



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO FASE II PRÁCTICA PROFESIONAL

PREDICTIVE MONITORING SYSTEM (PMS)

PRESENTADO POR:

21721019 GERARDO MANUEL FONSECA LOZANO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

ASESOR: ING. REYNA VALLE

CAMPUS SAN PEDRO SULA; JULIO, 2022

DEDICATORIA

En primer lugar, dedicado a Dios por permitirme haber dado paso firme hasta alcanzar la meta, por darme la sabiduría, madurez necesaria para toma de decisiones en favor de culminar una meta más.

Dedicado a Miguel Fonseca y María Lozano, mis padres. Por sus consejos, apoyo, esfuerzo y motivación ya que sin la ayuda de ellos hubiera sido imposible lograrlo. Su sabiduría y enseñanza son las que me han permitido superar los diferentes obstáculos y continuar desarrollándome como profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por la oportunidad de desarrollarme cada día, por darme salud, prosperidad, vida tanto a mi como a todos mis seres queridos y de estar próximo a culminar mi carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

A mi madre, por haberme aconsejado y brindado el apoyo necesario para desarrollarme y no darme por vencido, a mi padre por todo el apoyo moral, físico para nunca rendirme y siempre buscar mi comodidad, a ambos por haberme brindado y seguirme brindando la confianza en todo el proceso de estudio, por mostrarme, obligarme y apoyarme para culminar esta carrera.

A mis hermanos por ser un ejemplo por seguir y apoyarme desde el principio dándome consejos para mi etapa universitaria.

A mis amigos por su guía, apoyo y por hacer cualquier momento de tristeza en felicidad, por sus consejos, deseos y palabras de motivación.

EPÍGRAFE

"Todos los triunfos nacen cuando nos atrevemos a comenzar"

Eugene Ware

RESUMEN EJECUTIVO

El mantenimiento predictivo es una tecnología muy importante que debe aplicarse en las empresas del rubro textil, alimenticio, agrícola y comercial ya que realizar este tipo de ensayos permite predecir posibles fallos, desgaste existente, desgaste futuro y defectos que tiene o podría tener una máquina cuando está realizando su ciclo normal de producción, las ventajas de realizar este tipo de mantenimiento además de la prevención de fallas son: no detener la producción ya que este mantenimiento se realiza en tiempo real y ahorro de costos al aprovechar el máximo porcentaje de la vida útil de los diferentes componentes de los procesos industriales. PMS se encarga de realizar este tipo de mantenimiento a las diferentes empresas, en las siguientes ramas: termografía infrarroja, vibraciones mecánicas, ultrasonido acústico, balanceo dinámico, alineamiento láser. Tener un departamento de mantenimiento predictivo en una empresa requiere una gran inversión por los equipos utilizados y por la capacitación del personal en normativa especializada (ASTM, IEEE, ASME, ISO). Se realizaron diferentes procesos durante el lapso de diez semanas de práctica profesional, desempeñando el puesto de ingeniero de tecnologías predictivas, documentando de manera cronológica los diferentes trabajos, fallas, soluciones y equipos utilizados en las diferentes prácticas realizadas en las diferentes empresas nacionales e internacionales.

Palabras clave: costos, mantenimiento, normativa, predictivo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	3
II.	Generalidades de la empresa.....	4
2.1	Descripción de la empresa.....	4
2.1.1	Historia de la empresa.....	4
2.1.2	Misión.....	4
2.1.3	Visión.....	5
2.1.4	Ubicación.....	5
2.2	Descripción del departamento.....	6
2.2.1	Organigrama.....	6
2.2.2	Departamento asignado.....	6
2.3	Objetivos del puesto.....	7
2.3.1	Objetivo general.....	7
2.3.2	Objetivos específicos.....	7
III.	Marco teórico.....	8
3.1	Análisis del rubro.....	8
3.1.1	Conceptualización del rubro.....	8
3.1.2	Análisis del rubro en microentorno.....	9
3.1.3	Análisis del rubro Interno/Local.....	10
3.2	Tecnologías predictivas.....	12
3.2.1	Vibraciones mecánicas.....	12
3.2.2	Termografía infrarroja.....	15
IV.	Desarrollo.....	17

4.1	Semana 1-3 (22/4/2022 – 11/5/2022).....	17
4.1.1	Objetivos.....	17
4.1.2	Análisis de aceite en transformadores.....	17
4.2	Semana 4 (12/5/2022 – 18/5/2022).....	23
4.2.1	Objetivos.....	23
4.2.2	Alineamiento láser en poleas.....	24
4.3	Semana 5-7 (19/5/2022 – 8/6/2022).....	26
4.3.1	Objetivos.....	26
4.3.2	Alineamiento láser en ejes.....	27
4.4	Semana 8-10 (09/6/22 – 28/6/22).....	32
4.4.1	Objetivos.....	32
4.4.2	Ultrasonido acústico.....	33
4.5	Cronograma de actividades.....	36
V.	Conclusiones.....	37
VI.	Recomendaciones.....	38
	Bibliografía.....	39
	Anexos.....	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Logo de P.M.S.....	4
Ilustración 2. Ubicación geográfica de P.M.S.	5
Ilustración 3. Organigrama PMS.....	6
Ilustración 4. Gráfico de Pareto tiempos de falla	10
Ilustración 5. Costo potencial de impacto	11
Ilustración 6. ROI tecnologías predictivas.....	12
Ilustración 7. Espectro de vibración radial.....	13
Ilustración 8. Espectro de vibración axial	14
Ilustración 9. Espectro de vibración tangencial	14
Ilustración 10. Análisis termográfico en transformador	16
Ilustración 11. Presentación 200 ml	19
Ilustración 12. Presentación 100 ml	20
Ilustración 13. Presentación de jeringa 50 ml	20
Ilustración 14. Generador.....	21
Ilustración 15. Pruebas en transformador utilizando equipo de seguridad	21
Ilustración 16. Extracción de válvula principal.....	22
Ilustración 17. Muestra 2 con aceite dieléctrico	22
Ilustración 18. Muestras.....	23
Ilustración 19. Montaje de equipo.....	24
Ilustración 20. Desalineamiento presentado	25
Ilustración 21. Alineamiento de poleas.....	26
Ilustración 22. Equipo Easy Laser para alineamiento láser en ejes.....	27

Ilustración 23. Instalación de Easy Laser.....	28
Ilustración 24. Datos del sistema.....	28
Ilustración 25. Alineamiento vertical y horizontal.....	29
Ilustración 26. Galgas calibradas utilizadas en alineamiento láser de ejes	29
Ilustración 27. Análisis de "pierna coja"	30
Ilustración 28. Resultados de análisis de "pierna coja"	30
Ilustración 29. Verificación de alineamiento	31
Ilustración 30. Alineamiento vertical y horizontal correcto.....	32
Ilustración 31. Ultrasonido acústico	33
Ilustración 32. Turbina de 125 HP.....	34
Ilustración 33. Turbina 75 HP.....	34
Ilustración 34. Cronograma de actividades.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de muestra 1.....	18
Tabla 2. Db turbina 125 HP.....	34
Tabla 3. Db turbina 75 HP.....	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha de evaluación en laboratorio de aceite dieléctrico.....	44
Anexo 2. Estado del aceite dieléctrico.....	45
Anexo 3. Dictamen alineamiento láser de poleas.....	46
Anexo 4. Dictamen alineamiento láser de ejes.....	50

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Costo de mantenimiento predictivo	9
---	---

LISTA DE SIGLAS

ANSI	American National Standards Institute
API	American Petroleum Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	Internacional Organization for Standardization
PMS	Predictive Monitoring System

GLOSARIO

Dieléctrico	Es un material cuya característica es ser un aislante eléctrico por poseer baja conductividad térmica.
Inhibidor	Sustancia encargada en reducir las reacciones químicas.
Interfacial	Es la fluidez del aceite en su interfase gaseosa y líquido.

I. INTRODUCCIÓN

La aplicación de las tecnologías predictivas es un rubro que conforme el paso de los años adquirirá más importancia en las diferentes industrias, por ser eficaz en la prevención de fallas en los procesos y permitir a través de equipos de gama alta, estandarizados y calibrados visualizar el comportamiento en tiempo real de una máquina en específico, paneles eléctricos, secciones del proceso o el proceso completo de ejecución.

En PMS se realizan diferentes tipos de mantenimiento predictivo bajo normativas especificadas de ejecución, sin embargo dentro de sus fuertes o trabajos más aplicados están los análisis de vibraciones este tipo de mantenimiento analiza la estructura compuesta en el campo magnético a través de la frecuencia de vibración (Ding et al., 2019). Así mismo el análisis de termografía infrarroja el cual Manekiya & Arulmozhivarman (2016) describen la importancia de hacer este tipo de análisis para detectar imperfecciones u objetos extraños utilizando los termogramas y la barra de color. El análisis de balanceo dinámico basado en vectores y relación de posición de elementos rodantes que convergen por criterios modificados según la necesidad para satisfacer el desbalanceo (Guihua Dong et al., 2013). Se describirá el contenido de los diferentes capítulos redactados para la comprensión total del trabajo:

Capítulo II: describirá la historia, misión, visión y ubicación de la empresa PMS y es explicado el departamento asignado.

Capítulo III: Se presentará información con respecto a la práctica profesional.

Capítulo IV: presentará los diferentes trabajos de manera cronológica, la normativa seguida y el equipo utilizado para realizar los diferentes procesos.

Capítulo V: detallará las conclusiones conforme los objetivos, el conocimiento adquirido en la práctica profesional por las actividades realizadas.

Capítulo VI: se describirán las recomendaciones para que la empresa y la universidad sigan mejorando, además se presentará la bibliografía utilizada y las fichas técnicas y los análisis de laboratorio de los trabajos ejecutados.

II. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

En este capítulo se describirán la información valiosa de la empresa PMS, detallando brevemente su historia, misión, visión y finalizando el capítulo brindando los aspectos generales del puesto asignado.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1.1 HISTORIA DE LA EMPRESA

En el año 2015 en San Pedro Sula, Honduras PMS nació ante la gran necesidad de las diferentes industrias del país que buscan la manera de mejorar sus procesos de mantenimiento y optimizarlos. Los primeros servicios consistieron en actividades de mantenimiento predictivo en la industria textil y alimenticia con actividades como termografía infrarroja y vibraciones mecánicas. Con el pasar de los años PMS se ha desarrollado ofreciendo servicios en las distintas empresas a nivel nacional, atendiendo los 18 departamentos del país (PMS, 2015).



Ilustración 1. Logo de P.M.S.

Fuente: (PMS, 2015).

2.1.2 MISIÓN

Aportar soluciones integrales a nuestros clientes, que sirvan para fortalecer su seguridad y a su vez obtener el bienestar y el aumento de su capacidad productiva. Mediante la implementación de equipos predictivos de alta precisión (PMS, 2015).

2.1.3 VISIÓN

Ser la empresa líder en servicios de mantenimiento predictivo en Centro América (PMS, 2015).

2.1.4 UBICACIÓN

PMS está ubicada en Río Blanco, San Pedro Sula. Sus oficinas administrativas, de ventas y bodegas de repuestos, ya que al ser una empresa de servicio sus tareas de mantenimiento son ejecutadas directamente en la ubicación de sus clientes.

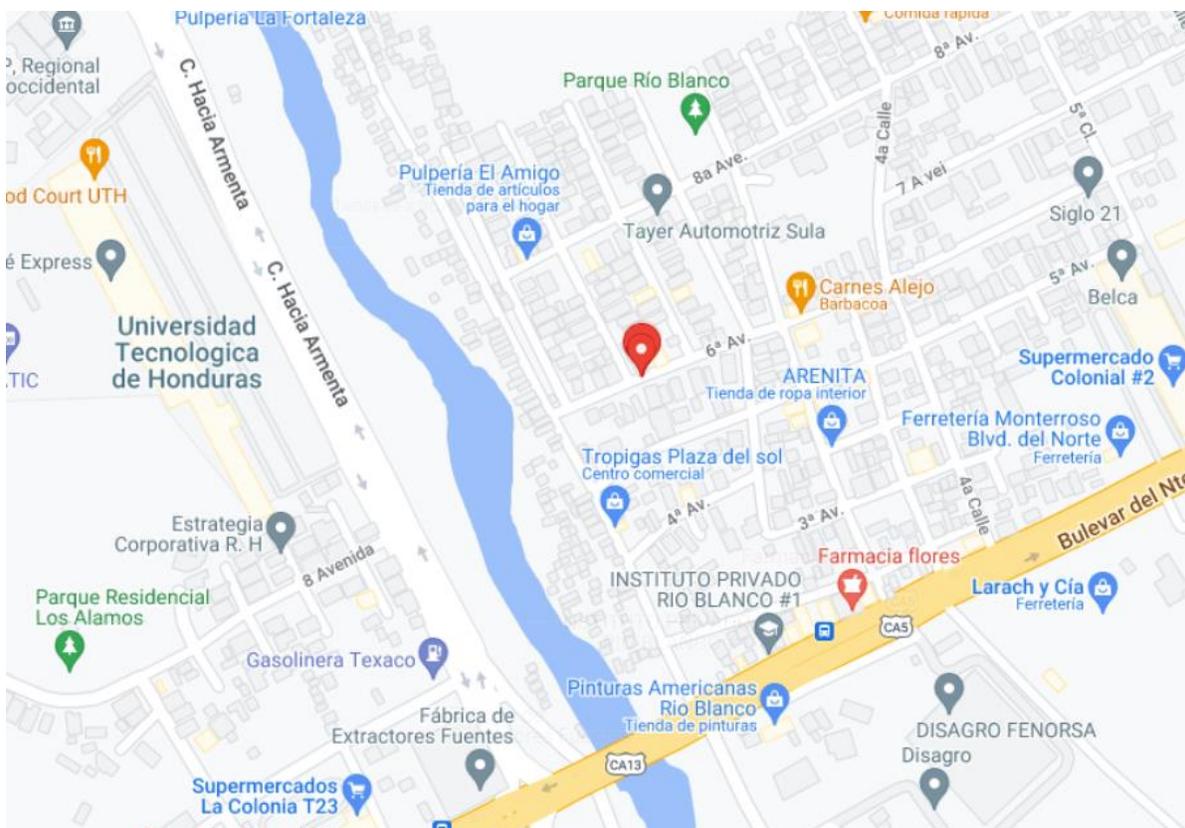


Ilustración 2. Ubicación geográfica de P.M.S.

Fuente: (Google Maps, 2022).

2.2 DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO

2.2.1 ORGANIGRAMA

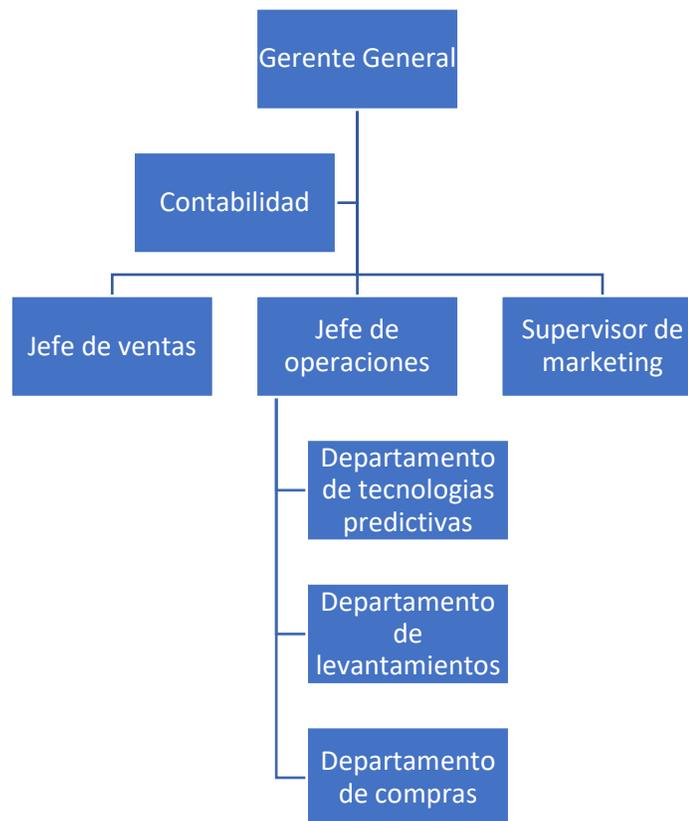


Ilustración 3. Organigrama PMS

Fuente: Elaborada por autor.

2.2.2 DEPARTAMENTO ASIGNADO

Cada departamento tiene su importancia específica para el crecimiento de PMS, el desarrollo de esta práctica profesional es en el departamento de ingeniería de tecnologías predictivas el cual se encarga de ejecutar trabajos de vibraciones mecánicas, análisis de soldaduras por tintas penetrantes, boroscopia, eco pulso y otras tecnologías existentes.

2.3 OBJETIVOS DEL PUESTO

2.3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar actividades de mantenimiento predictivo a empresas industriales de Honduras con el fin de mejorar el rendimiento de los procesos dictaminados.

2.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las causas de los problemas de desbalanceo en motores.
2. Identificar las fallas de las máquinas por medio del análisis de espectros de frecuencia.
3. Comprobar que los procesos efectuados aportan positivamente al desarrollo de la maquinaria.

III. MARCO TEÓRICO

El capítulo de marco teórico describe el rubro en el que esta ubicada la empresa PMS, describiendo el mantenimiento predictivo, algunas de sus ventajas, las variables más utilizadas para la detección de fallas por condición y los tipos de mantenimiento predictivo aplicados, en la parte final del capítulo se conceptualizan los servicios principales de tecnologías preventivas que brinda PMS, los cuales son el análisis de vibraciones mecánicas y la termografía infrarroja, dos de los fuertes de PMS por ser los análisis que la empresa más vende o más aplica a sus clientes.

3.1 ANÁLISIS DEL RUBRO

3.1.1 CONCEPTUALIZACIÓN DEL RUBRO

PMS realiza mantenimientos predictivos, es por eso que se describe como una empresa ubicada en el rubro de mantenimiento.

El mantenimiento predictivo es la monitorización de un protocolo, equipo o sistema, que permite una posterior intervención de desarrollo correctivo como consecuencia de la detección de una falla en el sistema (Wang et al., 2009).

Según Knezevic (1996) el mantenimiento predictivo tiene diferentes divisiones a tomar en cuenta, como ser: la búsqueda de fallas por mantenimiento predictivo que se encarga de revisar de manera periódica las fallas y así alargar la vida útil del sistema, el tipo de mantenimiento predictivo esperando la rotura que consiste en sustituir la parte del sistema, una vez alcanzó su vida útil máxima y el tipo de mantenimiento predictivo y más aplicado con respecto al tiempo que se encarga de rectificar o sustituir los componentes que se encontraron dañados en el mantenimiento periódico esto sin importar que le reste vida útil al componente.

En las ventajas de este tipo de mantenimiento es que este seguimiento periódico permite memorizar conforme el registro de fallas los ruidos o los comportamientos de los diferentes sistemas y esto resulta muy útil con respecto a fallas similares en otros estados, además que hay menos intervenciones de mano de obra por mantenimiento correctivo porque se analiza la condición.

Los parámetros regulares que provocan fallos o bien, las variables medibles para detección de fallos en mantenimiento predictivo se pueden enumerar de la siguiente manera:

- Velocidad lineal y angular
- La capacidad de resistencia eléctrica de un dispositivo
- El espesor de lámina en soldadura
- La viscosidad, densidad y la rigidez de aceites minerales o dieléctricos
- Las vibraciones mecánicas
- Los ruidos que interfieren la sensibilidad auditiva
- La presión y la temperatura
- La humedad, el exceso de viruta u otras impurezas en aceites dieléctricos

Es factible realizar un cálculo de mantenimiento predictivo teniendo en cuenta diferentes factores, como ser costo de repuestos (C_s), coste de material (C_m), coste de herramientas (C_{te}), costo de instalación (C_f), Costo de ficha técnica (C_d), tiempo de ejecución (DMT), costo de personal (HCP), dados estos datos obtenemos la ecuación 1 del costo directo del mantenimiento basado en condición o mantenimiento predictivo CMT (Knezevic, 1996).

$$CMT = -C_s^m + C_m^m + C_{te}^m + C_f^m + C_d^m + (DTM * HCP)$$

Ecuación 1. Costo de mantenimiento predictivo

Fuente: (Knezevic, 1996).

3.1.2 ANÁLISIS DEL RUBRO EN MICROENTORNO

3.1.2.1 *Costa Rica*

En Cartago, Costa Rica existe una empresa llamada predictivo especializado que se encarga de hacer mantenimiento predictivo en Costa Rica y toda la región centroamericana que brinda los servicios de análisis de vibraciones, termografía infrarroja, alineamiento laser, ultrasonido, análisis de aceites y pruebas estáticas y dinámicas, destacan su importancia en el rubro, destacan en sus fortalezas gráficos de Pareto que evalúan el comportamiento del equipo correspondientes a los tiempos de falla de los equipos, como se observa en la ilustración 4.

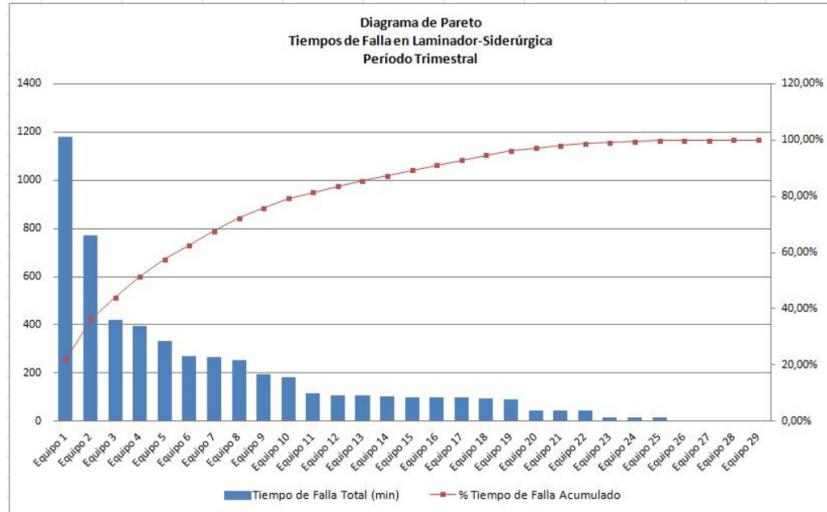


Ilustración 4. Gráfico de Pareto tiempos de falla

Fuente: (Predictiva21, 2019).

3.1.2.2 Panamá

En Panamá existe una empresa llamada Tecnologías Predictivas que se encarga de realizar diferentes tipos de mantenimiento predictivo ya sea termografía infrarroja, vibraciones mecánicas o sistemas de ultrasonido, cuentan con experiencia en industrias papeleras, geotérmicas, petroquímica, eólica, hidroeléctrica, cementera y térmica.

3.1.2.3 Guatemala

MAPREINSA especialistas en mantenimiento predictivo ubicada en Ciudad Guatemala, Guatemala es una empresa que realiza mantenimiento predictivo en la región Centroamericana ofrece los mismos servicios de tecnologías predictivas anteriormente mencionadas y certificada bajo diferentes normas ANSI, ISO y ASTM.

3.1.3 ANÁLISIS DEL RUBRO INTERNO/LOCAL

En Honduras, PMS es la única empresa que realiza mantenimiento predictivo como un servicio, ya que existen empresas del área maquilera y del área cementera que poseen su propio departamento de tecnologías predictivas. PMS está certificada por diferentes compañías que abalan su condición de empresa líder en mantenimiento predictivo en Honduras, como ser: Easy Laser, Vibration Institute, Infrasppection Institute, UE System Inc, Fixtur Laser e ITC. Es por ello que

debido a que sostener estos departamentos conlleva a costos elevados muchas empresas buscan tercerizar el servicio con PMS. Por su importancia, se puede observar en la investigación realizada por Laboy (2003) los costos ahorrados por realizar las diferentes tecnologías predictivas en las empresas de los diferentes sectores existentes, ver ilustración 5.

Tecnología	Problema Encontrado	Costo Potencial de Impacto
Vibración	Ventilador con desbalanceo mecánico	\$ 2,140.00 por evento
	Rodamientos defectuosos	\$ 2,002.00 por evento
	Problemas de correas o poleas	\$ 1,860.00 por evento
	Solturas mecánicas	\$ 1,425.00 por evento
	Acoples con problemas de alineación	\$ 3,500.00 por evento
Análisis de Aceite		\$ 1,000.00 por cambio de aceite
Análisis Infrarrojo	Falla mayor	\$ 10, 000 por evento
	Falla menor	\$ 2,000.00 por evento
Análisis de ultrasonido	Trampas de vapor / Detección de Fugas	\$ 1, 450.00 por trampa

Ilustración 5. Costo potencial de impacto

Fuente: (Laboy, 2003)

En la figura se detalla el costo que se ahorra al realizar los diferentes tipos de mantenimiento, esto detalla la importancia en cuanto a ahorro se refiere de ver el comportamiento en condición de un equipo.

Por lo que Laboy (2003) demuestra el retorno de inversión que puede llegar a tener una industria diagnosticando más de 85 máquinas rotativas, en su investigación establece lo mostrado en la ilustración 6.

Tecnologías utilizadas	Estimado de Costos Evitados
Costos evitados utilizando la tecnología de análisis de vibración:	\$ 69,000.00
Costos evitados utilizando la tecnología de análisis de Aceite:	
Costos evitados utilizando la tecnología de análisis infrarrojo:	\$ 100,000.00
Costos evitados utilizando la tecnología de análisis de ultrasonido:	
Total de Costo Evitados	\$ 169,000.00
Costo de inversión en equipos y personal	\$ 11,100.00
Retorno de inversión	1,523 %

Ilustración 6. ROI tecnologías predictivas

Fuente: (Laboy, 2003)

3.2 TECNOLOGÍAS PREDICTIVAS

3.2.1 VIBRACIONES MECÁNICAS

Las vibraciones mecánicas son movimientos transmitidos a objetos o cuerpos por medio de armazones que producen efectos o fatigas sobre un cuerpo receptor. Este movimiento secuencial genera vibraciones que el cuerpo receptor recibe y dependiendo de la intensidad de la vibración o de la zona donde se produce la incidencia del efecto, las vibraciones pueden causar fracturas parciales o totales en los cuerpos (Rao & Navarro Salas, 2012).

Las vibraciones mecánicas se basan en la transformada de Fourier, cambiando una función en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, las vibraciones son visualmente medibles con ayuda de colectores de vibraciones y acelerómetros del tipo triaxial, así se analiza en el colector bajo el dominio del tiempo al cual se le aplica posteriormente la transformada de Fourier

para obtener el espectro de vibraciones, este espectro logra separar las múltiples vibraciones causadas por las fuerzas externas de atracción y repulsión, de esta manera se pueden observar las vibraciones y saber cual es la fuerza causante del problema por vibración.

En las vibraciones mecánicas existen diferentes espectros de vibración, los cuales son el tipo de vibración radial, axial y tangencial. Mouroutsos & Chatzisavvas (2009) mencionan la vibración radial como una parte importante en la detección de vibraciones en rodamientos de bolas ya que puede prevenir estadísticamente la esperanza de vida del rodamiento y afectar directamente con el costo que podría convertirse en un ahorro o un gasto en caso de no tomar en cuenta el espectro de vibración, en la ilustración 7 se muestra el espectro de una vibración radial.

Las vibraciones axiales son un método de activación permanente con motores magnéticos sin casquillos, las direcciones u ondas radiales se posicionan en direcciones axiales y de inclinación pasiva y estabilizan la fuerza de atracción magnética entre el estator y un imán permanente ubicado generalmente en el rotor, el amortiguador es una fuerza despreciable. Es por eso que cuando se aplican fuerzas axiales al rotor se genera la vibración axial y al generarse esta vibración no puede ser direccionada a una velocidad critica, en la ilustración 8 se muestra el espectro de vibración axial (Sugimoto et al., 2018).

RADIAL

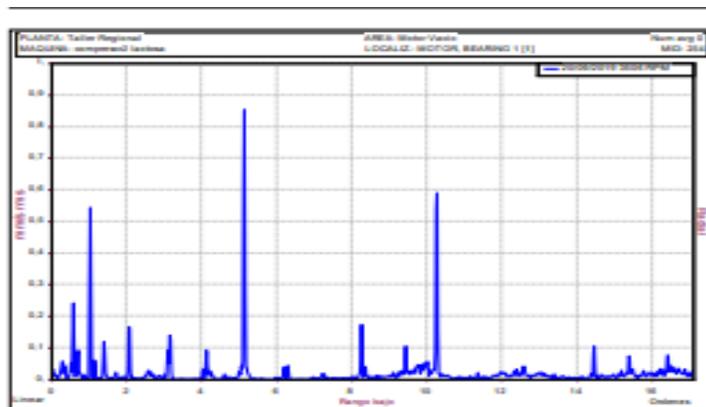


Ilustración 7. Espectro de vibración radial

Fuente: Elaborada por autor.

Según Hieyong Jeong & Yamada (2014) la vibración tangencial se encuentra a 90 grados con respecto al plano radial, y es ejecutada en la tangente del eje de accionamiento, al ser una máquina horizontal el eje tangencial es el eje horizontal y en una vertical el eje tangencial es el eje horizontal pero en el segundo orden. En la ilustración 9 se muestra el espectro de vibraciones tangenciales.

AXIAL

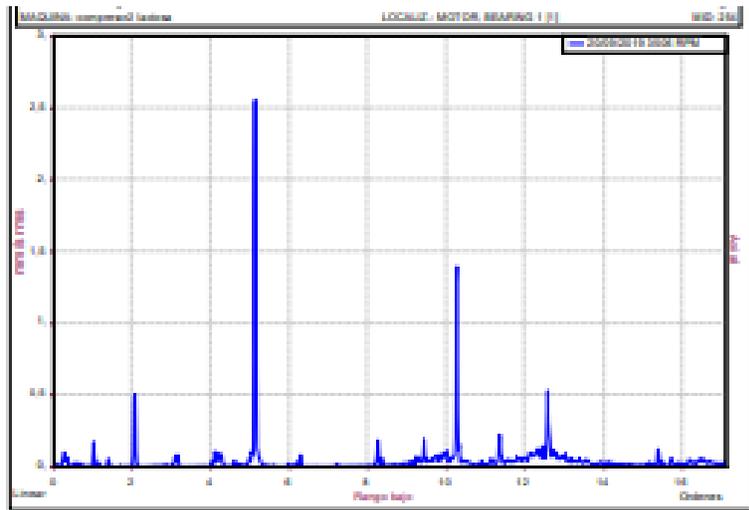


Ilustración 8. Espectro de vibración axial

Fuente: Elaborada por autor.

TANGENCIAL

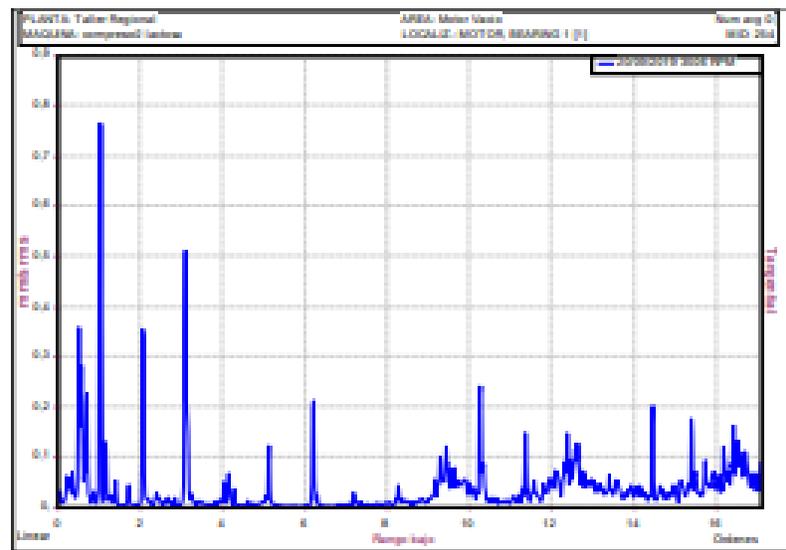


Ilustración 9. Espectro de vibración tangencial

Fuente: Elaborada por autor.

Al realizar análisis de vibraciones en equipos es importante realizar estas tomas de datos tanto en el plano radial, axial y tangencial por cada punto de medición, en las cuales se detectan las diferentes fallas comunes de equipos de rodamiento como ser:

- Holguras
- Desalineamiento
- Desbalanceo
- Torsión de eje
- Fallas eléctricas, de engranaje o en rodamiento

3.2.2 TERMOGRAFÍA INFRARROJA

Dentro del campo de la termografía este tipo de tecnología predictiva permite pronosticar el punto futuro de falla de un equipo eléctrico o de los componentes de una máquina, a tal punto que se puede predecir el momento en que un componente se dañará de esta manera reemplazarlo aprovechando el porcentaje máximo de vida útil del mismo. Así, no existen tiempos de inoperativos por paros provocados por fallas.

Cañada Soriano & Royo Pastor (2016) mencionan en su investigación los beneficios, aplicaciones y las fallas comunes que se pueden predecir aplicando la termografía. Los cuales se describen a continuación:

Los 3 principales beneficios de aplicar termografía en la industria son: detección de anomalías en los equipos sin detener el proceso, permite corregir una falla inmediatamente o dictaminar el tiempo máximo para corregirla y el más importante el ahorro de costos por la reducción de paros no programados que podrían afectar la producción.

Existen diferentes aplicaciones, dentro de las más habituales son en motores eléctricos, compresores de aire, calderas, paneles eléctricos, transformadores y subestaciones. En la ilustración 10 se muestra el análisis termográfico realizado en un transformador de potencia.

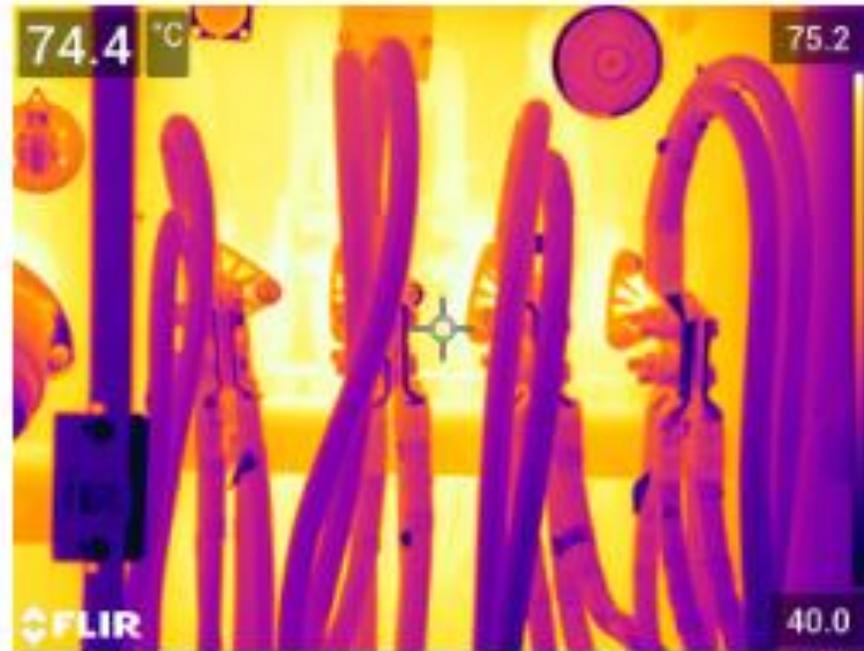


Ilustración 10. Análisis termográfico en transformador

Fuente: (PMS, 2022).

IV. DESARROLLO

En este capítulo se describen las tareas asignadas en las diferentes semanas de la práctica profesional, en cada sección se especifica el nombre del trabajo realizado, el equipo utilizado, las normas seguidas, la descripción y el trabajo futuro que conlleva cada una de las aplicaciones de tecnologías predictivas.

4.1 SEMANA 1-3 (22/4/2022 – 11/5/2022)

4.1.1 OBJETIVOS

1. Conocer las normativas aplicadas para realizar los análisis de aceite en transformadores
2. Comprender la importancia de usar los depósitos graduados para este trabajo
3. Considerar el uso de equipo de seguridad correspondiente

4.1.2 ANÁLISIS DE ACEITE EN TRANSFORMADORES

Este análisis se realiza bajo el seguimiento de la norma IEEE C57.104-2019 que funciona como guía para la interpretación de gases generados en inmersión en aceite de transformadores (IEEE, 2019).

4.1.2.1 *Descripción del procedimiento*

Este proceso consiste en extraer 3 muestras de aceite dieléctrico del transformador para su posterior evaluación en laboratorio. Este método se ejecuta para saber bajo qué condiciones está el transformador, comprobar si el transformador está o estará en riesgo a inflamación por exceso de cantidad de acetileno en su aceite dieléctrico o comprobar que esté en condiciones normales. La norma IEEE C57.104-2019 establece que cada uno de los procesos debe seguir diferentes normativas para su correcto análisis de laboratorio.

4.1.2.2 *Trabajo a realizar*

Muestra 1 (ilustración 11) es para el dictamen fisicoquímico realizado posteriormente en laboratorio, esta prueba integra 8 diferentes pruebas descritas en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis de muestra 1

Prueba	Normativa	Descripción de normativa
Neutralización	ASTM D974	Determinación de ácidos o bases cuyas constantes de disociación en agua sean mayores de 10 (ASTM, 2021).
Tensión interfacial	ASTM D971	Prueba de tensión interfacial por método de anillos (ASTM, 2020).
Rigidez dieléctrica	ASTM D877	Medición mediante el método de prueba estándar para voltaje de ruptura dieléctrica (ASTM, 2016a).
Gravedad específica	ASTM D1298	Método de prueba de la densidad relativa de los productos derivados del petróleo (ASTM, 2005).
Color	ASTM D1500	Análisis por medio de escala de colores en dimensiones que van desde el amarillo hasta rojo cereza en intervalos de 16 escalones (ASTM, 2017a).
Inspección visual	ASTM D1524	Es aplicable en los aceites dieléctricos previamente extraídos de transformadores (ASTM, 2017b).
Factor de potencia	ASTM D924	Esta prueba consiste la prueba de líquidos aislantes, se realiza en

		equipos que trabajan entre 45-65 Hz (ASTM, 2016b).
Contenido inhibidor de oxidación	ASTM D2668	Mide la absorbancia del aceite en las longitudes de onda especificadas en un espectro infrarrojo (ASTM, 2022).

Fuente: Elaborada por autor.



Ilustración 11. Presentación 200 ml

Fuente: Elaborada por autor.

Muestra 2 (ilustración 12) para el análisis de humedad del aceite, la cual es realizada bajo la norma ASTM D1533 que establece que una lectura de laboratorio mediante la titulación coulombimétrica de Karl Fischer conocido por su alto grado de sensibilidad (ASTM, 2020).



Ilustración 12. Presentación 100 ml

Fuente: Elaborada por autor.

Muestra 3 en jeringa para el análisis cromatografía de gases disueltos, ejecutada bajo la norma ASTM 3612 que establece las 3 pruebas de laboratorio realizadas con esta muestra de aceite dieléctrico como ser la medición de gases disueltos en el aceite, la viscosidad y la identificación de los gases extraídos (ASTM, 2017c). En la ilustración 13 se observa la jeringa utilizada para realizar esta prueba.

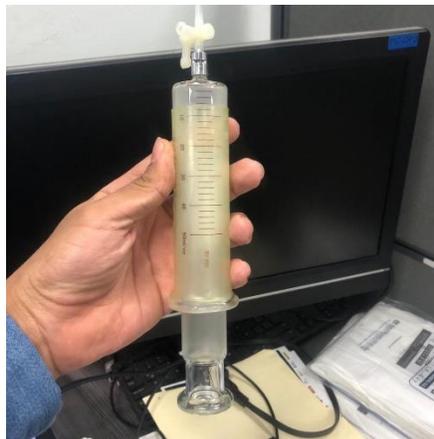


Ilustración 13. Presentación de jeringa 50 ml

Fuente: Elaborada por autor.

4.1.2.3 Proceso de ejecución

- Colocarse el equipo de seguridad (protectores auditivos, guantes y gafas).

- Colocar protección en la parte inferior de la válvula de extracción y así evitar derrames de liquido en la zona de trabajo.
- Desenergizar una fase del transformador para activar el generador (Ilustración 14).



Ilustración 14. Generador

Fuente: Elaborada por autor.

- Hacer pruebas correspondientes en el transformador para asegurarse que no hay cargas almacenadas (Ilustración 15).



Ilustración 15. Pruebas en transformador utilizando equipo de seguridad

Fuente: Elaborada por autor.

- Extraer el aceite dieléctrico de la válvula principal del transformador con el extractor mostrado en la ilustración 13 y posteriormente desechar esta muestra ya que podría contener impurezas de la válvula de purga. En la ilustración 16 se muestra la fase de extracción.



Ilustración 16. Extracción de válvula principal

Fuente: Elaborada por autor.

- Realizar nuevamente el proceso de extracción y colocarlo en el deposito de la muestra 2 mostrado en la ilustración 12. En la ilustración 17 se observa la muestra extraída de aceite contenido en el deposito de 100 ml.



Ilustración 17. Muestra 2 con aceite dieléctrico

Fuente: Elaborada por autor.

- Realizar nuevamente el proceso y colocarlo en el segundo depósito de almacenamiento tal y como se observa en la ilustración 18.



Ilustración 18. Muestras

Fuente: Elaborada por autor.

- Realizar la cuarta extracción la cual es completar los ml de la jeringa y posteriormente limpiar la zona de trabajo y roscar nuevamente la válvula principal.

4.1.2.4 Trabajo futuro

Realizar el análisis de laboratorio de cada una de las muestras y posteriormente el ingeniero encargado y capacitado bajo la norma IEEE C57.104-2019 hará el dictamen del comportamiento del equipo. En el anexo 1 y anexo 2 se muestra la ficha de evaluación en el laboratorio de las 3 muestras.

4.2 SEMANA 4 (12/5/2022 – 18/5/2022)

4.2.1 OBJETIVOS

1. Conocer las normativas aplicadas para realizar un alineamiento láser en poleas
2. Comprender el uso del equipo SKF para la realización de este trabajo
3. Demostrar el trabajo realizado por medio de una ficha técnica siguiendo la norma API-686

4.2.2 ALINEAMIENTO LÁSER EN POLEAS

Este trabajo se realiza siguiendo el protocolo de la norma API-686 la cual funciona como guía ya que permite identificar el desalineamiento existente y su correcta solución (API-686, 2022).

4.2.2.1 Descripción del procedimiento

Antes de utilizar el equipo TKBA 40 de SKF para poleas tipo V se debe de recibir una capacitación previa en la norma API-686, este dispositivo funciona por imanes que se adaptan a la forma de la polea y emanan un potente láser que permite la visualización en tiempo real del desalineamiento de la polea, en la ilustración 19 se puede observar el dispositivo instalado en un sistema polea-correa. Según la norma API-686 un sistema banda-polea está alineado cuando tiene una tolerancia de alineamiento de 0-3 mm cada línea en el láser representa 1 mm.

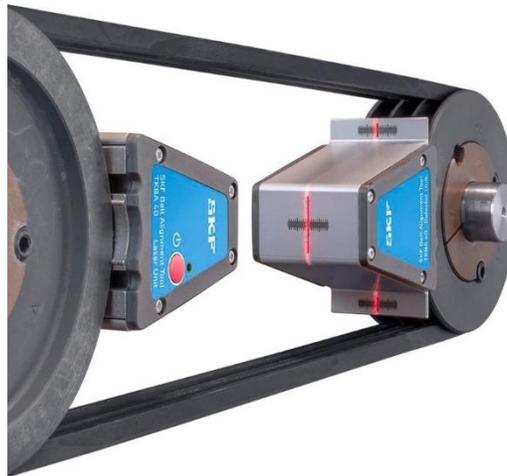


Ilustración 19. Montaje de equipo

Fuente: (Alineador de poleas TKBA 40 | SKF | SKF, 2016).

4.2.2.2 Trabajo a realizar

Montaje del dispositivo en las ranuras de las poleas, una vez montado encender el láser y observar si existe o no un desalineamiento en las poleas, de no existir se toma la evidencia de que no existe un desalineamiento, en el caso de existir se realizan los trabajos correspondientes en la polea que pueden ser desde problemas con la cuña, desajuste en los tornillos de seguridad o en un mayor caso la polea dañada.

4.2.2.3 Proceso de ejecución

- Apagar el motor, caja de engranajes o dispositivo que se alineará
- Colocarse el equipo de seguridad (guantes, gafas, protector auditivo)
- Instalar el equipo en las ranuras tanto de la polea principal como de la secundaria y encender el láser. En la ilustración tal 20 se observa el desalineamiento que presentaba el motor



Ilustración 20. Desalineamiento presentado

Fuente: Elaborado por autor.

- Retirar el equipo y desmontar las bandas de las poleas del motor
- Corregir el desalineamiento, el desalineamiento se corrige colocando nuevamente el equipo y posteriormente golpeando las poleas hasta que el láser ingrese al rango establecido de 0-3 mm
- Retirar el equipo SKF y realizar el montaje de las bandas nuevamente
- Colocar el equipo SKF para observar el comportamiento ya con las bandas instaladas, en la ilustración 21 se observa el motor y su sistema banda-polea completamente alineado.



Ilustración 21. Alineamiento de poleas

Fuente: Elaborada por autor.

4.2.2.4 Trabajo futuro

Este trabajo es elaborado entre 3-4 horas por motor, debido a la dificultad al acceso, al desarmado y al alineamiento correcto, este trabajo se realizó a un total de 20 motores en una maquila ubicada en salida a San Pedro Sula. Posteriormente un ingeniero capacitado en la norma correspondiente hace el dictamen técnico para cada uno de los dispositivos revisados. En el anexo 3 se observa un ejemplo de ficha técnica de alineamiento láser de poleas.

4.3 SEMANA 5-7 (19/5/2022 – 8/6/2022)

4.3.1 OBJETIVOS

1. Conocer las normativas aplicadas para realizar un alineamiento láser en ejes
2. Comprender el uso del equipo Easy Laser para hacer este tipo de análisis
3. Definir las mediciones de las galgas para obtener un alineamiento eficiente

4.3.2 ALINEAMIENTO LÁSER EN EJES

Este trabajo se realiza siguiendo el protocolo de la norma API-686 y norma ANSI S2.75 que establecen las condiciones para la solución de desalineamiento en maquinaria rotativa.

4.3.2.1 Descripción del procedimiento

Recibir una capacitación previa en el uso del equipo Easy Laser y repaso en metrología por el uso de galgas graduadas. El equipo Easy Laser facilita visualizar el desalineamiento vertical y horizontal de ejes, así mismo brinda específicamente el dato de en que ancla del motor o caja de engranajes colocar galgas para corregir cualquier tipo de deslizamiento. En la ilustración 22 se observa el equipo utilizado para realizar este procedimiento.



Ilustración 22. Equipo Easy Laser para alineamiento láser en ejes

Fuente: (XT770, 2016).

4.3.2.2 Proceso de ejecución

- Colocarse overol, gafas de seguridad y guantes.
- Instalar el equipo en el eje del motor y en el eje de la caja reductora, tal como se observa en la ilustración 23.



Ilustración 23. Instalación de Easy Laser

Fuente: Elaborada por autor.

- Leer la ficha técnica del motor y colocar en la Tablet las RPM del motor, la distancia entre centros del Easy Laser, la distancia S-M, S-C y M-F1 que se muestran en la ilustración 24.



Ilustración 24. Datos del sistema

Fuente: Elaborada por autor.

- Una vez ya colocados los datos de medición se observan las condiciones de alineamiento de los ejes tanto en posición vertical y horizontal. En la ilustración 25 se muestra en la Tablet el alineamiento del motor, la parte izquierda es el alineamiento vertical y la derecha

corresponde al alineamiento horizontal, en ambos casos esta desfasado de su línea de tolerancia.



Ilustración 25. Alineamiento vertical y horizontal

Fuente: Elaborada por autor.

- Ya realizada la vista de alineamiento, se procede a ejecutar un diagnostico para evaluar que pierna del motor necesita galgas o cual esta sobrecargada de galgas que hacen que el sistema esté desalineado (ilustración 27). En la ilustración 26 se observan las galgas y su calibración en mm.



Ilustración 26. Galgas calibradas utilizadas en alineamiento láser de ejes

Fuente: (Predycsa - Galgas para sus tareas de Alineación y Medición, 2012).



Ilustración 27. Análisis de "pierna coja"

Fuente: Elaborada por autor.

- Una vez ya obtenido el análisis se observa que en una de las piernas se requiere una galga de 0.36 mm, 0mm, 0.07mm y 0.39 mm por lo que se desatornillan las piernas y se colocan las galgas que el sistema solicita
- Ya instaladas las galgas, se realiza nuevamente el análisis de pierna coja para obtener nuevos parámetros que dictaminen el alineamiento, en la ilustración 28 se observa el comportamiento ya instaladas las galgas que el sistema solicita.

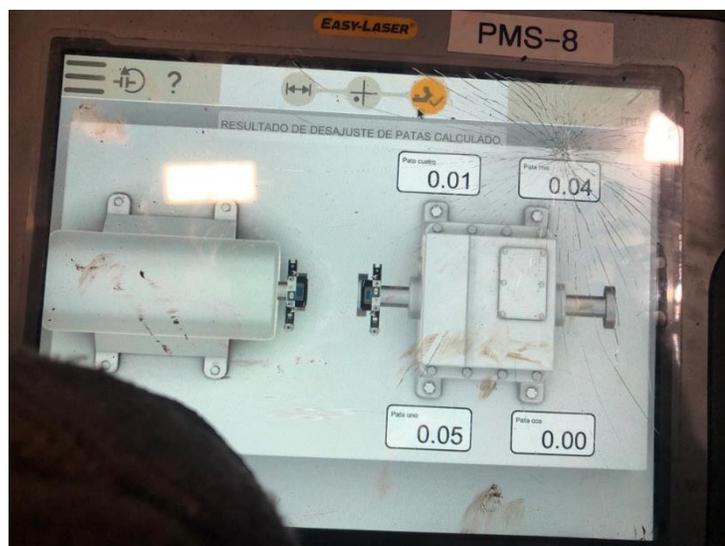


Ilustración 28. Resultados de análisis de "pierna coja"

Fuente: Elaborada por autor.

- Corregido el primer problema de los factores de desalineamiento se procede a verificar el alineamiento vertical y horizontal, es importante destacar que el calibrar cada una de las piernas no es resultado de tener un correcto alineamiento vertical y horizontal esto se hace porque es un procedimiento de la norma ANSI-S2.75. Esta norma establece que el rango de galgas aceptables en el alineamiento es de 0-1.00 mm y ya que se obtuvieron medidas dentro del rango se considera correcto.
- Se verifica nuevamente el alineamiento vertical y horizontal (ilustración 29)



Ilustración 29. Verificación de alineamiento

Fuente: Elaborada por autor.

- Se observa un alineamiento vertical correcto, pero un alineamiento horizontal incorrecto, esto se observa en la parte superior de la Tablet que muestra colores naranjas, amarillo, rojo y verde. El verde, amarillo y naranja son valores dentro de la norma para el alineamiento y el color rojo es fuera del rango por lo cual es inaceptable. Se corrige desatornillando el motor y golpeando la caja reductora con un martillo de goma para colocar totalmente horizontal el motor, observar ilustración 30.



Ilustración 30. Alineamiento vertical y horizontal correcto

Fuente: Elaborada por autor.

- Una vez obtenido el alineamiento vertical y horizontal correcto según norma, se procede a desinstalar el Easy Laser.

4.3.2.3 Trabajo futuro

Realizar un informe de todo el proceso que conllevó el alineamiento, este informe se certifica con las normas API-686 y ANSI S2.75. Este trabajo se realizará en 24 motores y cajas reductoras, cada alineamiento se realiza en un tiempo de 6-8 horas por lo que el tiempo estimado para entregar el trabajo e informe es el 8/6/2022. En el anexo 4 se observa un ejemplo de dictamen de alineamiento láser de ejes.

4.4 SEMANA 8-10 (09/6/22 – 28/6/22)

4.4.1 OBJETIVOS

1. Conocer las normativas aplicadas para realizar ultrasonido acústico
2. Comprender el uso del equipo UP300 para distinguir acústicamente una falla
3. Realizar la preparación previa de la norma ISO18436-6:2021

4.4.2 ULTRASONIDO ACÚSTICO

Este trabajo es una técnica que se realiza por medio de las ondas sonoras que se expanden dentro de las chumaceras o balineras, permitiendo detectar anomalías en rodamientos.

4.4.2.1 Descripción del procedimiento

Recibir capacitaciones previas a la norma para la detección de diferentes sonidos, conocer que es un Db y el uso del UP300.

4.4.2.2 Proceso de ejecución

- Encender el equipo Up300 y calibrarlo apretando el botón calibrar, la norma ISO18436-6:2021 establece que un rodamiento cuyo Db son mayores a 50 amerita observación por posible anomalía.
- Colocarse los audífonos del equipo y hacer mediciones por rodamiento las cuales deben ser tangenciales. Observar la Ilustración 31.



Ilustración 31. Ultrasonido acústico

Fuente: Elaborada por autor.

- Las maquinarias poseen 4 rodamientos a los cuales se le realizan análisis de igual forma, se comenzó con la turbina de 125 Hp (ilustración 32) ubicada en la maquila de Choloma.



Ilustración 32. Turbina de 125 HP

Fuente: elaborada por autor.

Tabla 2. Db turbina 125 HP

Lado de turbina	Ultrasonido acústico (Db)	Estado
Lado libre de motor	44	Normal
Acople de motor	47	Normal
Acople turbina	35	Perfecto
Lado libre turbina	42	Normal

Fuente: Elaborada por autor.

- Se continúa haciendo este mismo proceso con todas las maquinas rotativas ubicadas en la planta textil. En la ilustración 33 se observa el análisis en turbina de 75 HP.



Ilustración 33. Turbina 75 HP

Fuente: Elaborada por autor.

Tabla 3. Db turbina 75 HP

Lado de turbina	Ultrasonido acústico (Db)	Estado
Lado libre de motor	47	Normal
Acople de motor	41	Normal
Acople turbina	32	Perfecto
Lado libre turbina	35	Perfecto

Fuente: Elaborada por autor.

- Este proceso se siguió realizando con las diferentes máquinas rotativas en las siguientes semanas asignadas.

4.4.2.3 Trabajo futuro

Realizar un informe de todo lo que se trabajó en las diferentes maquinarias, este informe se elabora conforme al certificado ISO18436-6:2021. Este trabajo se realizará en 39 maquinaria, se recomendó hacer este análisis en dos máquinas al día por el ruido que produce directamente al oído.

4.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En el cronograma de la ilustración 34 se muestra el cronograma de actividades cronológico hasta la semana 10, ya con la práctica profesional culminada.



Ilustración 34. Cronograma de actividades

Fuente: Elaborada por autor.

V. CONCLUSIONES

Se finalizó la práctica profesional en PMS cumpliendo con cada una de las semanas y cada una de las asignaciones, en el área de tecnologías predictivas, donde se realizaron levantamientos, trabajos de ejecución y aprendizaje de uso de equipos y normas.

1. Se realizaron trabajos de tecnologías predictivas a maquilas, empresas agroindustriales, empresas comerciales, etc. Con el fin de dictaminar fallas existentes o fallas que podrían existir por la sobrecarga de trabajo.
2. Se identificaron las causas principales de los problemas de desbalanceo de motores rotativos, siendo estas por fallas en rodamientos provocado por desalineamiento, vibraciones mecánicas o por desbalanceo dinámico.
3. Se logró comprender el uso de los espectros de frecuencia para determinar fallas por vibraciones mecánicas y de esta manera comprender las diferentes hojas técnicas con respecto a este tipo de metodología.
4. Se observó en tiempo real la importancia de la aplicación de este tipo de tecnologías ya que en los procesos se percibe físicamente la reducción de vibraciones y de desalineamiento de las maquinas rotativas.

VI. RECOMENDACIONES

Se realizan una serie de recomendaciones para que Unitec desarrolle profesionales con el conocimiento en tecnologías predictivas.

1. Tener un laboratorio con maquinaria antigua y maquinaria nueva, equipo de tecnologías predictivas para comprender y desarrollar este tipo de tecnología en la clase de vibraciones mecánicas, comparando el funcionamiento de una maquina con falencias y una maquina en perfecto estado.
2. Extender la clase de procesos de manufactura que además de ver mantenimiento preventivo y correctivo se dé una introducción a este tipo de mantenimiento tan importante como lo es el mantenimiento predictivo.
3. Incluir en la planificación de las asignaturas el uso obligatorio de fichas técnicas, lenguaje técnico para el desarrollo de informes técnicos.

Así mismo, se incluyen una serie de recomendaciones a PMS

1. Capacitar a todos los ingenieros de ejecución en las diferentes normas de mantenimiento predictivo, esto para evitar retrasos de tiempo en el desarrollo de las hojas técnicas que dictaminan el estado de la maquina.
2. Tener más de un equipo para alineamiento láser, ya que en muchas ocasiones se puede ejecutar 2 trabajos en lugar de 1 y así reducir tiempos en la ejecución de las tareas.
3. Instalar equipos de seguridad para las alturas como ser arnés o el equipo correspondiente, debido a que en ocasiones que se trabaja en altura y por exceso de vibración de los equipos pelagra la integridad física de las personas que están ejecutando los trabajos.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Alineador de poleas TKBA 40* | SKF | SKF. (2016).
<https://www.skf.com/pe/products/maintenance-products/alignment-tools/belt-alignment-tools/belt-alignment-tool-tkba-40>
2. *API-686*. (2022). [https://www.confiableidadmx.com/alineaci%C3%B3n-de-maquinaria%2C-coples-y-ejes-\(api-686\).html](https://www.confiableidadmx.com/alineaci%C3%B3n-de-maquinaria%2C-coples-y-ejes-(api-686).html)
3. ASTM. (2005). *Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method*.
<https://www.astm.org/d1298-12br17.html>
4. ASTM. (2016a). *Astm d 877—02 Dielectric Breakdown* -. <https://www.astm.org>
5. ASTM. (2016b). *Standard Test Method for Dissipation Factor (or Power Factor) and Relative Permittivity (Dielectric Constant) of Electrical Insulating Liquids*.
<https://www.astm.org/d0924-15.html>
6. ASTM. (2017a). *Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale)*. <https://www.astm.org/d1500-12r17.html>
7. ASTM. (2017b). *Standard Test Method for Visual Examination of Used Electrical Insulating Liquids in the Field*. <https://www.astm.org/d1524-15.html>
8. ASTM. (2017c). *Standard Test Method for Analysis of Gases Dissolved in Electrical Insulating Oil by Gas Chromatography*. <https://www.astm.org/d3612-02r17.html>

9. ASTM. (2020). *Standard Test Method for Water in Insulating Liquids by Coulometric Karl Fischer Titration*. <https://www.astm.org/d1533-20.html>
10. ASTM. (2022). *Standard Test Method for 2,6-di-tert-Butyl- p-Cresol and 2,6-di-tert-Butyl Phenol in Electrical Insulating Oil by Infrared Absorption*. <https://www.astm.org/d2668-07r21.html>
11. ASTM D974 Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration—*E Learning Course*. (2021). <https://www.astm.org/astm-tpt-205.html>
12. Cañada Soriano, M., & Royo Pastor, R. (2016). *Termograflaa infrarroja: Nivel II*. Fundaci??n Confemetal.
13. Ding, X., Hu, J., Li, G., Hua, L., Zuo, W., Wang, J., Ding, B., & Du, J. (2019). Multiple Vibration Modal Analysis of Magnetolectric Composite Structures under the Magnetic Fields. *2019 14th Symposium on Piezoelectrcity, Acoustic Waves and Device Applications (SPAWDA)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/SPAWDA48812.2019.9019281>
14. *Easy-Laser*. (2016). <https://easylaser.com/es-es/productos/alineadores-de-ejes/xt770-laser-de-puntos>
15. Google Maps. (2022). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps/place/15%C2%B033'02.5%22N+88%C2%B000'31.7%22W/@15.550704,-88.0109854,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x0:0x8c35ed070f69aa3c!8m2!3d15.550704!4d-88.0087967?hl=es>

16. Guihua Dong, Mingqing Jing, & Heng Liu. (2013). The study of elastohydrodynamic lubrication for the dynamic analysis of rolling bearing. *2013 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM)*, 297-299.
<https://doi.org/10.1109/ISAM.2013.6643462>
17. Hieyong Jeong, & Yamada, K. (2014). Enhancing effect of tangential vibration on human vibrotactile sensitivity. *2014 World Automation Congress (WAC)*, 240-245.
<https://doi.org/10.1109/WAC.2014.6935842>
18. *IEEE Std C57.104™-2008 (Revision of IEEE Std C57.104-1991), IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers.* (2021). 39.
19. Knezevic, J. (1996). *Mantenimiento*. Isdefe.
20. Laboy, F. (2003). *Justificación de programas de mantenimiento de diagnósticos*. 7.
21. Lee, H., & Lee, H. (2021). *The Process Development of Glass Cullet and Recycled Glass Aggregate for Improving Recycling Rate* [Preprint]. In Review.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-709571/v1>
22. Manekiya, M. H., & Arulmozhivarman, P. (2016). Leakage detection and estimation using IR thermography. *2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 1516-1519. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754411>
23. *Measuring interfacial tension of insulating liquids against water using the Du Noüy ring method according to ASTM D971.* (2020). 2.

24. Mouroutsos, S. G., & Chatzisavvas, I. (2009). Study and Construction of an Apparatus that Automatically Monitors Vibration and Wears in Radial Ball Bearings which are Loaded in Radial Direction. *2009 International Conference on Signal Processing Systems*, 292-296. <https://doi.org/10.1109/ICSPS.2009.53>
25. PMS. (2015). *PREDICTIVE MONITORING SYSTEM*. <https://predictivems.com/>
26. PMS. (2022). *Análisis en laboratorio PMS*.
27. Predictiva 21. (2019, junio 19). *Predictiva21*. <https://predictiva21.com/diagramas-de-pareto-y-de-dispersion-herramientas-del-mantenimiento/>
28. *Predycsa—Galgas para sus tareas de Alineación y Medición*. (2012). <https://predycsa.com/productos/alineadores-laser/galgas-y-otras-herramientas/easy-laser-galgas/>
29. Rao, S. S., & Navarro Salas, R. (2012). *Vibraciones mecánicas*. <http://www.ebooks7-24.com/?il=3560>
30. Sugimoto, H., Miyoshi, M., & Chiba, A. (2018). Axial Vibration Suppression by Field Flux Regulation in Two-Axis Actively Positioned Permanent Magnet Bearingless Motors With Axial Position Estimation. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(2), 1264-1272. <https://doi.org/10.1109/TIA.2017.2766038>
31. Wang, N., Sun, S., Si, S., & Li, J. (2009). Research of predictive maintenance for deteriorating system based on semi-markov process. *2009 16th International Conference on Industrial*

Engineering and Engineering Management, 899-903.

<https://doi.org/10.1109/ICIEEM.2009.5344200>

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de evaluación en laboratorio de aceite dieléctrico

KARL FISCHER TESTING MOISTURE CONTENT EXPRESSED IN PPM					
DATE	AVG. TEMP	PPM	PCT. SATURATION	MOISTURE BY DRY WEIGHT PCT.	
02/03/22	45	9	6.2 AC		0.48

RECOMMENDATION RETEST 1 YEAR
The moisture content in this baseline data is acceptable based on the equipment class and liquid type. Normal monitoring is indicated.

FURAN ANALYSIS EXPRESSED IN PPB						
DATE	5H2F	2FOL	2FAL	2ACF	5M2F	TOTAL

GAS-IN-OIL ANALYSIS GAS CHROMATOGRAPHY EXPRESSED IN PPM											
DATE	HYDROGEN	OXYGEN	NITROGEN	METHANE	CARBON MONOXIDE	CARBON DIOXIDE	ETHANE	ETHYLENE	ACETYLENE	TOTAL COMBUST.	TOTAL GAS
02/03/22	3,780	5,270	62,700	156	784	4,920	26	6	ND	4,752	77,642

RECOMMENDATION IMMEDIATE RETEST
ELEVATED LEVELS OF HYDROGEN, METHANE, CARBON MONOXIDE AND/OR CARBON DIOXIDE INDICATE EITHER A PARTIAL DISCHARGE OR ELECTROLYSIS INVOLVING THE CELLULOSIC INSULATION. IF APPLICABLE, FURAN RESULTS SHOULD BE CONSULTED TO AID DIAGNOSIS.

ICP METALS-IN-OIL EXPRESSED IN PPM			
DATE	ALUMINUM	IRON	COPPER

PCB CONTENT EXPRESSED IN PPM					
DATE	1242	1254	1260	OTHER	TOTAL

Fuente: (PMS, 2022).

Anexo 2. Estado del aceite dieléctrico

LIQUID SCREEN TEST DATA										
DATE	SERVICE	ACID	IFT	DIEL 877	DIEL 1816	GAP	COLOR	SP. GRAV.	VISUAL	SEDIMENT
02/03/22		0.010 AC	47.0 AC	50	AC		0.50 AC	0.880 AC	CLEAR AC	NONE AC

INHIBITOR CONTENT	
DATE	PCT. BY WEIGHT
02/03/22	0.18% QU

NOTE - STUDIES SHOW THAT A LEVEL OF 0.3% INHIBITOR IS OPTIMUM FOR PRESERVATION OF IN-SERVICE TRANSFORMER OILS. OILS WITH A LEVEL BELOW 0.08% ARE CONSIDERED TO BE UNINHIBITED.

LIQUID POWER FACTOR		
DATE	25 C	100 C
02/03/22	0.023 AC	0.678 AC

KEY TO ABBREVIATIONS: AC - ACCEPTABLE QU - QUESTIONABLE UN - UNACCEPTABLE RS - RESAMPLE

Fuente: (PMS, 2022).

Anexo 3. Dictamen alineamiento láser de poleas

Fecha: 14/05/22

Hora: 19:51



MAQUILA
CHILLER DE UNIDAD DE PAQUETE
Inspección visual
Alineamiento láser de poleas

Creado por:	Owen Fernandez ofernandez@predictivems.com	Revisado por:	Owen Fernandez ofernandez@predictivems.com
-------------	--	---------------	--

Fecha:	14/05/22	Fecha:	14/05/22
--------	----------	--------	----------

Identificación del análisis

Planta	MAQUILA
Activo	CHILLER DE UNIDAD DE PAQUETE
Tipo	Ventilador
Medición	10/05/22
Análisis	14/05/22

Tabla 1



Figura 1: CHILLER DE UNIDAD DE PAQUETE

Introducción

Un desalineamiento de poleas lo suficientemente grave puede reventar correas, hacer que el sistema tenga una vibración alta y dañar rodamientos. El uso de herramientas con emisor láser para realizar este alineamiento se presta para hacer más eficiente, preciso y veloz el proceso de alineamiento.

Diagnóstico resumido

SE REALIZÓ MONTAJE DE LA POLEA CONDUCTIDA Y SU RESPECTIVO ALINEAMIENTO. SE ENCUENTRA DENTRO DE TOLERANCIAS PARA SU OPERACIÓN.

Recomendaciones

- 1) REALIZAR MONITOREO DE VIBRACIONES MECÁNICAS DE MANERA TRIMESTRAL PARA OBTENER TENDENCIA DE SU OPERACIÓN.

Estado del activo

Como resultado de este informe se califica el activo como en el estado:

B Aceptable

Resumen de fallos

No se han definido los tipos de fallo.

Informes anteriores

ALINEAMIENTO LÁSER DE POLEAS	B
ALINEAMIENTO LÁSER DE POLEAS	B

Tabla 2: Informes anteriores

Otras técnicas

BALANCEO DINÁMICO EN SITIO	B
----------------------------	---

Tabla 3: Informes para otras técnicas predictivas

Mediciones



Figura 2: POLEAS DESALINEADAS



Figura 4: BANDAS MONTADAS-EQUIPO ALINEADO



Figura 3: POLEAS ALINEADAS

Apéndices

Niveles de severidad

A Bien

La máquina se considera como nueva o reacondicionada. Los niveles medidos pueden ser superiores a los fijados por las normas o a los correspondientes a máquinas similares, pero no representan riesgo alguno para la máquina; las mediciones observadas son propias del funcionamiento de la unidad. No se observan componentes de fallo o de mal funcionamiento. Los incrementos de los niveles de las mediciones con respecto a las medidas anteriores no son significativos.

B Aceptable

Los niveles medidos pueden ser superiores a los fijados por las normas o a los correspondientes a máquinas similares, pero no representan riesgo alguno para la máquina; las mediciones observadas son propias del funcionamiento de la unidad. No se observan componentes de fallo o de mal funcionamiento. Los incrementos de los niveles medidos con respecto a las medidas anteriores no son significativos.

C Insatisfactorio

Los niveles medidos pueden ser superiores o incluso inferiores a los fijados por las normas, se observan componentes de mal funcionamiento que no han derivado en fallo, pero que representan un riesgo para el funcionamiento de la máquina en un futuro. Los incrementos de los niveles de las mediciones con respecto a las medidas anteriores pueden ser despreciables o moderados. Se recomienda el realizar un seguimiento mayor de la máquina, e incluso la realización de verificaciones en la misma.

D Mal

Los niveles suelen ser superiores a los fijados por las normas, se observan componentes de mal funcionamiento e incluso de fallo, las cuales representan un riesgo evidente de derivar en avería en la máquina. Los incrementos de los niveles medidos con respecto a las mediciones anteriores pueden ser moderados o importantes. Se recomienda la realización inmediata de actuaciones en la máquina tendentes a la eliminación de los fenómenos observados, evaluación de los daños producidos y la realización de un ensayo de verificación de la calidad de la actuación efectuada.

☒ Activo no disponible

El activo no es accesible o no cumple los requisitos para tomar las medidas necesarias para el análisis de su estado.

Fuente: (PMS, 2022).

Anexo 4. Dictamen alineamiento láser de ejes

Fecha: 23/05/22

Hora: 17:37

PMS

AREA DE CALDERAS
BOMBA AUXILIAR CALDERA VR
Alineación de ejes
ALINEAMIENTO LÁSER SE EJES

Creado por: Owen Fernandez Revisado por: Owen Fernandez
ofernandez@predictivems.com ofernandez@predictivems.com

Fecha: 23/05/22 Fecha: 23/05/22

Identificación del análisis

Planta	AREA DE CALDERAS
Activo	BOMBA AUXILIAR CALDERA VR
Tipo	Bomba
Medición	13/05/22
Análisis	23/05/22

Tabla 1



Figura 1: BOMBA AUXILIAR CALDERA VR

Estado del activo

Como resultado de este informe se califica el activo como en el estado:

B Aceptable

Resumen de fallos

	Eje doblado	✓
	Desgaste de acoplamiento	✓
	Holgura no rotativa	✓
	Tensión de tuberías	✓
	Excentricidad	✓
	Desalineación de eje	✓
	Holgura rotativa	✓

Tabla 2: Resumen de fallos

Informes anteriores

ALINEAMIENTO LÁSER SE EJES **D**

Tabla 2: Informes anteriores

Introducción

La alineación de precisión mediante láser amplía la disponibilidad de las máquinas ya que las vibraciones se ven reducidas hasta un nivel muy bajo.

Una alineación correcta nos garantiza:

- Consumo de energía reducido
- Reducción de fallos en el rodamiento, junta, eje y acoplamiento
- Temperaturas más bajas en rodamientos y acoplamientos
- Ausencia de agrietamiento (o rotura) de los ejes
- Pernos de anclaje bien sujetos

Diagnóstico resumido

LUEGO DE REALIZAR LAS CORRECCIONES EN VERTICAL Y HORIZONTAL EL EQUIPO QUEDÓ ALINEADO DENTRO DE TOLERANCIAS ESTABLECIDAS POR NORMATIVA ANSI S 2.75.

Recomendaciones

- 1) Realizar monitoreo de vibraciones globales y espectrales del equipo de manera trimestral para mantener en observación su condición debido a la criticidad.

ALINEAMIENTO LÁSER SE EJES

Alineación de ejes

Tolerancias

↻ Velocidad del eje: 3555 RPM

	 Paralela (mm)	 Angular (mm/100)
Excelente	≤ 0.13	≤ 0.1
Aceptable	≤ 0.26	≤ 0.2
Deficiente	> 0.26	> 0.2

Mediciones

	Vertical		Horizontal	
	Paralela (mm)	Angular (mm/100)	Paralela (mm)	Angular (mm/100)
Antes de alinear	 0.6	 0.49	 1.5	 -0.59
Después de alinear	 0.09	 0.1	 -0.13	 0.02

Apéndices

Niveles de severidad

A Bien

La máquina se considera como nueva o reacondicionada. Los niveles medidos pueden ser superiores a los fijados por las normas o a los correspondientes a máquinas similares, pero no representan riesgo alguno para la máquina; las mediciones observadas son propias del funcionamiento de la unidad. No se observan componentes de fallo o de mal funcionamiento. Los incrementos de los niveles de las mediciones con respecto a las medidas anteriores no son significativos.

B Aceptable

Los niveles medidos pueden ser superiores a los fijados por las normas o a los correspondientes a máquinas similares, pero no representan riesgo alguno para la máquina; las mediciones observadas son propias del funcionamiento de la unidad. No se observan componentes de fallo o de mal funcionamiento. Los incrementos de los niveles medidos con respecto a las medidas anteriores no son significativos.

C Insatisfactorio

Los niveles medidos pueden ser superiores o incluso inferiores a los fijados por las normas, se observan componentes de mal funcionamiento que no han derivado en fallo, pero que representan un riesgo para el funcionamiento de la máquina en un futuro. Los incrementos de los niveles de las mediciones con respecto a las medidas anteriores pueden ser despreciables o moderados. Se recomienda el realizar un seguimiento mayor de la máquina, e incluso la realización de verificaciones en la misma.

D Mal

Los niveles suelen ser superiores a los fijados por las normas, se observan componentes de mal funcionamiento e incluso de fallo, las cuales representan un riesgo evidente de derivar en avería en la máquina. Los incrementos de los niveles medidos con respecto a las mediciones anteriores pueden ser moderados o importantes. Se recomienda la realización inmediata de actuaciones en la máquina tendentes a la eliminación de los fenómenos observados, evaluación de los daños producidos y la realización de un ensayo de verificación de la calidad de la actuación efectuada.

✘ Activo no disponible

El activo no es accesible o no cumple los requisitos para tomar las medidas necesarias para el análisis de su estado.