



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

**PROPUESTA DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS PARA LA
ESTANDARIZACIÓN EN SERVICIO DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES**

Ariel Waldemar Girón Chew

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS PARA LA
ESTANDARIZACIÓN EN SERVICIO DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ARIEL WALDEMAR GIRÓN CHEW

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

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. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgén Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN SERVICIO DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 23 de mayo de 2014.

Ariel Waldemar Girón Chew



Guatemala, 25 de abril de 2017
REF.EPS.DOC.294.04.17.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Ariel Waldemar Girón Chew** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200915662, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PROPUESTA DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN SERVICIOS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Chicojay'.

Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 25 de abril de 2017
REF.EPS.D.118.04.17

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

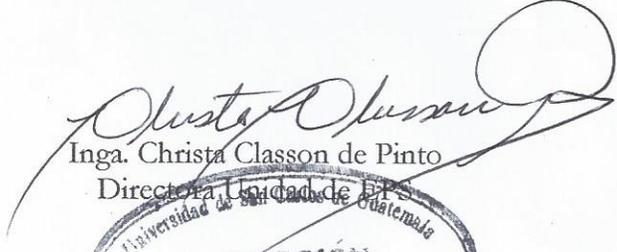
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN SERVICIOS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Ariel Waldemar Girón Chew** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS



CCdP/ra



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

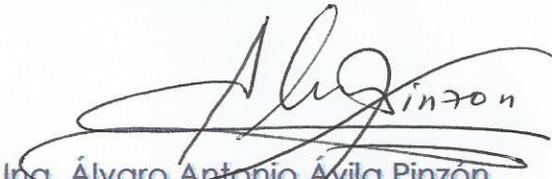
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.246.2017

El Coordinador del Área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación de EPS titulado: **PROPUESTA DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN SERVICIO DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES**, desarrollado por el estudiante **Ariel Waldemar Girón Chew**, CUI **2637506390105**, Registro Académico **200915662** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
Coordinador Área de Diseño
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre 2017

/aej



USAC
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.304.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN SERVICIO DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES** del estudiante **Ariel Waldemar Girón Chew, CUI 2637506390105, Reg. Académico No. 200915662** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre de 2017

/aej

Universidad de San Carlos
De Guatemala

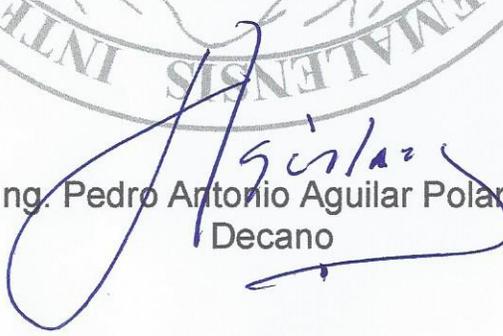


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.514.2017

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, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN SERVICIO DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES**, presentado por el estudiante universitario: **Ariel Waldemar Girón Chew**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, octubre de 2017

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida, la sabiduría y la fuerza para culminar mi carrera.
- Mi padre** Por su apoyo incondicional, su sacrificio, su amor al trabajo y el gran ejemplo de esfuerzo y superación. siendo el mi mayo inspiración a ser cada día mejor.
- Mi madre** Por su amor, cariño y comprensión, siendo este el amor más grande que puede haber. Madre, padre, este triunfo es de ustedes.
- Mis hermanos** Omar, Gustavo, Edith y Saul, por marcarme el camino a seguir, siendo cada uno de ellos el mejor en lo que hace, siempre tendrán mi admiración.
- Mis abuelos** Mi abuelita Amparo, mi abuelo Candelario y demás abuelos que hoy gozan de estar en el cielo, les agradezco infinitamente haberme brindado los padres que hoy tengo.
- Mis sobrinos** Por ser la alegría de todos y fortalecer la unión familiar.

Novia, amigos y familiares Por su amor, cariño, apoyo, amistad, consejos y bendiciones que siempre brindaron en mí.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, orgulloso de pertenecer a dicha casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los conocimientos y habilidades necesarias para desempeñarme como profesional.

Catedráticos

Por la valiosa enseñanza que brindaron en mí y en mis compañeros de estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación.....	2
1.1.2. Reseña histórica.....	2
1.1.3. Productos y servicios.....	3
1.2. Descripción del problema	4
1.3. Definiciones básicas.....	4
1.3.1. Mantenimiento	4
1.3.2. Mantenimiento correctivo.....	5
1.3.3. Mantenimiento preventivo o de rutina.....	5
1.3.4. Mantenimiento predictivo.....	5
1.3.5. Mantenimiento proactivo.....	6
1.3.6. Mantenimiento bajo condiciones.....	7
1.3.7. Mantenimiento productivo total.....	7
1.3.8. Vibraciones mecánicas.....	7
1.4. Análisis de vibraciones	8
1.5. Técnicas de diagnóstico para la interpretación de datos	8
1.5.1. Análisis de onda	8

1.5.2.	Análisis espectral	9
1.5.3.	Análisis de fase	10
1.5.4.	Análisis orbital	10
1.6.	Toma de datos de vibraciones	11
1.6.1.	Sensores o transductores.....	11
1.6.2.	Amplitud de vibración	13
1.6.3.	Unidades de vibración	13
1.6.4.	Puntos de medición.....	17
1.6.5.	Orientación del sensor o transductor.....	21
1.6.6.	Montaje del transductor	22
1.7.	Determinación del estado de la máquina	24
1.7.1.	Evaluación del estado de la máquina con el uso de valores límites de normas.....	25
1.7.2.	Evaluación del estado de la máquina con el uso de valores recomendados por el fabricante.....	27
1.7.3.	Evaluación del estado de la máquina por medio de tendencias	27
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	29
2.1.	Estandarización en servicio de análisis de vibraciones.....	30
2.2.	Implementación de los conocimientos obtenidos y realización de ensayos en taller de Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.....	30
2.3.	Instructivo para la toma de datos en servicio de análisis de vibraciones en motores eléctricos, ventiladores y equipos similares	31
2.3.1.	Objetivo	31
2.3.2.	Alcance.....	32
2.4.	Definiciones.....	32

2.4.1.	Responsabilidad	32
2.4.2.	Procedimiento.....	33
2.5.	Creación de plantilla y procedimiento para la elaboración de reportes en servicio del análisis de vibraciones.....	41
2.5.1.	¿Qué debe de incluir un reporte de análisis de vibraciones?.....	41
2.6.	Realización de análisis de vibraciones en campo	43
2.7.	Ahorro energético	50
3.	FASE DE DOCENCIA	53
3.1.	Importancia del analista de vibraciones.....	54
3.2.	Importancia de mantener los historiales	54
3.3.	Importancia del equipo de análisis de vibraciones	55
3.4.	Presentación de mejoras y avances.....	55
3.5.	Presupuesto	57
3.6.	Recursos humanos.....	57
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES.....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Comparación de onda de tiempo con espectro de frecuencia	9
2.	Obtención de espectro de frecuencia	9
3.	Análisis de fase	10
4.	Análisis orbital	11
5.	Amplitud de vibración	13
6.	Colocación correcta del sensor, punto 1 horizontal.....	18
7.	Colocación incorrecta del sensor, lejos del soporte del rodamiento.....	18
8.	Colocación incorrecta del sensor, en guarda de seguridad.....	19
9.	Localización de puntos de medición secuencialmente	20
10.	Puntos de medición 1 frontal y 2 frontal	21
11.	Puntos de medición con sus tres orientaciones	22
12.	Tipos de montaje para transductor.....	23
13.	Norma ISO 10816-3	26
14.	Norma VDI 2056	27
15.	Puntos de medición para prototipo didáctico.....	31
16.	Posición correcta donde colocar el transductor.....	35
17.	Puntos de medición para diferentes máquinas	36
18.	Puntos de medición para motor horizontal	37
19.	Puntos de medición para motor eléctrico vertical	37
20.	Ventilador inducido de horno.....	44
21.	Ventilador inducido de horno punto 1H	45
22.	Ventilador inducido de horno punto 1V	45
23.	Ventilador inducido de horno punto 2H	45

24.	Ventilador inducido de horno punto 2V	46
25.	Ventilador inducido de horno punto 2 ^a	46
26.	Ventilador inducido de horno punto 3H.....	46
27.	Ventilador inducido de horno punto 3V	47
28.	Ventilador inducido de horno punto 3 ^a	47
29.	Ventilador inducido de horno punto 4H.....	47
30.	Ventilador inducido de horno punto 4V	48
31.	Ventilador inducido de horno punto 4 ^a	48
32.	Aspas de ventilador inducido de horno	49
33.	Ensayos en Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.....	53
34.	Presentación de instructivo	56
35.	Presentación de toma de datos de vibracones	56

TABLAS

I.	Tipos de transductores de vibración	12
II.	Unidades de medición para vibración	14
III.	Ejemplo de la discrepancia de acuerdo al punto de medición	17
IV.	Ejemplo de la similitud de vibración entre puntos cercanos.....	21
V.	Límites máximos de frecuencia según montaje	24
VI.	Unidades de medición para vibraciones	34
VII.	Principales montajes del transductor y su frecuencia máxima límite	39
VIII.	Ejemplo de reporte preliminar	42
IX.	Vibración global para ventilador inducido de horno antes.....	48
X.	Vibración global para ventilador inducido de horno después.....	50
XI.	Presupuesto.....	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Aceleración de la gravedad
HP	Caballo de fuerza
cpm	Ciclos por minuto
Hz	Ciclos por segundo
x	Desplazamiento
W	Frecuencia de oscilación
°	Grado sexagesimal
%	Porcentaje
Plg	Pulgada
rms	Raíz cuadrada media
rpm	Revoluciones por minuto
t	Tiempo
bcu	Unidad de condición de rodamientos
V	Velocidad

GLOSARIO

Análisis de vibraciones	Es el estudio y análisis de ondas vibratorias como técnica para supervisar y diagnosticar la maquinaria e implementar un plan de mantenimiento predictivo.
BCU	<i>Bearing condition unit</i> o unidad de condición de cojinetes, medida de vibración indicativa del estado de los cojinetes de una máquina.
CBM	<i>Condition based maintenace</i> o mantenimiento bajo condiciones, mantenimiento basado en el monitoreo continuo para realizar el mantenimiento en el momento oportuno.
Datos	Documento, informe o testimonio que permite llegar al conocimiento de algo o deducir las consecuencias legítimas de un hecho.
Espectro de frecuencia	Es la herramienta aplicada al análisis de máquinas por medio de la separación de las ondas vibratorias en el dominio de la frecuencia.
Instructivo	De procedimientos para la realización de alguna cosa, para armar o para utilizar de alguna manera que sea necesario.

ISO 10816	Norma internacional que entrega las guías específicas para la evaluación de la severidad de vibración medidas en apoyos, montajes o soportes de máquinas industriales.
ISO 10816-3	Norma internacional para la evaluación de la severidad de vibración referente a máquinas industriales rotativas con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 rpm y 15 000 rpm.
Manual	Instrumento administrativo, en forma explícita, ordenada y sistemática, con información sobre objetivos, políticas, atribuciones, organización y procedimientos de los órganos de una institución; así como las instrucciones o acuerdos necesarios para la ejecución del trabajo asignado al personal.
Procedimiento	Término sobre la acción que consiste en proceder, que significa actuar de una forma determinada.
Prototipo	Es una máquina en pruebas o un objeto diseñado para una demostración de cualquier tipo.
rms	<i>Root mean square</i> o raíz cuadrada media, es la raíz cuadrada del promedio de los valores al cuadrado; es una medida estadística de la magnitud de una cantidad variable.

TPM	<i>Total productive maintenance</i> o mantenimiento productivo total, mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las paradas imprevistas para maximizar la producción.
Transductor	Dispositivo capaz de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente a la salida.
Turbomáquina	Absorbe energía de un fluido y restituye generalmente energía mecánica en su eje de rotación: turbinas de vapor o turbinas hidráulicas; bien, absorbe energía mecánica de su eje y restituye energía a un fluido: una bomba o un ventilador.
Vibración	Es el movimiento de vaivén que ejerce las partículas de un cuerpo debido a una excitación.

RESUMEN

El presente trabajo escrito es el informe del ejercicio profesional supervisado realizado en la empresa Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., en el departamento de análisis de vibraciones, que ofrece este servicio como una herramienta útil en el mantenimiento predictivo para detectar fallas en máquinas rotativas a etapas tempranas de desarrollo.

Se describen algunos conceptos y temas importantes indispensables para el desarrollo del EPS: tipos de mantenimiento, definición de análisis de vibraciones, parámetros y la importancia sobre la adquisición de datos confiables y certeros.

Se presenta un instructivo de procedimientos para la toma de datos en el análisis de vibraciones enfocado en máquinas rotativas que describe los pasos más importantes de una forma clara y completa, en la adquisición de datos para un análisis de vibraciones.

Se realizó una descripción sobre los problemas más comunes en máquinas rotativas y su relación con los puntos y posiciones para coleccionar datos de análisis de vibraciones.

OBJETIVOS

General

Crear un procedimiento claro para medir confiablemente vibraciones en máquinas rotativas.

Específicos

1. Diseñar instructivos para la toma de datos en máquinas rotativas.
2. Mejorar continuamente los instructivos según las necesidades y riesgos en el un análisis de vibraciones.
3. Crear una plantilla y los procedimientos para la elaboración de reportes en servicio del análisis de vibraciones.
4. Incentivar a los analistas de vibraciones a seguir con los procedimientos establecidos.

INTRODUCCIÓN

En la industria cada día se consume gran cantidad de recursos en la reparación de máquinas. Uno de los campos donde existe oportunidad para disminuir costos y ayudar a mejorar la eficiencia es el área de mantenimiento.

Entre los tipos de mantenimientos está el mantenimiento predictivo, la serie de acciones y técnicas que se aplican para pronosticar el punto futuro de falla de una máquina y de esta manera prevenir paros imprevistos, incluso fallas catastróficas. El análisis de vibraciones es la principal técnica para supervisar y diagnosticar máquinas rotativas e implantar un plan de mantenimiento predictivo.

La toma de datos de vibración para diagnosticar el estado de una máquina es tan importante como el mismo análisis de vibraciones ya que de aquella depende un buen análisis de vibraciones; los datos o lecturas tomadas deben de ser claros, certeros y verídicos.

El presente trabajo tiene como objetivo establecer los procedimientos a seguir en la adquisición de datos para un análisis de vibraciones y los parámetros necesarios antes, durante y después del análisis de vibraciones.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

Esta fase consiste en investigar el análisis de vibraciones, la metodología y las formas de trabajo de Elliott Turbocharger Guatemala, S.A. Es de suma importancia saber todo lo necesario con relación al análisis de vibraciones para elaborar un instructivo para la estandarización del servicio del análisis de vibraciones. Elliott Turbocharguer Guatemala, S.A., proporcionó todos los datos necesarios para que este proyecto se realizara con éxito; brindó previamente una capacitación sobre el análisis de vibraciones y apoyo con información incondicional durante la realización de este proyecto.

El personal de Elliott Turbocharger Guatemala S.A., fue clave para la incorporación al ejercicio profesional supervisado, ya que brindó un apoyo continuo, especialmente el departamento de análisis de vibraciones ya que era necesario trabajar en conjunto para concluir este proyecto de la mejor manera posible.

1.1. Descripción de la empresa

Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., se especializa en el mantenimiento de turbomaquinaria y equipo rotativo: turbocargadores, turbinas de vapor, compresores, bombas hidráulicas, entre otros. Además, Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., ofrece alineación láser, balanceo dinámico y análisis de vibraciones el cual proporciona una herramienta muy útil en el mantenimiento de equipos industriales.

1.1.1. Ubicación

Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., cuenta con un taller de 1 200 metros cuadrados situado en Mixco, Guatemala (contiguo al área metropolitana de la Ciudad de Guatemala). 4^a. 4-44 zona 8, San Cristobal, sector A-5 Mixco, Guatemala, C.A.

1.1.2. Reseña histórica

Elliott se fundó a partir de la creación de productos de limpieza para tubos de calderas, debido a que estos a menudo se ensuciaban con los minerales en el agua de alimentación. En 1895, William Swan Elliott patentó un producto de limpieza para calderas y formó una compañía para vender su invento.

En 1910, Elliott Sociedad se constituyó en Pittsburgh, Pennsylvania. En 1914 se trasladó a su actual ubicación en Jeannette, Pennsylvania. Elliott creció rápidamente a través de adquisiciones relacionadas con la tecnología del vapor, calentadores, sistemas de lubricación, extractores y separadores. Elliott adquirió la compañía Kerr turbina de Wellsville en 1923, esta fue la transición de un proveedor de equipos auxiliares a un fabricante de controladores de turbinas de vapor.

Más tarde, agregó adquisiciones como compresores a la cartera de productos. Elliott se convirtió en un líder mundial en tecnología de compresión. Durante este mismo período, Elliott sentó las bases para su red mundial de tiendas de servicios y equipos de servicio de campo que hoy en día ofrecen un servicio integral para equipos de rotación de cualquier fabricante.

A raíz de una compra de administración de United Technologies, en el 2000, Elliott se convirtió en una subsidiaria de propiedad absoluta de Ebara Corporation, con sede en Haneda, Japón. La relación con Ebara comenzó en 1968 cuando Ebara licencia la tecnología de Carrier para construir turbinas y compresores de Elliott; más tarde, en 1975, Ebara abrió una nueva fábrica en Sodegaura, Japón, para construir turbomáquinas con diseño de Elliott. En la actualidad, Elliott es de nuevo llamado Elliott Company, y las operaciones integradas del Grupo Elliott ofrecen a los clientes en todo el mundo que son un equipo confiable, eficiente de rotación y de servicios.

Elliott inició sus operaciones en la ciudad de Guatemala en el año 1997, Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., el cual se especializa en el mantenimiento de turbomaquinaria y equipo rotativo; posee un taller de 1200 metros cuadrados situado en Mixco, Guatemala. Cuenta con maquinaria de tecnología de punta para la reparación y prueba de turbomaquinaria; asimismo, cuenta con ingenieros y técnicos de servicio especializados.

1.1.3. Productos y servicios

Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., ofrece mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo industrial. Entre sus servicios están: análisis de vibraciones, balanceo dinámico tanto de campo como de taller y alineamiento entre ejes. Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., cuenta con la representación de la empresa alemana Schenck, la cual es líder en el mercado mundial en equipo de balanceo y diagnóstico; con más de 125 años de experiencia e innovación, Schenck es la marca número uno en balanceo dinámico y análisis de vibraciones.

1.2. Descripción del problema

Entre los servicios que ofrece Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., está el análisis de vibraciones el cual proporciona una herramienta muy útil en el mantenimiento de equipos industriales. A pesar de que el servicio de análisis de vibraciones lo realizan analistas especializados y con amplia experiencia, se desea mejorarlo con la creación de procedimientos e instructivos para la toma de datos en el servicio de análisis de vibraciones.

Muchos de estos procedimientos ya se realizaban anteriormente, pero no existía ningún instructivo con el cual los analistas de vibraciones pudieran respaldarse. Actualmente ya se cuenta con este instructivo que si bien no abarca todas las máquinas de la industria, brinda una guía para la realización de toma de datos en un análisis de vibraciones.

1.3. Definiciones básicas

1.3.1. Mantenimiento

Es el conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes con el objetivo de asegurar el funcionamiento óptimo para aumentar la eficiencia y evitar daños; el mantenimiento permite tener un mayor grado de confiabilidad garantizar la disponibilidad operacional de las máquinas. El mantenimiento debe realizarse de manera continua y permanente a través de programas con fines, metas y objetivos definidos.

1.3.2. Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento se da únicamente cuando ocurre una falla en la máquina. Es decir, si no ocurre algún desperfecto en la máquina, el mantenimiento será nulo. Los costos de este mantenimiento son los más elevados, debido a los tiempos muertos en producción por reparaciones no programadas, maquinaria dañada y gastos de tiempo extra. Esto hace casi imposible planificar las necesidades de este mantenimiento y, lo que es peor, predecir el estado general de disponibilidad de los equipos.

1.3.3. Mantenimiento preventivo o de rutina

Tiene como finalidad prevenir, detectar y corregir defectos para evitar fallas. Su misión es tener un nivel de servicio determinado en los equipos para programar las intervenciones en el momento más oportuno. Se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema. Las actividades de este mantenimiento se pueden planificar con base en un programa por tiempo calendario, distancia recorrida, horas de operación, cantidad de partes producidas.

Aunque este hace un uso ineficiente de los recursos para la mayoría de las máquinas, hay casos cuando se le puede usar con buenos resultados.

1.3.4. Mantenimiento predictivo

Está basado en la determinación del estado actual de las máquinas en operación. La técnica se basa en el hecho de que las partes de las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen. Para percibir estos síntomas en las máquinas existe varias técnicas como el análisis de vibraciones, la termografía,

el ultrasonido, entre otros. El uso de estas técnicas para determinar el estado de las máquinas dará como resultado un mantenimiento mucho más eficiente, en comparación con los tipos de mantenimiento anteriores.

El mantenimiento predictivo permite que se tenga el control de las máquinas y de los programas de mantenimiento. Cuando se usa el mantenimiento predictivo, el estado de las máquinas se conoce en cualquier momento; por esta razón es posible una planificación más precisa.

Su técnica más importante es el análisis de vibraciones, debido a que proporciona la cantidad de información más importante sobre el funcionamiento interno de una máquina, aunque lo ideal es combinar más de una técnica.

1.3.5. Mantenimiento proactivo

El mantenimiento proactivo se basa en la solidaridad, iniciativa propia, colaboración y trabajo en equipo, ya que todos los involucrados deben conocer acerca del mantenimiento y realizar distintas tareas en conjunto para que el mantenimiento se realice.

Cada individuo sin importar su cargo o función debe asumir un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se deben atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente.

Implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el plan estratégico de la organización que, a su vez, debe brindar indicadores hacia la gerencia de resultados del progreso de las actividades.

1.3.6. Mantenimiento bajo condiciones

También llamado CBM por las siglas de su nombre en inglés, *condition based maintenance*. Monitorea las condiciones o estados de los diferentes elementos de una máquina para decidir el momento óptimo para realizar el mantenimiento; se basa en condiciones como el control de temperatura, el monitoreo de vibraciones, el ultrasonido, la supervisión del rendimiento, entre otros.

1.3.7. Mantenimiento productivo total

También llamado TPM por sus siglas en inglés, *total productive maintenance*. El mantenimiento productivo total es una filosofía del mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las paradas imprevistas para evitar las pérdidas de producción; es decir, mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima. Los objetivos de este mantenimiento es lograr cero averías, cero tiempos muertos, cero pérdidas de rendimiento y capacidad productiva, cero defectos en los productos a causa del mal estado de las máquinas.

1.3.8. Vibraciones mecánicas

Toda máquina consta de diferentes elementos con diferentes funciones y de diferentes movimientos que provocan fuerzas dinámicas que generan vibraciones mecánicas. Esto significa que es normal que toda máquina vibre, pero no toda vibración es normal; por lo tanto, existen niveles de vibración normales y aceptables y niveles de vibración fuera de rango y no aceptables; estos niveles de vibración pueden ser dados por el fabricante o a través de normas internacionales.

1.4. Análisis de vibraciones

Es el estudio de las vibraciones mecánicas producidas por una máquina a causa de un problema o circunstancia para obtener información necesaria sobre su estado en tiempo real, sin necesidad de detener su operación y mucho menos tener que desarmarlas. El objetivo de todo análisis de vibraciones es detectar posibles fallos específicos en edades tempranas para tomar acciones preventivas o correctivas de acuerdo a las necesidades, encontrar soluciones prácticas a los problemas de vibraciones excesivas y adelantarse a corregir las fallas antes que sean más graves.

El análisis de vibraciones consta de dos etapas: adquisición de datos e interpretación de los datos.

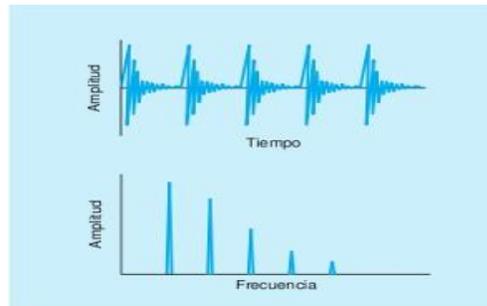
1.5. Técnicas de diagnóstico para la interpretación de datos

Las principales técnicas para realizar un diagnóstico son los análisis de onda, espectral, de fase y orbital.

1.5.1. Análisis de onda

No es más que el análisis de la magnitud de vibración en el dominio del tiempo. Sin embargo, debido a que contiene mucha información suele ser muy compleja de analizar.

Figura 1. **Comparación de onda de tiempo con espectro de frecuencia**

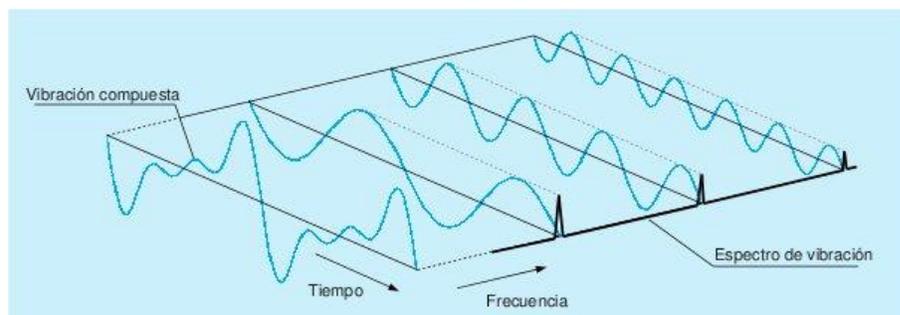


Fuente: *Curso de vibraciones de fundamentos*. http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/fundamentos/transformada_fourier.html. Consulta: 10 de junio de 2016.

1.5.2. Análisis espectral

Consiste en el análisis de la magnitud de vibración en el dominio de la frecuencia que se obtiene al desglosar la onda de vibración en el dominio del tiempo en frecuencia, lo cual permite tener una gráfica mucho más clara y fácil de analizar.

Figura 2. **Obtención de espectro de frecuencia**

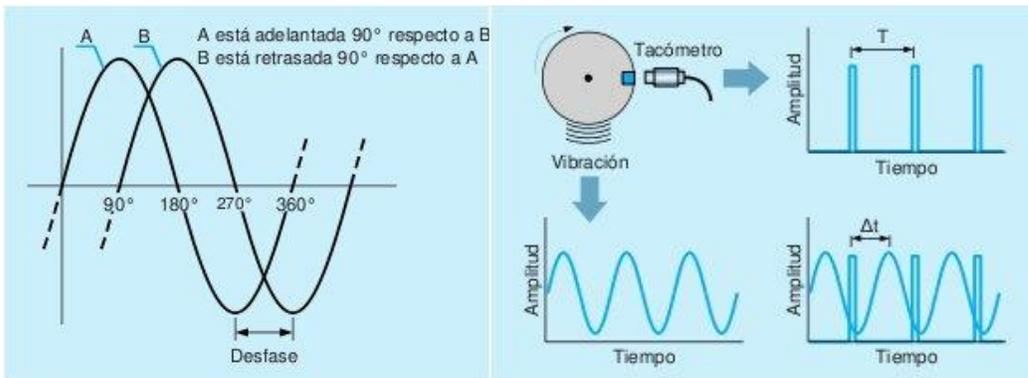


Fuente: *Curso de vibraciones de fundamentos*. http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/fundamentos/transformada_fourier.html. Consulta: 10 de junio de 2016.

1.5.3. Análisis de fase

Es el tiempo de adelanto o retraso que tiene una onda vibratoria respecto a otra de igual período o con respecto a una marca de referencia; esto indica el desfase que existe entre una señal y otra.

Figura 3. Análisis de fase

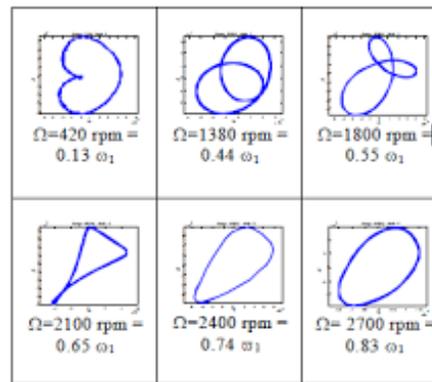


Fuente: *Curso de vibraciones de fundamentos*. http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/fundamentos/transformada_fourier.html. Consulta: 10 de junio de 2016.

1.5.4. Análisis orbital

Es el análisis de la órbita formada por el desplazamiento relativo del rotor con respecto a su cojinete, obtenido con sensores de desplazamiento a 90° uno con respecto del otro.

Figura 4. **Análisis orbital**



Fuente: *Curso de vibraciones de desequilibrio*. http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/desequilibrio/medida_fase.html. Consulta: 10 de junio de 2016.

1.6. Toma de datos de vibraciones

La adquisición de datos es el primer y principal paso para hacer un análisis de vibraciones; consta de coleccionar las lecturas necesarias con respecto a la vibración de una máquina para, posteriormente, realizar un análisis de vibraciones. Hay que tomar en cuenta que para realizar una adquisición de datos es necesario saber diferentes parámetros: tipos de transductores, puntos de medición en la máquina, fijación del transductor en la máquina, calibración del equipo. Este y otros parámetros son necesarios para la toma de datos en análisis de vibraciones ya que varían dependiendo del análisis deseado y de la máquina.

1.6.1. Sensores o transductores

El sensor de vibración o transductor tiene la función de transformar las vibraciones mecánicas en señales eléctricas analógicas para ser procesadas a

un colector para luego ser analizadas. Existen transductores de desplazamiento, velocidad y aceleración, cada uno para diferente tipo de aplicación en la industria.

Tabla I. **Tipos de transductores de vibración**

Tipo de transductor	Sensibilidad
Transductor de desplazamiento	Desplazamiento
Transductor de velocidad	Velocidad
Transductor de aceleración	Aceleración

Fuente: elaboración propia.

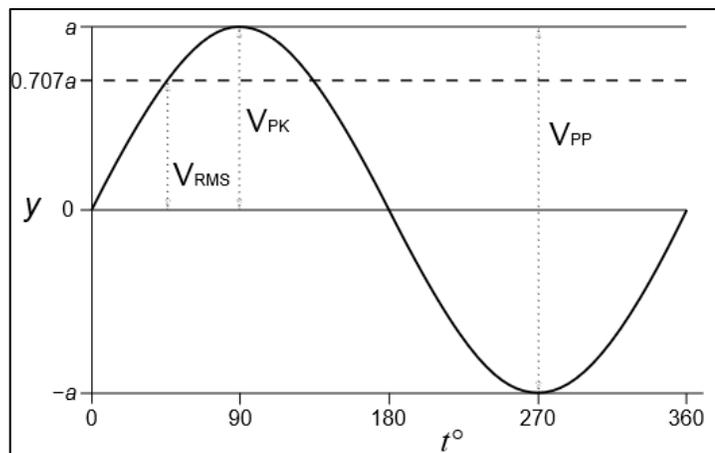
- Transductor de desplazamiento: son usados para medir el movimiento entre el eje y sus cojinetes, (vibración relativa) especialmente utilizado en cojinetes de deslizamiento; su montaje suele ser de instalación fija (pobre portabilidad). Son utilizados para el monitoreo permanente y análisis de órbita. Su rango de frecuencia límite es 1 000 Hz.
- Transductor de velocidad: son utilizados para medir la vibración de la máquina en sí (vibración absoluta). Su montaje puede ser fijo o eventual. Requiere de frecuente calibración y su rango límite de frecuencia es de 1 000 Hz.
- Transductor de aceleración: son usados para medir la vibración de la máquina en sí (vibración absoluta). Su montaje puede ser fijo o eventual, usualmente utilizado para análisis de vibraciones por su fácil portabilidad. Mantiene su calibración por langor tiempo y posee un rango de frecuencia muy amplio y uniforme que va de 1 Hz a 1 0000 Hz.

Nota: debido a su fácil portabilidad, a su amplio rango de frecuencia y a sus lecturas estables y uniformes en todo su rango de frecuencia, se recomienda utilizar el transductor de aceleración (acelerómetro) para el servicio de análisis de vibraciones.

1.6.2. Amplitud de vibración

La amplitud es el desplazamiento máximo de la vibración. Existen diferentes formas para medir la amplitud que puede ser expresada en valor cuadrático medio (rms), pico (p) y pico a pico (p-p).

Figura 5. Amplitud de vibración



Fuente: *Curso de vibraciones de desequilibrio*. http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/desequilibrio/medida_fase.html. Consulta: 10 de junio de 2016.

1.6.3. Unidades de vibración

Las mediciones para cuantificar la vibración son: desplazamiento, velocidad y aceleración.

- **Desplazamiento:** es el cambio de posición de un cuerpo desde su posición de reposo. El desplazamiento se relaciona con estrés o esfuerzo excesivo, esto es cuando un componente está sometido a una fuerza de flexión excesiva que provoca una falla inminente. Es usada para determinar el movimiento relativo entre un eje y su cojinete, su rango recomendado de medición es no mayor de 1 200 Hz y sus unidades son micras p-p y milésimas de pulgada p-p.
- **Velocidad:** es el cambio de posición con respecto al tiempo, la velocidad se relaciona con fatiga en los componentes de las máquinas, lo que provoca desgaste prematuro. El rango recomendado de medición es desde los 5 Hz hasta los 2 000 Hz. Sus unidades de medición son pico o rms, en mm/s y pulgadas/s.
- **Aceleración:** es el cambio de velocidad en un tiempo determinado, la aceleración se relaciona con la fuerza ejercida sobre los componentes de las máquinas. La aceleración es la medida dominante para altas frecuencias. Su rango recomendado de medición es a partir de los 1 000 Hz. Las unidades para medir aceleración son el valor pico o rms en m/s^2 , $pulg/s^2$, g's.

Tabla II. **Unidades de medición para vibración**

Parámetros de medición	Unidades a utilizar
Desplazamiento	μm , mm, mils
Velocidad	mm/s, Plg/s
Aceleración	m/s^2 , Plg/s ² , g
Frecuencia	Hz, cpm

Fuente: elaboración propia.

Saber que la ecuación del desplazamiento de vibración a partir del movimiento armónico simple es:

$$X = A \text{ sen } (wt)$$

[Ec. 1]

Donde:

- A = amplitud del desplazamiento
- w = frecuencia de oscilación
- T = tiempo

por principio se sabe que la amplitud de oscilación del desplazamiento aumenta conforme la frecuencia disminuye, es decir, la amplitud de oscilación del desplazamiento es inversamente proporcional a la frecuencia.

Pero si se obtiene la segunda derivada del desplazamiento conforme al tiempo obtenemos la aceleración:

$$a = - A w^2 \text{ sen } (wt)$$

[Ec. 2]

Donde:

- $(A W^2)$ = amplitud de aceleración
- A= amplitud del desplazamiento
- w = frecuencia de oscilación
- t= tiempo

En este caso conforme aumente la frecuencia, la amplitud de aceleración aumenta a pesar de que la amplitud del desplazamiento disminuye, debido a que la frecuencia está al cuadrado.

De igual manera se sabe que la ecuación de la velocidad es:

$$V = - A W \cos (wt)$$

[Ec. 3]

Donde:

- $(A W)$ = amplitud de velocidad
- A = amplitud del desplazamiento
- w = frecuencia de oscilación
- t = tiempo

En este caso la amplitud de velocidad se mantendrá constante debido a que mientras aumente la frecuencia la amplitud del desplazamiento disminuye; si la frecuencia disminuye la amplitud del desplazamiento aumentará manteniendo la proporcionalidad. Por lo que se concluye lo siguiente:

- El desplazamiento acentúa de mejor manera las bajas frecuencias
- La velocidad responde de forma uniforme a cualquier frecuencia
- La aceleración acentúa de mejor manera las altas frecuencias

Nota: al saber esto y tomar en cuenta que se enfocará a motores eléctricos, se recomienda tomar lecturas de vibración en velocidad ya que responde de manera uniforme a cualquier frecuencia.

1.6.4. Puntos de medición

La ubicación de los puntos de medición es una parte primordial en la toma de datos de vibraciones, en este caso se refiere a lecturas tomadas con transductores externos o portátiles como los transductores de aceleración o acelerómetros.

El transductor debe colocarse lo más cercano posible del rodamiento, con metal sólido entre el rodamiento y el transductor. Se debe evitar colocar el transductor en protectores o cubiertas (guardas), ya que son hechas de metal delgado y no conducen la energía de vibración de manera verídica.

Se realizaron distintas pruebas para demostrar que mientras más lejos se coloque el transductor de los soportes de los rodamientos, se tendrá una lectura de vibración más baja. Por otra parte, al colocar el transductor sobre la guarda trasera de un motor eléctrico esta mostró una vibración más alta debido a que esta resuena amplificando la vibración. Tomando como base un nivel de vibración de 1,4 mm/s a 2,8 mm/s, condición aceptable para un motor de 30 hp según la norma ISO 10816-3.

Tabla III. **Ejemplo de la discrepancia de acuerdo al punto de medición**

Ubicación de punto de medición	Valor de vibración
Lectura real, punto 1 horizontal	2,75 mm/s rms
Lectura lejos del punto de medición	0,58 mm/s rms
Lectura en guarda	4,56 mm/s rms

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Colocación correcta del sensor, punto 1 horizontal**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Colocación incorrecta del sensor, lejos del soporte del rodamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Colocación incorrecta del sensor, en guarda de seguridad**

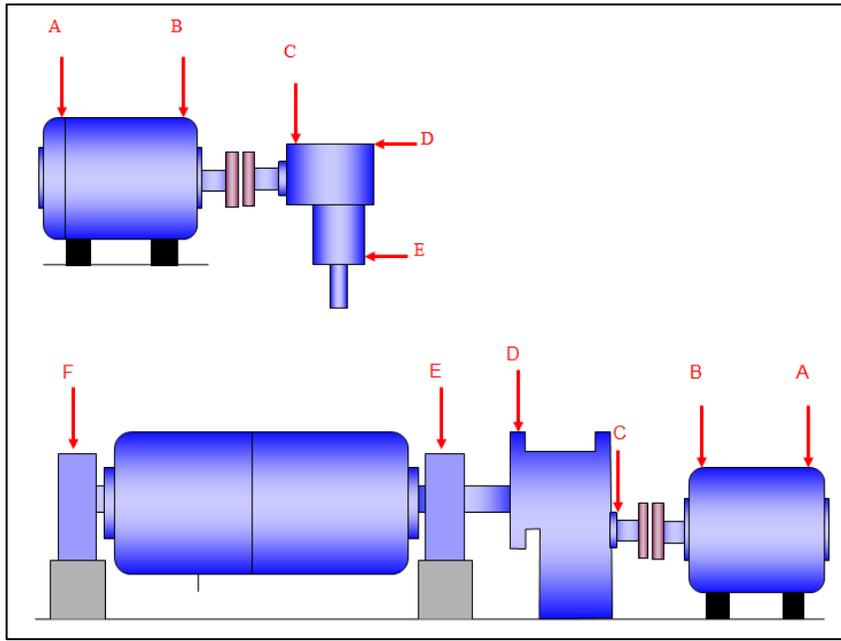


Fuente: elaboración propia.

Se recomienda seleccionar el lugar para colocar el transductor según los soportes de rodamiento como punto clave; siempre iniciando secuencialmente de la parte motriz a la parte impulsada del equipo a analizar.

Nota: se recomienda tomar las lecturas de vibración iniciando siempre de la parte impulsora a la parte impulsada con el fin de estandarizar la toma de datos, se debe tomar una lectura ordenada y que todos los analistas la realicen de la misma manera.

Figura 9. **Localización de puntos de medición secuencialmente**



Fuente: *Cómo realizar un completo informe de análisis de vibraciones.*

<http://pruftechnikacademy.com/como-realizar-un-completo-informe-de-analisis-vibraciones/>.

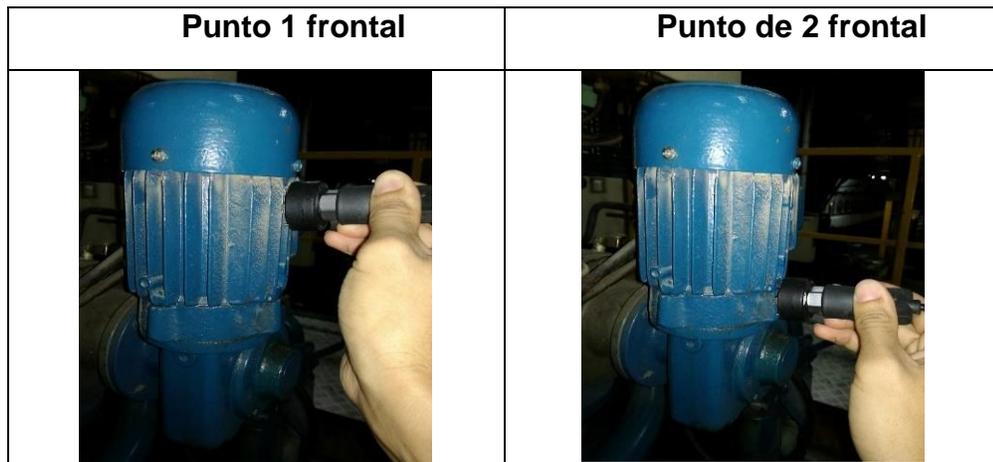
Consulta: 10 de junio de 2016.

Cada letra indica un punto de medición; se indican en orden alfabéticamente, inicia en la parte motriz o impulsora a la parte impulsada.

Para máquinas de pequeñas dimensiones con un punto de medición bastará; por la pequeña distancia entre apoyos o soportes de rodamientos debido a que la vibración no variará notablemente; sin embargo, si las dimensiones de la máquina son considerables es necesario analizar cada soporte de rodamiento como un punto de medición. De igual manera, en máquinas sensibles a daños en los rodamientos o máquinas de operación crítica, cada soporte de rodamiento deberá ser analizado como un punto de medición independiente.

Se realizó una toma de datos a un motor eléctrico vertical de 0,5 hp; se observa en la siguiente tabla que la amplitud de vibración no cambió significativamente debido a la corta distancia entre un punto y otro.

Figura 10. **Puntos de medición 1 frontal y 2 frontal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Ejemplo de la similitud de vibración entre puntos cercanos**

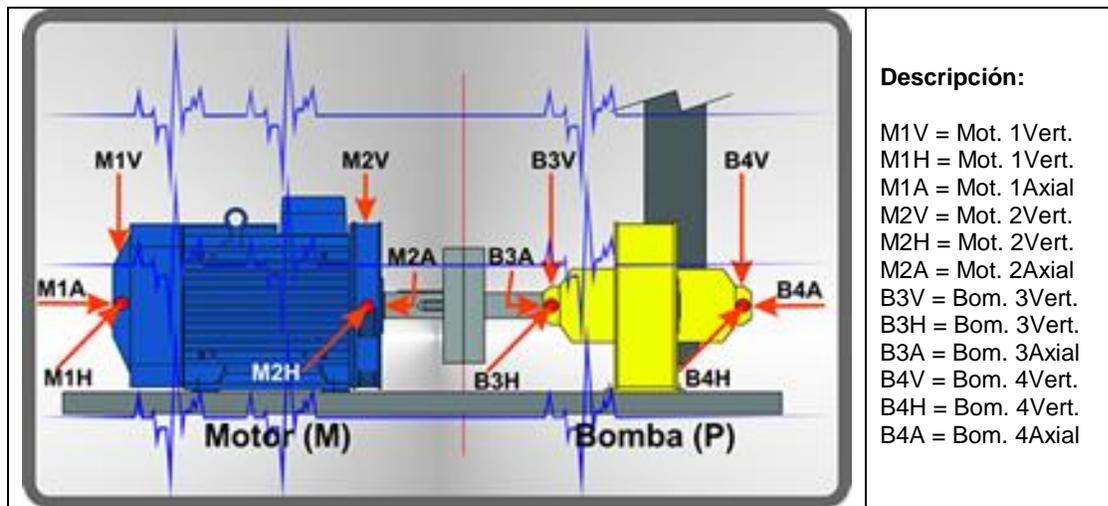
Punto de medición	Amplitud de vibración
Punto 1 frontal	2,15 mm/s rms
Punto 2 frontal	2,12 mm/s rms

Fuente: elaboración propia.

1.6.5. **Orientación del sensor o transductor**

Cada punto de medición debe contener tres lecturas principales, cada una con diferente orientación el sensor. Para máquinas que operan horizontalmente estas orientaciones son horizontal, vertical y axial. En máquinas verticales estas deben ser frontal, lateral y axial.

Figura 11. **Puntos de medición con sus tres orientaciones**



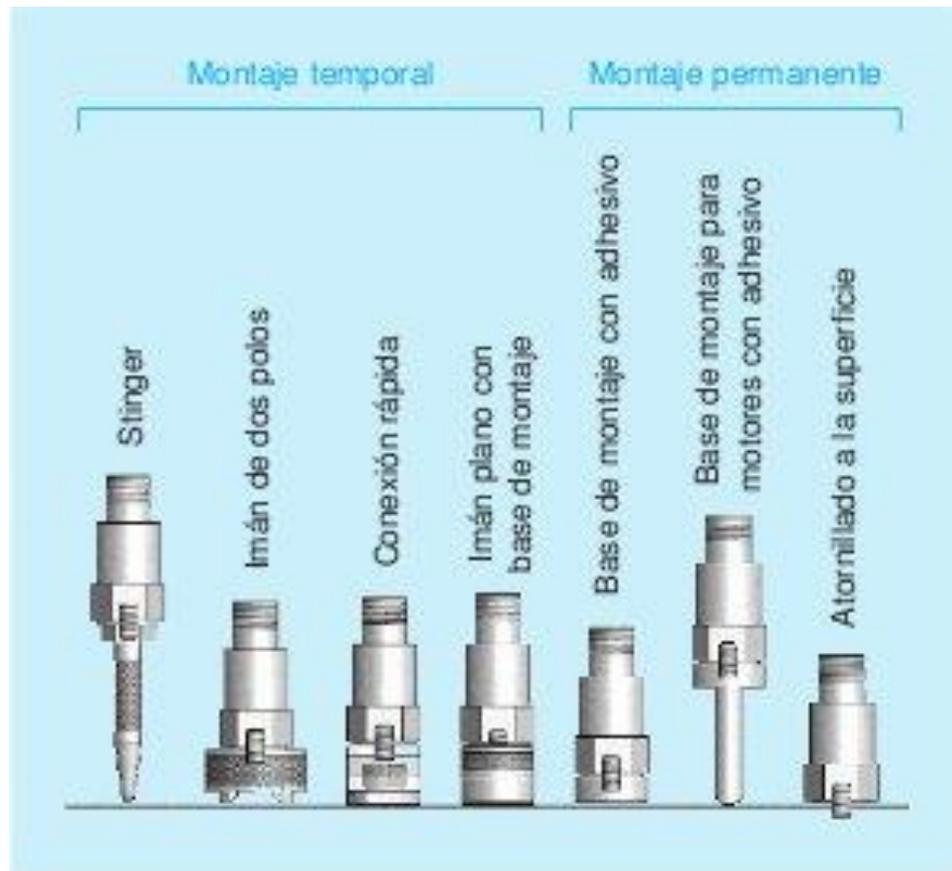
Fuente: *Vibraciones*. <http://www.ieav.com.mx/servicios/servicio-de-an%C3%A1lisis-de-vibraciones-en-sitio/>. Consulta: 10 de junio de 2016.

Es útil obtener datos de vibración de cada punto de medición en tres direcciones, mediante estas tres lecturas por punto permite determinar las fallas o problemas de una máquina. Depende del defecto o problema así esta máquina se expresará en cada punto y dirección que demuestra indicios del daño o problema.

1.6.6. **Montaje del transductor**

Existen diversas formas de como colocar el sensor o transductor, cada uno con diferentes características, ventajas y cualidades. La forma de montaje del sensor en la máquina determina el límite de alta frecuencia que el transductor podrá tomar, ya que el contacto del transductor con la máquina actúa como un filtro mecánico. Los tipos de montaje se pueden clasificar en temporales y permanentes.

Figura 12. Tipos de montaje para transductor



Fuente: *Curso de vibraciones*. http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/sensores/tecnicas_fijacion.html. Consulta: 10 de junio de 2016.

Cada tipo de montaje posee diferente límite de frecuencia máxima como se observa en la tabla V. Mientras más rígido sea el montaje, es decir, mientras mejor sea el contacto entre el transductor y la máquina, este tendrá un límite más alto en cuanto a frecuencia. Por lo que se recomienda que el transductor permanezca lo más cercano y firme a la máquina a analizar.

Tabla V. **Límites máximos de frecuencia según montaje**

Forma de fijación	Frecuencia máx. (Hz)
Sujeción manual	1 000
Montaje con magneto	4 000
Montaje con adhesivo	10 000
Montaje atornillado	16 000

Fuente: elaboración propia.

1.7. Determinación del estado de la máquina

Para determinar el estado de la máquina se inicia con una lectura de vibración global en todos los puntos y direcciones. Posteriormente se elige el valor más alto obtenido, un parámetro que se puede usar para determinar la severidad de vibración de la máquina. Donde se obtenga el valor más alto de vibración se asume que es el punto donde se localiza la falla, el más representativo o el punto donde se tiene un mayor riesgo de ocurrir un daño. Con este resultado por medio de límites de vibración dados por el fabricante, de normas internacionales o por medio de tendencia, se sabe sí:

- La máquina puede operar sin ningún problema o restricción alguna.
- La máquina presenta leves síntomas de un problema futuro, debe monitorearse continuamente.
- La máquina posee algún daño, debe planificarse un mantenimiento proyectado dependiendo de la severidad de los daños.
- La máquina debe ser parada inmediatamente para evitar daños materiales o humanos.

Existen tres métodos de evaluación que nos pueden guiar para determinar el estado de la máquina según su nivel máximo de vibración. El nivel máximo de vibración se refiere al valor más alto de vibración global obtenido al tomar todos los puntos de medición de una máquina. Estos tres métodos son:

1.7.1. Evaluación del estado de la máquina con el uso de valores límites de normas

Cuando no se cuenta con parámetros dados por el fabricante, o con datos previos que muestren una tendencia del estado de la máquina, la evaluación del estado de la máquina puede hacerse mediante una comparación de los valores de vibración global obtenidos con los límites recomendados por una norma correspondiente.

Se deben tomar todos los datos de vibración de una máquina, localizar los puntos más altos, puntos críticos o puntos vulnerables. Y comparar estas medidas con los límites de la norma ubicando la región en donde se encuentra el estado de la máquina analizada. De esta manera se sabrá el estado de la máquina y su clasificación. Existen diversas normas, entre las cuales se encuentran:

- Norma ISO 10816-3: establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración de una máquina, con el uso de mediciones realizadas sobre partes no rotativas. Por medio de la amplitud de vibración brinda una tabla comparativa con la cual se sabe el estado de la maquina analizada. Esta norma reemplaza a las ISO 2372 e ISO 3945.

Figura 13.

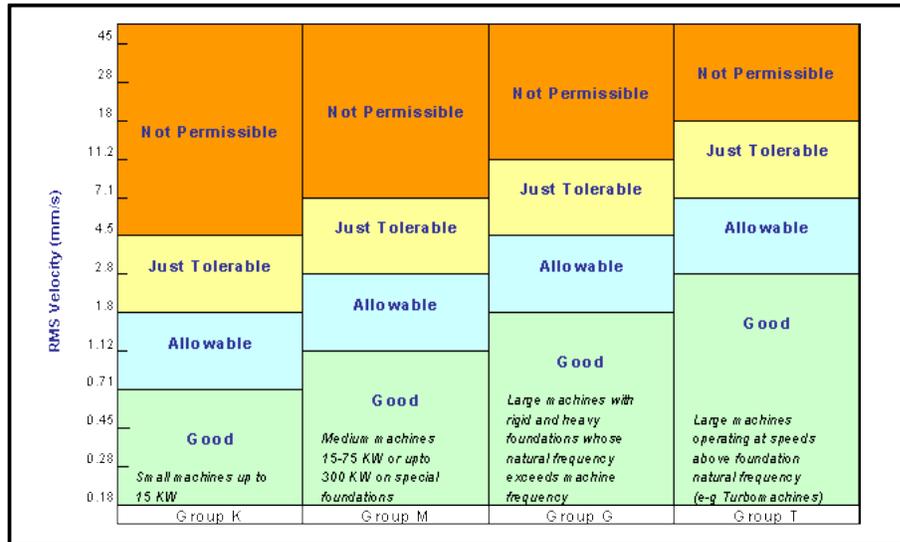
Norma ISO 10816-3

								v r.m.s. mm/s	v r.m.s. inch/s	Velocidad Vibración 10 - 1000 Hz n > 600 1/min (2 - 1000 Hz n > 120 1/min)																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>rígida</td><td>flexible</td><td>rígida</td><td>flexible</td><td>rígida</td><td>flexible</td><td>rígida</td><td>flexible</td> <td colspan="2" style="text-align: right;">Fundación</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal</td> <td colspan="2">Máquinas medianas 15 kW < P ≤ 300 kW</td> <td colspan="2">Máquinas Grandes 300 kW < P < 50 MW</td> <td colspan="2" rowspan="2" style="text-align: right;">Tipo de Máquina</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Acople directo</td> <td colspan="2">Eje intermedio / Poleas.</td> <td colspan="2">Motores 160 mm ≤ H < 315 mm</td> <td colspan="2">Motores 315 mm ≤ H</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Grupo 4</td> <td colspan="2">Grupo 3</td> <td colspan="2">Grupo 2</td> <td colspan="2">Grupo 1</td> <td colspan="2" style="text-align: right;">Grupo</td> </tr> <tr> <td colspan="8"></td> <td style="background-color: #0000FF;">Puesta en operación recientemente.</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8"></td> <td style="background-color: #008000;">Operación para largo plazo.</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8"></td> <td style="background-color: #FFFF00;">Operación para corto plazo</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8"></td> <td style="background-color: #FF0000;">Vibración causando daños</td> <td></td> </tr> </table>								rígida	flexible		rígida	flexible	rígida	flexible	rígida	flexible	Fundación		Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P ≤ 300 kW		Máquinas Grandes 300 kW < P < 50 MW		Tipo de Máquina		Acople directo		Eje intermedio / Poleas.		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H		Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo										Puesta en operación recientemente.										Operación para largo plazo.										Operación para corto plazo										Vibración causando daños		11	0.433
								rígida	flexible		rígida	flexible	rígida	flexible	rígida	flexible	Fundación																																																																							
								Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P ≤ 300 kW		Máquinas Grandes 300 kW < P < 50 MW		Tipo de Máquina																																																																								
								Acople directo			Eje intermedio / Poleas.		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H																																																																									
								Grupo 4			Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo																																																																							
																Puesta en operación recientemente.																																																																								
																Operación para largo plazo.																																																																								
																Operación para corto plazo																																																																								
								Vibración causando daños																																																																																
								7.1	0.280																																																																															
								4.5	0.177																																																																															
								3.5	0.138																																																																															
								2.8	0.110																																																																															
								2.3	0.091																																																																															
								1.4	0.055																																																																															
								0.71	0.028																																																																															

Fuente: *La vibración*. <https://pruftechnik.wordpress.com/2011/10/13/la-vibracion-confirma-la-norma/>. Consulta: 10 de junio de 2016.

- Norma VDI 2056: al igual que la norma ISO 10816-3, la norma VDI 2056 muestra una tabla comparativa en la cual se definen niveles globales máximos de vibración según el tipo de máquina; se localiza así la máquina en una condición de bueno a no permitido según sea el nivel de vibración global máximo.

Figura 14. Norma VDI 2056



Fuente: *La vibración*. <https://pruftechnik.wordpress.com/2011/10/13/la-vibracion-confirma-la-norma/>. Consulta: 10 de junio de 2016.

1.7.2. Evaluación del estado de la máquina con el uso de valores recomendados por el fabricante

Siempre que se cuente con parámetros o límites de vibración dados por el fabricante, deben tomarse con prioridad en la evaluación del estado de la máquina ya que este los estipuló tomando en cuenta su diseño y operación.

1.7.3. Evaluación del estado de la máquina por medio de tendencias

Algún aumento en el nivel de vibración de la máquina puede significar algún daño en el progreso o alguna irregularidad en la máquina. Este método consiste en comparar los datos actuales de vibración con datos o tendencia anteriores.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

Esta es sin duda la fase más importante del ejercicio profesional supervisado ya que consta de la realización del análisis de vibraciones en campo y la creación de un instructivo para la toma de datos en servicio para el análisis de vibraciones. Se trabajó en conjunto con los analistas de vibraciones de Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.; se realizó análisis de vibraciones como un servicio de mantenimiento predictivo para proporcionarse a diferentes empresas una solución práctica a sus problemas. En esta fase se conoció a fondo el servicio de análisis de vibraciones, obteniendo información necesaria para la realización de este proyecto: aspectos a tomar en cuenta, prioridades en un análisis de vibraciones, deficiencias del servicio, principales riesgos y la importancia de un buen análisis de vibraciones.

Esta práctica en conjunto con la fase de investigación permitió tener las herramientas necesarias para unir la parte teórica con la práctica y lograr crear un instructivo para la toma de datos en servicio del análisis de vibraciones con los objetivos y las necesidades locales. La realización de este procedimiento se realizó con base en los análisis de vibraciones realizados en campo; cada uno sirvió como guía para saber los puntos claves y los objetivos necesarios para realizar dichos análisis. Luego, se continuo con el traslado de esta información de una manera cronológica para la realización de un procedimiento de la toma de datos para el análisis de vibraciones.

2.1. Estandarización en servicio de análisis de vibraciones

Para la estandarización en el servicio del análisis de vibraciones se realizó un instructivo para la toma de datos en servicio del análisis de vibraciones en motores eléctricos, ventiladores y equipos similares que deberá seguir todo analista al realizar un análisis de vibraciones. Este instructivo también tiene la finalidad de servir como base para la creación de futuros instructivos que requiera Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.

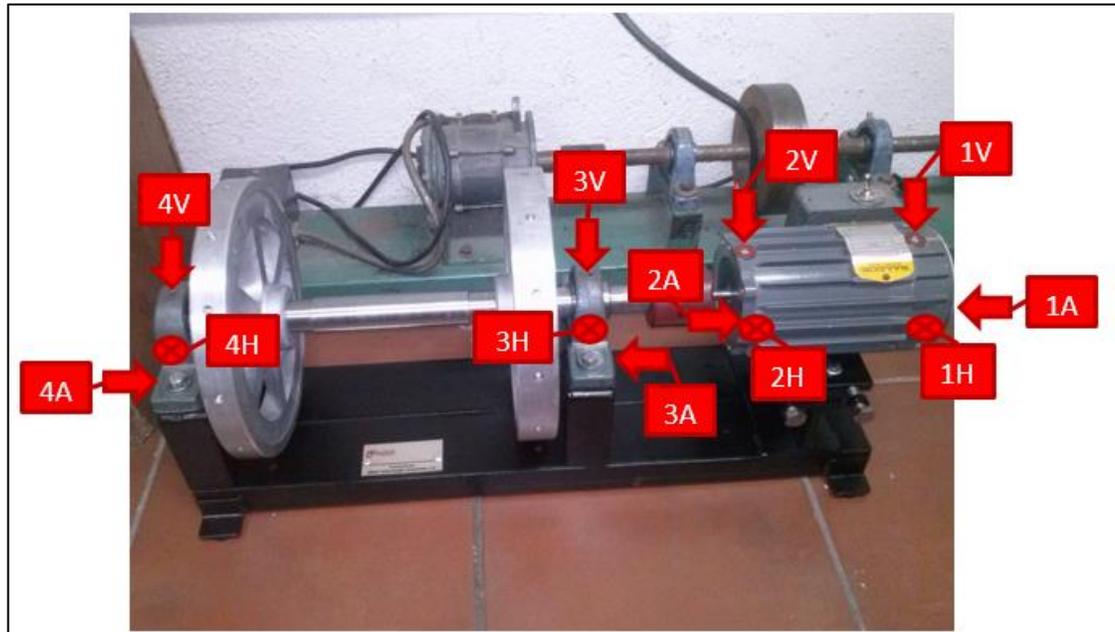
Así mismo, se estandarizaron los reportes de análisis de vibraciones al dividir en reporte preliminar y reporte final; en cada uno se indican los puntos mínimos que deben llevar y las fechas máximas de entrega a los clientes a partir de ser realizado el análisis.

2.2. Implementación de los conocimientos obtenidos y realización de ensayos en taller de Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.

Como primer paso, se procedió a realizar distintos ensayos con demo didáctico en el taller de Elliott Turbocharger Guatemala, S.A; se corroboraron los puntos de medición y los distintos montajes para los sensores de vibraciones, con el objetivo de poner en práctica los conocimientos obtenidos y desarrollar las habilidades y criterios necesarios para, posteriormente, realizar la toma de datos en servicio del análisis de vibración en campo.

A continuación, se observa una fotografía del demo didáctico utilizado como ensayo en la adquisición de datos para el análisis de vibraciones; donde se denotan los puntos de medición.

Figura 15. **Puntos de medición para prototipo didáctico**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Instructivo para la toma de datos en servicio de análisis de vibraciones en motores eléctricos, ventiladores y equipos similares

Este instructivo fue elaborado como propuesta para la aplicación en el servicio del análisis de vibraciones con el fin de su estandarización y como base para la elaboración de instructivos futuros.

2.3.1. Objetivo

Definir y estandarizar los pasos en la toma de datos de vibración para motores eléctricos, ventiladores y otros equipos comunes en el servicio de

análisis de vibraciones para realizar servicios que impacten positivamente en la capacidad de producción y minimicen los costos. El tipo de aplicaciones donde pueden ser usadas estas técnicas abarca todas las máquinas rotativas.

2.3.2. Alcance

Está dirigido a los analistas de vibraciones, jefe de vibraciones y todos los servidores de Elliott Turbocharger Guatemala, S.A. que requieran de una guía para la realización de mediciones de vibración o una base para la elaboración de instructivos de trabajos.

2.4. Definiciones

- Departamento de vibraciones: es el encargado de prestar el servicio de análisis de vibraciones como parte de un mantenimiento predictivo a diferentes equipos de la industria dentro y fuera de Guatemala.
- Análisis de vibraciones: ayuda a diagnosticar problemas en el equipo de trabajo antes de que ocurra alguna falla.
- Toma de datos de vibraciones o mediciones de vibraciones: es el primer y principal paso a dar para hacer un análisis de vibraciones, precisa de atención y cuidado para la fiabilidad de las medidas tomadas.

2.4.1. Responsabilidad

El cumplimiento, seguimiento y mejora de lo establecido en el presente instructivo es responsabilidad de los analistas de vibraciones de Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.

El analista de vibraciones es el único responsable de que la toma de datos de vibraciones se realice correctamente y que proporcione información suficiente para realizar un buen análisis de vibraciones y elaborar los reportes correspondientes.

2.4.2. Procedimiento

- Determinar las características de funcionamiento y diseño del motor, ventilador o equipo a analizar

Determinar las características de funcionamiento que puedan ser útiles para el análisis de vibraciones: velocidad de rotación, tipos de rodamientos, condiciones de montaje, tipo de acoplamiento, número de polos, número de aspas, número de dientes de engranajes, potencia, entre otros. Con estas características determinan ciertas configuraciones del equipo o colector: paso bajo, paso alto, número de líneas, tipo de ventana. También, estas características servirán para posteriormente realizar un análisis de vibraciones.

- Determinar la finalidad del análisis
 - Mediciones de rutina para detectar una posible falla, su severidad y la causa que lo originó. Generalmente, se realizan cuando un equipo presenta síntomas de posibles problemas: ruido, aumento de vibración, aumento de temperatura.
 - Mediciones para crear un historial. Estas mediciones se realizan para tener un valor de base el cual será el valor de vibración que deba tener la máquina cuando sean normales sus condiciones de trabajo. Generalmente, se realizan periódicamente para lograr

tener una tendencia sobre los niveles de vibración de una máquina.

- Mediciones antes y después de una reparación. Los datos tomados antes de la reparación manifestarán el problema y será más eficaz su reparación. Los datos tomados después de la reparación indicarán la evolución del elemento sustituido o la corrección del problema existente.
- Seleccionar los parámetros de medición

Si bien se sabe que existen tres parámetros de medición de vibración: son desplazamiento, velocidad y aceleración, en este caso se enfocará en la velocidad por su respuesta lineal a diferentes frecuencias según se ve en el inciso 1.6.3 y debido a que la velocidad tiene una sensibilidad específica, las fallas por fatiga la cual es la principal causa de averías en las máquinas. La selección de los parámetros determinará las unidades en que se debe configurar el colector.

Tabla VI. **Unidades de medición para vibraciones**

Parámetros de medición	Unidades utilizar	a
Desplazamiento	μm, mm, mils	
Velocidad	mm/s, inch/s	
Aceleración	m/s ² , inch/s ² , g	
Frecuencia	Hz, cpm	

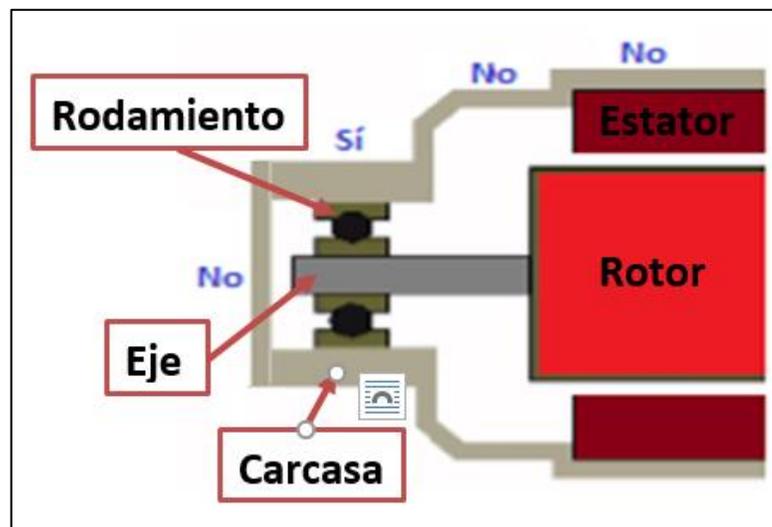
Fuente: elaboración propia.

- Determinar la posición y dirección de los transductores en la toma de datos

- Posición

Las medidas de vibración siempre deben tomarse lo más cercano a los rodamientos, con metal sólido entre el rodamiento y el transductor.

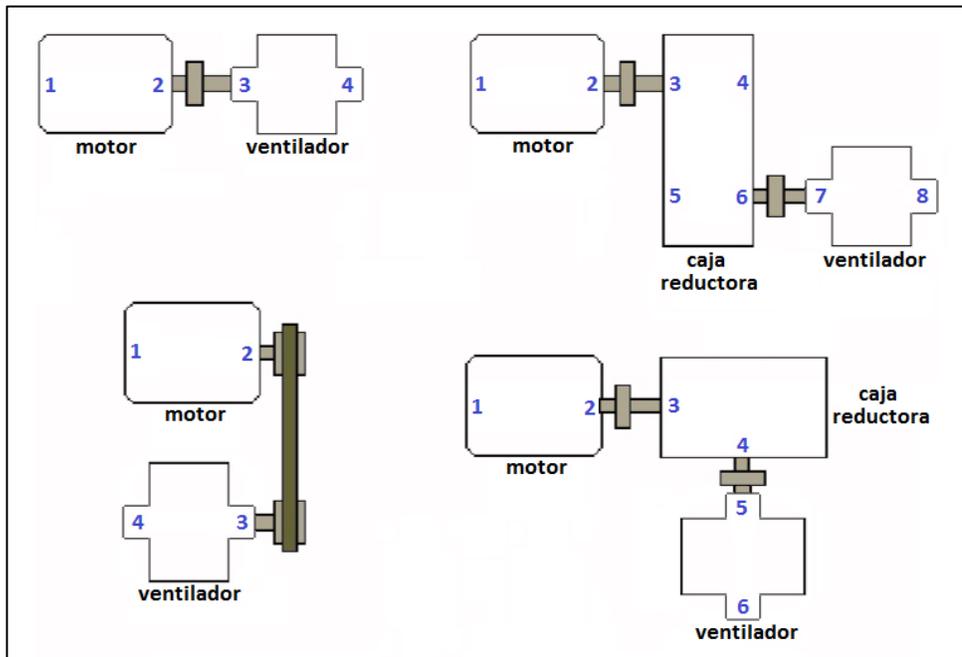
Figura 16. **Posición correcta donde colocar el transductor**



Fuente: elaboración propia.

Sé tomará una posición por cada punto de apoyo (cojinete) que el motor, ventilador o mecanismo posea; se nombra cada una con un número que empieza del lado impulsor al lado impulsado.

Figura 17. Puntos de medición para diferentes máquinas

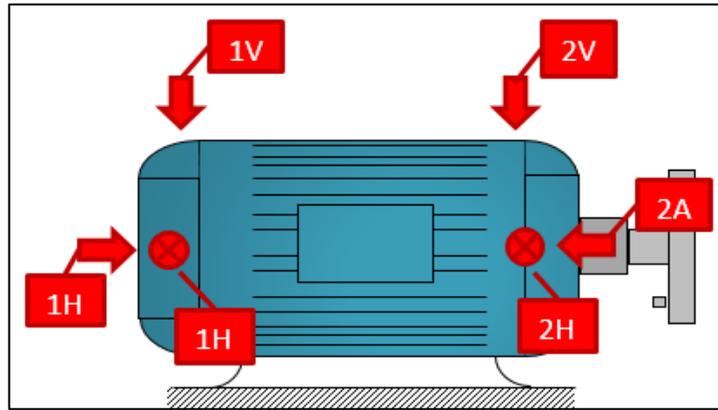


Fuente: elaboración propia.

- Dirección

Para toda máquina rotativa que trabaja en posición horizontal, los tres sentidos en cada punto de medición son: horizontal, vertical y axial; los sentidos radiales son horizontales y verticales. Se tomarán perpendicularmente con respecto al eje de rotación y a 90° uno con respecto del otro. La dirección axial paralela al eje de rotación a la altura de este mismo.

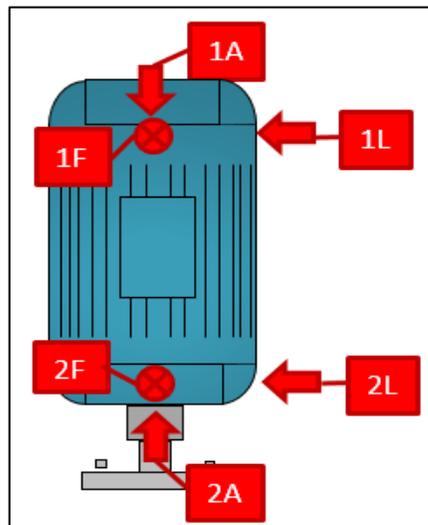
Figura 18. **Puntos de medición para motor horizontal**



Fuente: elaboración propia.

Para toda máquina que trabaja en posición vertical las direcciones en un punto establecido son frontal, lateral y axial o vertical.

Figura 19. **Puntos de medición para motor eléctrico vertical**



Fuente: elaboración propia.

- Seleccionar el equipo de medición y transductor

Se cuenta con tres equipos de medición (vibrotest 41, vibrotest 60 y vibroport 80) de la marca alemana Schenck; todos son aptos para dicho trabajo sin dificultad alguna.

El transductor dependerá de la velocidad de la máquina a analizar; para este caso se recomienda el acelerómetro cuyo rango de medición va de 1 Hz a 10 kHz ($\pm 0,5$ dB) que cumple ampliamente con la norma ISO 10816-3 la cual se refiere a máquinas que van de los 2 Hz a los 250 Hz.

- Determinar el tipo de montaje del transductor a utilizar

Existen tres principales tipos de montaje para transductores en nuestro medio: montaje tipo magneto, montaje tipo probeta y montaje atornillado. Debido a que las mediciones son periódicas y no de monitoreo permanente, se recomienda usar el montaje de tipo magneto por su versatilidad; aunque su rango de medición no es el más amplio debido a que su frecuencia máxima es de 4 000 Hz, este rango cumple fácilmente con la norma ISO 2372 la cual dice que para equipos rotativos cuyo rango de velocidad de giro esta entre 600 y 12 000 rpm, los datos que se requieren es nivel de vibración global en velocidad en un rango de frecuencia entre 10 y 1 000 Hz.

El montaje tipo probeta deberá utilizarse únicamente cuando el punto de medición no esté al alcance del analista, el motor sea de aluminio y no se pueda usar el magneto o por su seguridad sea conveniente utilizar la probeta como una extensión al punto de medición.

Tabla VII. **Principales montajes del transductor y su frecuencia máxima límite**

Forma de fijación	Frecuencia máx. (Hz)
Montaje tipo probeta	1 000
Montaje con magneto	4 000
Montaje atornillado	16 000

Fuente: elaboración propia.

- Determinar el tipo específico de datos requeridos para su interpretación

Así se obtendrá información más útil para el análisis y se ahorrará tiempo a la hora de realizar las mediciones. Los datos obtenidos pueden ser: vibración global, condición de rodamientos, espectro de frecuencia, onda de tiempo. Esto dependerá de la finalidad del análisis (inciso 2.3.2).

- Toma de datos
 - Principios básicos de medición: tomar datos correctamente y de manera efectiva, evita tiempo perdido al poner total atención en el trabajo que se está realizando.
 - Punto de toma de datos: siempre tomar los datos en el mismo punto, es decir, colocar siempre el transductor en el mismo lugar y de una forma firme para evitar así lecturas erróneas. De ser posible, marcar el lugar en donde se colocó el transductor para futuras tomas de datos.

- Investigación del funcionamiento previo de la máquina a analizar: mantener un contacto con operadores y mecánicos de las máquinas, quienes conocen su funcionamiento previo, sus problemas característicos y si se ha realizado algún tipo de modificación o reparación.
- Revisión del entorno de la máquina a analizar: revisar si en el entorno existe algún factor que pueda afectar el funcionamiento de la máquina: suciedad, corrosión, vibración transmitida, problemas de anclaje, entre otros.
- Estar preparado para situaciones inesperadas: estar preparado para tomar datos cuando existan síntomas de algún problema y el análisis requiera más puntos de medición, o si el cliente desea agregar algún punto de medición o agregar otra u otras máquinas a analizar.
- Mantener datos coherentes: es necesario asegurarse de que los datos tomados son coherentes, revisar que los parámetros de medición se hayan seleccionado correctamente (inciso 2.3.3). Tomar los datos nuevamente hasta estar seguro de que estos sean fiables.
- Comparar con máquinas similares: de ser posible se recomienda comparar los datos tomados con máquinas similares y de igual forma de trabajo; de esta manera dará un parámetro sobre una máquina igual en las mismas condiciones.

2.5. Creación de plantilla y procedimiento para la elaboración de reportes en servicio del análisis de vibraciones

2.5.1. ¿Qué debe incluir un reporte de análisis de vibraciones?

Los reportes de análisis de vibraciones pueden clasificarse en dos: reporte preliminar y reporte final.

- El reporte preliminar

Consta de un informe rápido el cual debe ser entregado al cliente en un lapso de 8 días hábiles posterior al día cuando se realiza el análisis de vibraciones. El informe preliminar consta de:

- Listado de las máquinas analizadas con su valor máximo de vibración global (OBV) y unidad de condición de rodamientos (BCU) de ser necesario.
- Condición de la máquina según normas internacionales.
- Recomendación específica para cada máquina.

Tabla VIII. Ejemplo de reporte preliminar

Análisis de vibraciones				
Tabla de vibración				
Cliente: Analizador: Sensor:		Núm. Orden: Fecha: Analista:		
Motores eléctricos			Límite según norma:	
Equipo	OBV	BCU	Condición	Recomendación
Motor. 1			Bueno	
Motor. 2			Aceptable	
Motor. 3			Apenas aceptable	
Motor. 4			No aceptable	
Ventiladores y otros equipos			Límite según norma:	
Equipo	OBV	BCU	Condición	Recomendación
Ventilador 1			Bueno	
Ventilador 2			Aceptable	
Centrifuga 1			Apenas aceptable	
Generador 1			No aceptable	

Fuente: elaboración propia.

- El reporte final

Consta de un informe detallado del análisis realizado, el cual debe ser entregado al cliente en un lapso de 22 días hábiles posterior al día cuando se realiza el análisis de vibraciones. El informe formal consta de:

- Esquemas de las máquinas analizadas que indica los puntos de medición o toma de datos.

- Tabla donde se muestren los valores de vibración global (OBV) y condición de rodamientos para las mediciones en horizontal (BCU).
- Espectros de frecuencias, donde se aprecie el problema que está afecta a una máquina; de no existir un problema colocar un espectro de frecuencia del punto de medición donde se presentó la mayor vibración como constancia del estado de la máquina.
- Recomendaciones, según la condición de operación de la máquina.
- Tablas o normas que se utilizó para determinar el estado de la máquina.

2.6. Realización de análisis de vibraciones en campo

Con los conocimientos necesarios, ensayos en taller y siguiendo el instructivo para la toma de datos en servicio de análisis de vibraciones en motores eléctricos, ventiladores y equipos similares, se realizó el análisis de vibraciones en campo a distintas máquinas. A continuación, se denota un análisis de vibraciones realizado a un ventilador inducido de horno en Ingenio Tulula, Cuyotenango, Mazatenango.

Figura 20. **Ventilador inducido de horno**



Fuente: elaboración propia.

Luego de verificar que la máquina no presentara ningún riesgo para la realización de toma de datos de análisis de vibraciones y sabiendo tanto las características de funcionamiento y diseño (potencia 25HP, velocidad de giro 1800rpm, rodamientos tipo esfera), así como la finalidad del análisis de vibraciones (medición de rutina para detectar posibles fallas), se procedió a seleccionar los parámetros de medición en el equipo.

Uno de los pasos más importantes fue la determinación de la posición y dirección del transductor. Al saber que se debe iniciar de la parte impulsora a la parte impulsada y que cada punto debe portar tres lecturas, una en cada orientación (horizontal, vertical y axial), esto no resultó ser de gran dificultad. A continuación, se presentan los puntos de medición.

Figura 21. **Ventilador inducido de horno punto 1H**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Ventilador inducido de horno punto 1V**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Ventilador inducido de horno punto 2H**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Ventilador inducido de horno punto 2V**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Ventilador inducido de horno punto 2ª**



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Ventilador inducido de horno punto 3H**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Ventilador inducido de horno punto 3V**



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Ventilador inducido de horno punto 3ª**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Ventilador inducido de horno punto 4H**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Ventilador inducido de horno punto 4V**



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Ventilador inducido de horno punto 4^a**



Fuente: elaboración propia.

Los valores de vibración global máxima en mm/s para cada punto se denotan en la siguiente tabla.

Tabla IX. **Vibración global para ventilador inducido de horno antes**

Punto	1H	1V	2H	2V	2A	3H	3V	3 ^a	4H	4V	4A
Vibración en mm/s	1,1	1,2	2,1	2,0	0,9	4,1	3,5	2,8	7,1	6,3	4,4

Fuente: elaboración propia.

Se observa que el punto de vibración más alto fue el punto 4 H o 4 horizontal, lo que gracias a la estandarización en toma de datos fácilmente se sabe que este punto pertenece al ventilador lado libre y en dirección horizontal. También se observa que en todas las direcciones el punto 4 poseía un nivel alto de vibración para un motor de 25 hp según la norma ISO 10816-3, lo que dio indicios de algún tipo de problema localizado en el ventilador.

Se sospechó de desbalance del ventilador debido a la vibración dominante radialmente y localizada en el punto más cercano al ventilador. Se procedió a realizar un análisis espectral, el cual mostró un claro pico dominante a velocidad de giro del ventilador (característico del desbalance), lo que confirmó que el ventilador estaba desbalanceado. Se procedió a informarle al personal responsable sobre el problema y a solicitar autorización para corregirlo por medio de un balanceo dinámico en campo al ventilador.

Figura 32. **Aspas de ventilador inducido de horno**



Fuente: elaboración propia.

Luego de realizar el balanceo dinámico en campo se procedió a tomar nuevamente datos de vibración para cada punto para saber la condición final de la máquina; ya que, al momento de realizar alguna reparación o modificación en la máquina, la finalidad del análisis de vibraciones pasa de una medición de rutina para detectar una posible falla a una medición antes y después de una reparación.

Tabla X. **Vibración global para ventilador inducido de horno después**

Punto	1H	1V	2H	2V	2 ^a	3H	3V	3A	4H	4V	4A
Vibración	1,1	1,1	1,2	1,3	0,9	2,2	1,7	1,8	3,5	3,3	2,4

Fuente: elaboración propia.

Luego de observar que la vibración bajó notablemente hasta un nivel aceptable según la norma ISO 10816-3, se procedió a realizar y entregar el reporte preliminar para dar por concluido el trabajo de campo.

Posteriormente en las oficinas de Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., se realizó el reporte final, el cual fue enviado por correo electrónico en el periodo estipulado.

2.7. Ahorro energético

Ya que el desbalance en una máquina provoca un esfuerzo, este se relaciona con un consumo energético extra que presentarán los equipos al estar desbalanceados.

En la realización del análisis de vibraciones en campo se procedió a balancear el ventilador inducido del horno, pero este no presentó una mejora

notable en su consumo eléctrico; sin embargo, no se puede afirmar que no la haya tenido. Lo que sí se puede afirmar es que, aunque el consumo energético es proporcional a la magnitud del desbalance, este no influye de la misma manera en todos los casos ni se comporta linealmente ya que dependerá del tipo de máquina, de su estado, de su tipo de rodamientos y del tipo de transmisión, entre otros factores que pudieran influir.

Para este caso se supone que debido a la sobredimensión del motor eléctrico y a su sistema de transmisión por medio de fajas, el esfuerzo producido por el desbalance en el ventilador no afectaba directamente al motor eléctrico; por lo que este no demostró un consumo extra referente al desbalance del ventilador. Además del ahorro energético por el esfuerzo producido a causa del desbalance, hay que tomar en cuenta que el desbalance provoca un deterioro prematuro en los cojinetes y daños al resto de la máquina, por lo que al tener los equipos balanceados se alarga su vida y se minimizan los costos.

3. FASE DE DOCENCIA

Básicamente, la fase de docencia consiste en la presentación y la incorporación del instructivo para la realización del análisis de vibraciones enfocado a la toma de datos de vibraciones en motores eléctricos, ventiladores y equipos similares.

El instructivo se presentó a los analistas de vibraciones para su aceptación e incorporación. Se hizo una demostración de la implementación del instructivo en el prototipo; sin embargo, este instructivo fue creado para diferentes tipos de máquinas rotativas. Este fue aceptado de la mejor manera por los analistas, adoptándolo como respaldo para la realización de futuros análisis de vibraciones, futuros procedimientos e instructivos.

Figura 33. **Ensayos en Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.**



Fuente: elaboración propia.

3.1. Importancia del analista de vibraciones

En el transcurso del ejercicio profesional supervisado se constató la importancia de contar con instructivos para la estandarización en el servicio de análisis de vibraciones que Elliott Turbocharger Guatemala, S.A. ofrece; es de suma importancia tener un procedimiento en la realización de un trabajo, de esta manera, sin importar las condiciones o la persona, siempre se tendrán los mismos resultados.

Durante la estadía en Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., se adquirieron innumerables conocimientos acerca del análisis de vibraciones como un mantenimiento predictivo. Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., cuenta con grandes principios y valores que desde su raíz trabaja con el fin de aportar a la industria guatemalteca un apoyo incondicional con servicios de calidad.

Actualmente, cuenta con el procedimiento en toma de datos para el análisis de vibraciones en motores eléctricos, ventiladores y equipos similares, el cual se realizó como base del ejercicio profesional supervisado con el fin de proporcionar una herramienta útil para la estandarización del departamento de análisis de vibraciones de Elliott Turbocharguer Guatemala, S.A.

3.2. Importancia de mantener los historiales

Es de suma importancia mantener todos los historiales de los análisis de vibraciones que se realicen, reportes preliminares, reportes finales, valores de vibración y espectros de frecuencia, que sirven tanto como un soporte sobre los análisis que se han realizado como también para crear un registro de tendencia específico para cada máquina analizada, sabiendo previamente los parámetros de vibración, fallas características y puntos de medición.

3.3. Importancia del equipo de análisis de vibraciones

Mantener el equipo en óptimas condiciones es vital, ya que esta es la herramienta de trabajo al realizar un análisis de vibraciones; cada uno de sus equipos deben mantenerse en todo momento limpios, ordenados y completos con sus accesorios (colector, transductor, cables en buen estado, referencia).

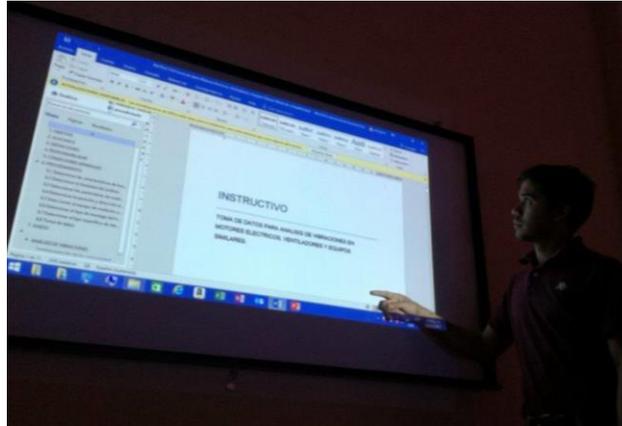
Todos los equipos deben mantenerse debidamente cargados y listos para ser usados en cualquier momento; es importante que los equipos tengan una calibración vigente para de esta manera constar que los datos obtenidos son correctos.

3.4. Presentación de mejoras y avances

En diciembre de 2014, se realizó una presentación en Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., sobre el proyecto del ejercicio profesional supervisado de Ariel Waldemar Giron Chew para otorgar el instructivo en conjunto con las plantillas y recomendaciones a Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., para que hagan uso de estos para su desarrollo.

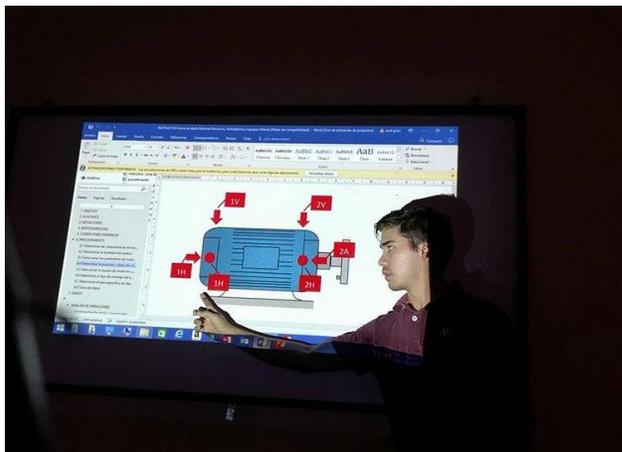
Durante la realización de este proyecto se notaron cambios favorables en el departamento de vibraciones, los principales cambios que se reflejaron fueron un mejor mantenimiento de los equipos de análisis de vibraciones y un mejor orden en cuanto a los servicios de análisis de vibraciones realizados a distintas empresas; para tener un mejor orden en cuanto a los servicios realizados, se optó por llevar un historial el cual debe ser actualizado semanalmente y presentado los días lunes a gerencia. Esta iniciativa fue felicitada por el mismo gerente general ing. Marcelo Arobba.

Figura 34. **Presentación de instructivo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Presentación de toma de datos de vibracones**



Fuente: elaboración propia.

3.5. Presupuesto

Para la ejecución del ejercicio profesional supervisado fue necesaria una inversión, la cual en gran parte fue otorgada por Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.; a continuación, se detallará en la siguiente tabla.

Tabla XI. **Presupuesto**

Descripción	Can	Comentario	Costo	Total
Combustible	6	Otorgado por Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.	Q 750,00	Q 4 500,00
Alimentación	6	Gasto personal	Q 440,00	Q 2 640,00
Equipo de protección personal	1	Otorgado por Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.	Q 2 000,00	Q 2 000,00
Equipo de análisis de vibraciones	1	Propiedad de Elliott Turbocharger Guatemala, S.A.	Q - -	Q - -
Papelería	1	Impresión de instructivo y proyecto final	Q 500	Q 500,00
			Total	Q 9 640,00

Fuente: elaboración propia.

3.6. Recursos humanos

Para la realización de este proyecto se contó con la colaboración de todo el personal de Elliott Turbocharger Guatemala, S.A., especialmente, con el apoyo del gerente general y el jefe de vibraciones. Se proporcionó equipo de análisis de vibraciones, equipo de seguridad, capacitación en análisis de vibraciones y constante participación en conjunto. También, la colaboración imprescindible del asesor e investigador:

- Gerente general: Ing. Marcelo Arobba
- Analista de vibraciones: Ferdy Burgos
- Asesor: *Ing. Carlos Anibal Chicojay*
- Epecista: Ariel Girón

CONCLUSIONES

1. Se creó un procedimiento claro para la toma de datos en el servicio de análisis de vibraciones en máquinas rotativas.
2. Durante la realización del ejercicio profesional supervisado se mejoraron, continuamente, los instructivos según las necesidades y los riesgos que surgieron al realizar el servicio de análisis de vibraciones.
3. Se creó una plantilla y el procedimiento para la elaboración de reportes en servicio de análisis de vibraciones.
4. Medir la vibración es la parte principal en los servicios de análisis de vibraciones, dado que, sin buenos datos, no se pueden esperar buenos resultados.

RECOMENDACIONES

1. Continuamente, se incentiva a los analistas de vibraciones a seguir con el procedimiento establecido y a crear procedimientos específicos según sea sus necesidades.
2. Ya que para realizar un análisis de vibraciones es necesario tener un contacto directo con la máquina para colocar el sensor de vibración, en caso que exista algún riesgo, se recomienda realizar un análisis a distancia como ultrasonido o termografía.
3. Corroborar que el equipo de vibraciones tome lecturas correctas, revisar su perfecto funcionamiento de transductor cables y equipo, así como su calibración vigente.
4. Es importante que los datos sean recopilados de la misma manera cada vez que se hace una nueva medición para establecer de una manera verídica una tendencia de vibración de una máquina a lo largo del tiempo.
5. Sin importar el trabajo, se recomienda utilizar siempre el equipo de protección personal en la industria; como profesionales es de suma importancia dar un ejemplo sobre el buen uso del equipo de protección personal y, sobre todo, con el objetivo de cuidar la salud.
6. Mantener firme y estable el transductor en el momento de la lectura. Este puede mentir de estar apoyado firmemente.

7. Asegurarse de colocar el transductor en los puntos indicados y en la posición correcta según lo anterior mencionado.

BIBLIOGRAFÍA

1. CASTILLO, Alberto de Jesús. *Demostración de prototipo en vibraciones mecánicas*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 79 p.
2. FIGUEROA FUENTES, Mynor Roderico. *Manual para el curso de montaje y mantenimiento de equipo*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010, 105 p.
3. GUEMISA. *Análisis de vibraciones e interpretación de datos*. [En línea]. <www.guemisa.com/articul/pdf/vibraciones.pdf>. [Consulta: 10 de junio de 2016].
4. MEJIA MORALES, Jorge Enrique. *Análisis de vibraciones en motores eléctricos asíncronos trifásicos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2009. 130 p.
5. VELASQUEZ AQUILAR, Luis Alberto. *Diagnóstico de problemas mediante análisis de vibraciones. Enfoque en bombas centrífugas del sistema de enfriamiento de motores de combustión interna de una planta de generación de energía eléctrica y ventiladores de tiros mecánicos de caldera acuotubulares en un ingenio*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 230 p.

