

En la mayoría de otros rodamientos de baja velocidad es posible establecer una línea de base y el monitor como se describe anteriormente (Goodman, 2008).

8. CONTENIDO

El contenido de este trabajo se concentra en el resultado de reunir la información suficiente para lograr determinar una guía eficaz en el diseño de rutas de monitoreo por condición, que serán útiles para determinar las acciones preventivas mecánicas a tomar, para prolongar la vida útil de los rodamientos de los rodos de sellado de sobre y blíster de la planta Bayer, S. A., tomando como base el uso de un detector ultrasónico propagado por aire.

9. ÍNDICE PROPUESTO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

1.1. Descripción de rodos de sellado

1.1.1. Descripción de rodos de sellado de sobre

1.1.2. Descripción de rodos de sellado de blíster

1.1.3. Parámetros de operación

1.1.3.1. Rangos de temperatura

1.1.3.2. Rangos de revolución

1.1.3.3. Rangos de presión de sellado

1.1.4. Mantenimiento preventivo y limpieza de rodos de sellado

1.2. Grasas y lubricantes

1.2.1. Restricciones de grasas lubricantes en planta

1.2.2. Especificaciones grasa para altas temperaturas

2. APLICACIONES DEL ULTRASONIDO PROPAGADO POR AIRE

2.1. Inspección de fugas de aire

- 2.2. Inspección mecánica
 - 2.3. Inspección propagado en estructuras
 - 2.4. Otras aplicaciones
3. DETECCIÓN DE FALLAS EN RODAMIENTOS
- 3.1. Falta de lubricación
 - 3.2. Sobre lubricación
 - 3.3. Rodamientos de baja revolución
4. ULTRASONIDO PROPAGADO POR AIRE
- 4.1. Principios básicos del sonido
 - 4.1.1. Movimiento de ondas de sonido
 - 4.1.2. Distribución de energía de sonido
 - 4.1.3. Componentes del sonido
 - 4.1.4. Penetración del sonido
 - 4.1.5. Velocidad
 - 4.1.6. Longitud de onda
 - 4.1.7. Decibel
 - 4.1.8. Amplitud
 - 4.2. Nivel de intensidad de sonidos
 - 4.2.1. Localización de fuente de energía
 - 4.2.2. Ondas longitudinales
 - 4.2.3. Ángulo de incidencia
 - 4.2.4. Reflexión
 - 4.2.5. Absorción
 - 4.2.6. Dispersión
 - 4.2.7. Atenuación

5. TENDENCIAS DE INSPECCIÓN MECÁNICA

- 5.1. Inspección de rodamientos de baja revolución
- 5.2. Inspección visual
- 5.3. Rutas de inspección
- 5.4. Software profesional
- 5.5. Condiciones de inspección
- 5.6. Hojas de verificación de inspección
- 5.7. Documentación

6. ANÁLISIS DE DATOS

- 6.1. Obtención de líneas de referencia
- 6.2. Límites condenatorios y criterios de aceptación
- 6.3. Método histórico *versus* método de comparación
- 6.4. Guías de diagnóstico de falla de rodamientos
- 6.5. Frecuencia de lubricación de rodamientos de baja revolución
- 6.6. Presentación de resultados
- 6.7. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BLIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

La metodología para la realización de este trabajo se basa en el entendimiento del uso del Ultraprobe 10000, como la herramienta principal para la diseño de este trabajo.

Por lo que, la metodología y técnicas de este trabajo se desglosan por medio de las siguientes fases:

- Primera fase: se deberá empezar por realizar reuniones periódicas con las personas más experimentadas en el manejo del equipo. Seguido de capacitaciones puntuales sobre la forma de usar este equipo con asesores externos, de manera que los conocimientos sean más claros y amplios, y que los supervisores y técnicos mecánicos y eléctricos estén mayormente involucrados en el uso de este programa.

Luego de conocer la criticidad de los elementos a evaluar se trazarán rutas de inspección utilizando el software DMS Ultratrend como herramienta de control. Para esto se llevará una base de datos con todos los equipos que se evaluarán, se almacenarán históricos, los puntos de medición, las anotaciones durante las inspecciones y se trazarán las rutas programadas.

- Segunda fase: se elaborarán los procedimientos a implementar, con las cuales se definirán las responsabilidades, los alcances, y las actividades a realizar. Se diseñarán hojas de verificación que servirán para anotar las variaciones detectadas durante las inspecciones de ultrasonido

(frecuencia, sensibilidad y ajustes del medidor; lecturas del medidor, fechas, entre otros)

Las hojas de verificación incluirán una ruta específica para inspecciones visuales, donde se anotarán variaciones de temperatura, descripciones visuales, y auditivas, y anomalías evidentes.

Se recopilará la información y se realizará un informe detallado de los resultados obtenidos en cada medición.

- Tercera fase: se iniciará la creación de nuevos documentos para la implementación de la técnica, como la orden de trabajo de las rutas de monitoreo por condición, procedimiento de calibración del detector ultrasónico Ultraprobe 10000, e instructivos adyacentes para el uso del equipo, entre otros.
- Cuarta fase: se establecerán patrones de diagnóstico basado en las recomendaciones del proveedor, y utilizando técnicas BDP (Best demonstrated practice), para determinar los criterios de aceptación.

Se utilizará el método comparativo para establecer la condición de línea base de referencia. Se marcará el punto donde se realiza la inspección. Se utilizará un módulo de contacto para las mediciones. Para análisis de tendencias se utilizará el método de curva de transferencia (atenuación), para determinar las modalidades de falla por fatiga de los rodamientos basado en las variaciones de decibels sobre la línea base.

- Quinta fase: se definirá la periodicidad y cantidad apropiada de lubricación de los rodos de sellado, con base al diagnóstico de falla

determinado de la fase anterior. Se realizarán los análisis con los datos obtenidos, y se presentarán los resultados obtenidos en este trabajo, y finalmente las conclusiones y recomendaciones.

11. OBTENCIÓN DE DATOS

La etapa consiste en la obtención de datos obtenidos por el detector ultrasónico Ultraprobe 10000, resultante de las rutas de inspección de monitoreo por condición. Los datos obtenidos serán por medio de las variaciones en decibeles detectadas en las mediciones del detector en los rodamientos de los rodos de sellado y en comparación con las líneas de referencia establecidas.

También se obtendrán datos descriptivos de las inspecciones visuales, que serán útiles para la programación y planificación de mantenimientos correctivos, como por ejemplo, la detección de fugas de aceite hidráulico, fisuras en piezas metálicas, elementos en mal estado, elementos faltantes, condiciones inseguras, aprietes de tornillos, mala condición de guardas de seguridad, elevación de temperaturas en partes mecánicas y eléctricas, desgaste en piezas, ajuste de piezas y sensores y demás variaciones mecánicas y eléctricas, que se evidenciarán durante las inspecciones periódicas.

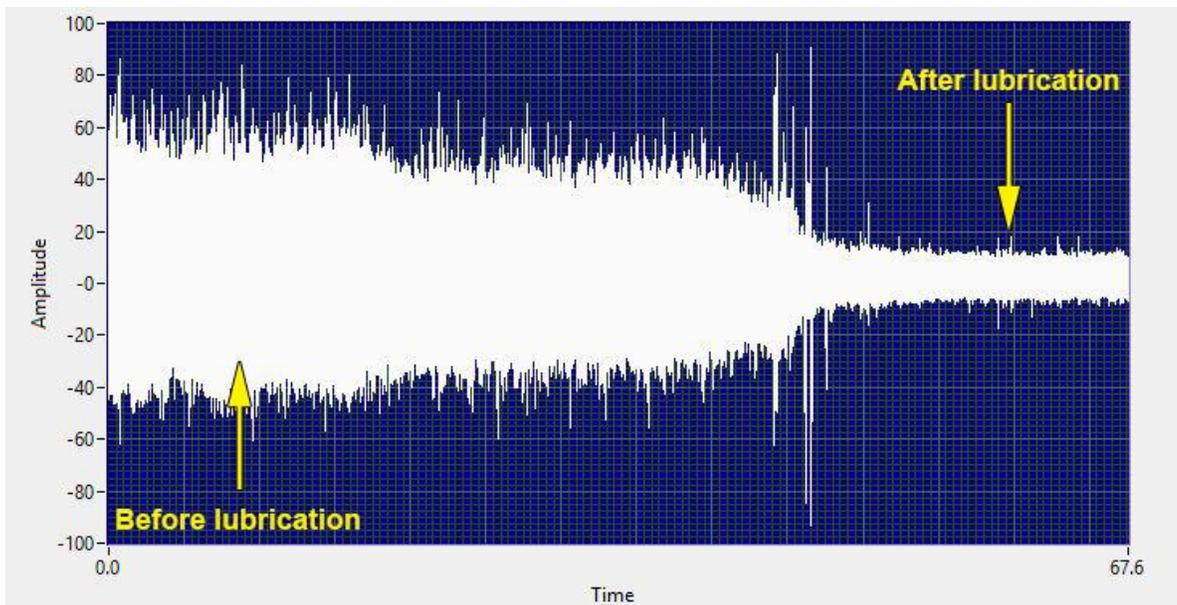
12. ANÁLISIS FINAL

Se determinarán los diferentes modos de falla por fatiga. Por medio de los datos obtenidos será posible determinar la condición de rodamientos en elementos mecánicos rotativos de baja revolución.

13. ANÁLISIS DE DATOS

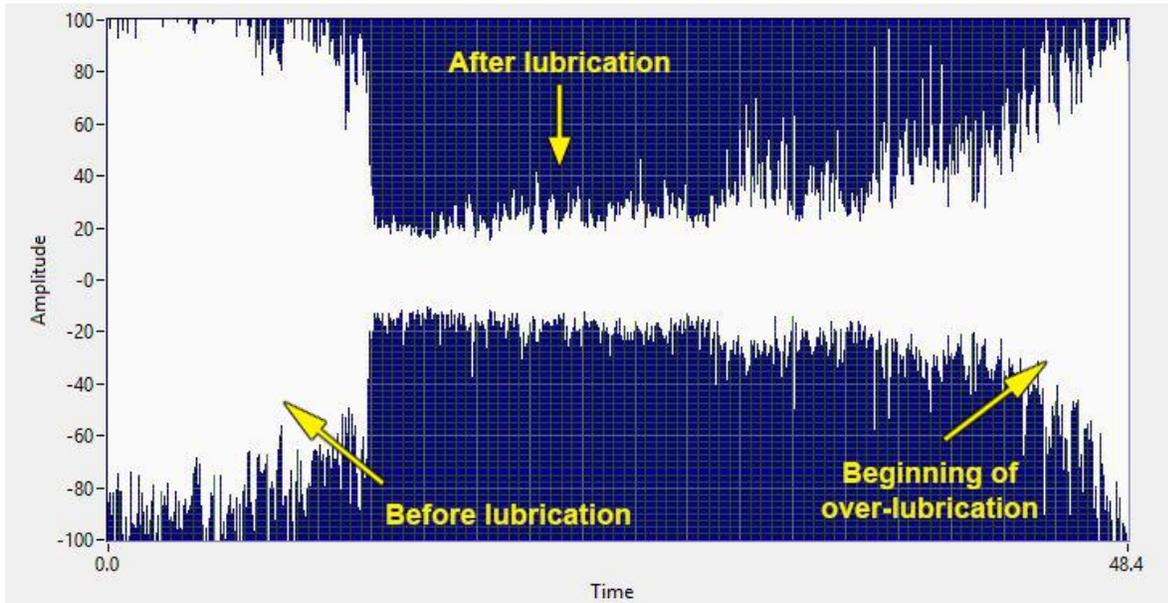
Con los datos obtenidos por Ultraprobe 1000 se encontrarán las variaciones de amplitud que existen entre los decibels de los diferentes rodamientos sometidos al ejercicio. Con el análisis de estas variaciones se lograrán detectar diversas acciones para prolongar la vida útil del elemento analizado, o bien, detectar el momento de recambio del mismo. Con esto se reducirán tiempos de paros por mantenimientos de emergencia, y se reducirán costos de mantenimientos preventivos innecesarios.

Figura 3. **Variación de un rodamiento antes y después de lubricación**



Fuente: MESSER, Adrian, *Using ultrasound to improve lubrication practices*, 2011. p. 1.

Figura 4. **Variación de amplitud de un rodamiento entre pobre, ideal y sobrelubricación**



Fuente: MESSER, Adrian, *Using ultrasound to improve lubrication practices*, 2011. p. 1.

Como se muestra en la figura 3 se evidencia el cambio sustancial entre una acción preventiva rutinaria como la lubricación de un rodamiento, en la que su amplitud se ve reducida considerablemente.

Por otro lado, se realizarán gráficos de control para determinar la variación que existe entre rodamientos de similar revoluciones por minuto, carga de trabajo y temperatura, en donde se logrará evidenciar la degradación de uno rodamiento respecto al otro.

Las fases para el análisis de datos se desglosan de la siguiente manera:

- Fase 1

Se recopilará toda la información proveniente de las mediciones del detector ultrasónico por medio de grabaciones cortas, y anotaciones de las condiciones en las que se realizaron las inspecciones.

- Fase 2

Se alimentará una base de datos en el software del equipo, especificando las ubicaciones y equipos inspeccionados, detallando los valores en decibeles máximos y mínimos detectados por el ultrasonido.

- Fase 3

Se analizarán tendencias y cambios evidentes en el historial y gráficos de la base de datos de cada equipo inspeccionado, esto permitirá establecer una referencia del rodamiento en funcionamiento normal y se definirán las acciones preventivas para continuar en este estado.

14. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Fase	Descripción	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Realizar análisis GAP (análisis de brechas)																	
	Identificar equipos a utilizar para inspecciones																	
	Identificar y etiquetar equipo ultrasónico																	
	Realizar análisis FMEA de equipos de líneas de eléctricas y área estándar																	
	Programación de reuniones con supervisores y jefes del Departamento para establecer la nueva aplicación del equipo																	
	Programación de capacitaciones																	
	Programación de visitas del proveedor para asesorías e inducción al equipo																	
	Obtener software DMS Ultratrend y capacitación																	
	Establecer reglas críticas																	
	Establecer periodicidad de las reglas																	
2	Elaborar procedimientos de inspecciones con detector ultrasónico																	
	Asignar responsables y actividades a realizar																	
	Elaborar hojas de verificación de actividades y anotaciones anexas de las inspecciones																	
	Elaborar reportes de estatus actual previo a las inspecciones, incluyendo indicadores de disponibilidad, eficiencia de las líneas y costos																	
	Diseño de la orden de trabajo para monitoreo por condición																	
3	Diseño de procedimiento de calibración de detector ultrasónico																	
	Elaboración de instructivos																	
	Recaudación de datos, mediante las primeras inspecciones																	
4	Reuniones con proveedor																	
	Establecimiento de patrones de diagnóstico de falla																	
	Ordenamiento de datos obtenidos																	
5	Comparación de gráficos																	
	Establecimiento de líneas de referencia y criterios de aceptación																	
	Conclusiones																	
	Recomendaciones																	

Fuente: elaboración propia

15. RECURSOS NECESARIOS

Los costos para este trabajo se verán reducidos, porque ya se cuentan con los equipos a utilizar, por lo que los costos estarán enfocados al adiestramiento del personal y a la obtención de herramientas auxiliares para la medición.

Tabla II. Recursos necesarios

No.	Descripción	Costo por unidad	Cantidad a emplear	Costo total por renglón
1	Certificación de ultrasonido Nivel I	Q 12 480,00	1	Q 12 480,00
2	Capacitaciones a técnicos	Q 2 000,00	4	Q 8 000,00
3	Pago por asesoría técnica	Q 2 500,00	1	Q 2 500,00
4	Boroscópio digital	Q 1 500,00	1	Q 1 500,00
5	Software Ultratrend DMS incluyendo inducción al uso	Q 7 800,00	1	Q 7 800,00
TOTAL				Q 32 280,00

Fuente: elaboración propia.

El detector Ultraprobe 10000 es un instrumento capaz de transformar los pequeños sonidos de frecuencias demasiado altas en ondas acústicas perceptibles al oído humano. Consta de las siguientes partes y accesorios, como se muestra en la figura 6.

- Pistola
- Auriculares

- Cargador de batería
- Generador de tono WTG-1
- Mango y carcasa de la pistola
- Módulo escáner trisónico
- Batería
- Transductor magnético y base
- Módulo de largo alcance con puntero laser
- Varillas de extensión STM
- Sonda de enfoque de hule
- Módulo de contacto (estetoscopio)

Figura 5. **Detector ultrasónico Ultraprobe 10000**



Fuente: UE Systems, *Manual de instrucciones Ultraprobe 10000*. p. 49

Figura 6. **Ultraprobe 10000**



Fuente: UE Systems, *Manual de instrucciones Ultraprobe 10000*, p. 8

- Pistola: cuenta con pantalla de exhibición que es la sección de la pistola que muestra parámetros de inspección como: niveles de intensidad (en dB y como gráfico de barras), frecuencia, nivel de carga de batería, nivel de sensibilidad, valor de sensibilidad, modo de exhibición y campo de selección de función. Los niveles de intensidad son mostrados simultáneamente como un valor numérico en decibeles y una gráfica de barras de 16 segmentos (cada segmento equivale a 3 dB). La frecuencia más común igual a 40 kHz es usada para la detección de fugas generales e inspección eléctrica. Las frecuencias se pueden sintonizar

cuando se realizan inspecciones con cualquiera de los módulos para conectar en el detector. El modo de exhibición indica que modo de operación del instrumento. Aparece en la pantalla como:

- RT para Real Time
- PH para Peak Hold
- SS para Snap Shot
- RTO para Real time “offset”
- PHO para Peak hold “offset” y
- SSO para Snap shot “offset”

Figura 7. **Pantalla de exhibición**



Fuente: UE Systems, *Manual de instrucciones Ultraprobe 10000*. p. 12

Tabla III. **Especificaciones Ultraprobe 10000**

Construcción	Tipo pistola portátil, en aluminio revestido y plástico ABS
Circuitos	Circuitos analógicos de estado sólido y circuitos digitales SMD con compensación de temperatura y conversión real RMS
Rango de frecuencia	20 KHz a 100 KHz (ajustable en cambios de 1 KHz)
Tiempo de respuesta	< 10 ms
Pantalla	64x128 LCD con luz de respaldo LED
Memoria	400 espacios de grabación
Batería	Litio NIMH recargable
Temperatura de operación	0°C to 50°C (32°F to 122°F)
Salidas	Salida heterodina calibrada, decibelios (dB), frecuencia, y salida RS-232
Módulos	Módulo de escaneo trisónico, módulo de estetoscopio. Módulo de largo alcance y RAS/RAM
Auriculares	Auriculares de lujo atenuadores de ruido ambiente para utilización con casco de seguridad
Indicadores	dB, frecuencia, estatus de carga de batería y grafica Barras de 16 segmentos
Sensibilidad	Detecta un diámetro de fuga de 0.127 mm (0.005") a 0.34 bar (5 psi) a una distancia de 15.24 m (50 ft.)
Umbral	1 x 10 ⁻² std. cc/sec to 1 x 10 ⁻³ std. cc/sec.
Dimensiones	Kit completo en maletín de transporte de aluminio marca Zero Halliburton 55 x 47 x 20 cm (21.5" x 18.5" x 8")
Peso	Pistola: 1.1 kg (2.35 lbs.) Maletín de transporte completo: 8.6 kg (19 lbs)
Modos de operación	Tiempo real, instantáneo, detección de lectura pico, pantalla de almacenamiento y pantalla de aplicaciones específicas

Fuente: UE Systems, *Manual de instrucciones Ultraprobe 10000*, p. 62

El personal del Departamento de Mantenimiento Mecánico deberá ser sometido a capacitación para poder realizar las mediciones, con asesoría técnica del proveedor de servicios de mantenimientos predictivos y de análisis de riesgos.

Se asignará un ingeniero mecánico para representar al Departamento Mecánico de la planta para optar por la certificación inspector de ultrasonido nivel I, con esto será capaz de completar los requisitos educacionales y las responsabilidades de experiencia, por lo que podrá:

- Realizar calibraciones, pruebas y evaluaciones para determinar la aceptación o rechazo de equipos inspeccionados según las instrucciones escritas específicas.
- Registrar resultados de pruebas, pero sin autoridad para firmar el reporte para el propósito de análisis significativo de indicaciones identificadas durante la inspección ultrasónica.
- Recibir instrucciones o supervisión de un nivel III o designado.

El personal técnico mecánico será sometido a una capacitación práctica impartida por el proveedor del equipo, donde se explicará cómo utilizar el detector de manera adecuada, la descripción, montaje y desmontaje de todos los módulos adicionales y accesorios del dispositivo.

Se entregarán dos licencias para el software profesional DMS Ultratrend y se impartirá la instrucción al uso.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO RUIZ, Adriana María. *Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo*. Santander, España. Universidad Industrial de Santander. 2012. 130 p.
2. ALTMANN, Carolina. *Las técnicas de monitoreo de condición, como herramienta del mantenimiento proactivo*. Buenos Aires, Argentina. Adine. 2007. 9 p.
3. AMENDOLA, Luis. *Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento*. Valencia, España. Universidad Politécnica Valencia España. 2001. 4 p.
4. AUTAR, Raman. *An Alternative and (More) Effective Methodology for Idler Condition Monitoring to Enhance*. Hay St. Subaico, Australia. 2008. 3 p.
5. BERNAL MONROY, Williams José. *Determinación de la rutina de mantenimiento predictivo como resultado del análisis de muestras de aceite usado para un motor de combustión interna marca John Deere modelo 6081*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería. 2013. 77 p.

6. EMMANUELE, Jean-Paul; y MURPHY, Thomas J., *Monitorización de rodamientos a baja velocidad*. Cobourg, Ontario. Preditécnico. 2014. 3 p.
7. FUENTES ESPINOSA, Fernando. *Ultrasonido: una técnica predictiva muy versátil en el mantenimiento*. Talca, Chile. Universidad de Talca. 2010. 20 p.
8. GARCÍA GRIJALBA, Luis Alfonzo. *Manual de operación, diseño y propuesta de implementación del programa de monitoreo por condición en la planta San Miguel de Cementos Progreso, S. A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería. 2004. 159 p.
9. GOODMAN, Mark. *Ultrasonic tips on monitoring bearings for proper lubrication and wear*. Elmsford, NY. UE Systems, Inc. 2008. 8 p.
10. La detección de ultrasonido: *Una técnica empleada en el mantenimiento predictivo*. Scientia et Technica Año XVII, No 47. Pereira, Risaralda, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. 2011. 4 p. ISSN 0122-1701
11. LÓPEZ, Elfego Rolando. *La industria farmacéutica y su proyección en el sistema de salud en Guatemala. Programa de formación de auditores en buenas prácticas de manufactura farmacéutica*. Ciudad de Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala. 2011. 20 p.
12. MESSER, Arian. *Using ultrasound to improve lubrication practices*. Elmsford, NY. UE Systems. 2011. 1 p.

13. MURPHY, Thomas J. *Using Ultrasound for Effective Inspection of Slow Speed Bearings*. [en línea] Reliabilityweb.com, 2011. 3 p. [Consulta: abril de 2015].
14. OLARTE, William; y BOTERO, Marcela. *La detección de ultrasonido: Una técnica empleada en el mantenimiento predictivo*. Scientia et Technica año XVII, No 47. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. 2011. 4 p.
15. PEDROUZO TELLO, José Antonio; QUINTERO, Nelson Federico. *La aplicación del ultrasonido como tecnología complementaria en un plan de mantenimiento predictivo*. Sevilla, España. Universidad de Sevilla. 2009. 43 p.
16. RIMOLDI, Claudio; MUNDO, Luis Mariano. *Ensayo no destructivo por método de ultrasonido*. Sevilla, España. Facultad de Ingeniería, Departamento de Aeronáutica. 2012. 48 p.
17. RIVERA, Jorge Esteban; y PALACIO, Jorge Andrés, *Implementación de programa de mantenimiento predictivo mediante la técnica de ultrasonido de la cooperativa colanta Ltda*. Antioquia, Colombia. Universidad de Antioquia. 2008. 41 p.
18. ROSALES, Gustavo León, *Estudio de ultrasonido propagado en aire en área de cuda*. Querétaro, México. Universidad Tecnológica Querétaro. 2012. 51 p.
19. UE TRAINING SYSTEMS, *Airborne ultrasound Level I*. Elmsford, NY. UE Systems, Inc.1997. 165 p.

APÉNDICES

Figura 8. Rodos de sellado de sobre



Fuente: rodos de sellado de sobre en la planta Bayer, S. A.

