



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

**ANÁLISIS MEDIANTE EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS, DEL DESBALANCE
MECÁNICO EN EQUIPOS ACOPLADOS A MOTORES ELÉCTRICOS, EN LA
EMPRESA LABORATORIOS Y DROGUERÍA ROLAND LOUIS S. A.**

Luis Mario Molina Martínez

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, octubre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS MEDIANTE EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS, DEL DESBALANCE
MECÁNICO EN EQUIPOS ACOPLADOS A MOTORES ELÉCTRICOS, EN LA
EMPRESA LABORATORIOS Y DROGUERÍA ROLAND LOUIS S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS MARIO MOLINA MARTÍNEZ

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ANÁLISIS MEDIANTE EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS, DEL DESBALANCE
MECÁNICO EN EQUIPOS ACOPLADOS A MOTORES ELÉCTRICOS, EN LA
EMPRESA LABORATORIOS Y DROGUERÍA ROLAND LOUIS S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 11 de noviembre de 2013.


Luis Mario Molina Martínez



Guatemala, 03 de septiembre de 2014
REF.EPS.DOC.934.09.2014.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Luis Mario Molina Martínez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200815441, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **ANÁLISIS MEDIANTE EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS, DEL DESBALANCE MECÁNICO EN EQUIPOS ACOPLADOS A MOTORES ELÉCTRICOS, EN LA EMPRESA LABORATORIOS Y DROGUERÍA ROLAND LOUIS S.A..**

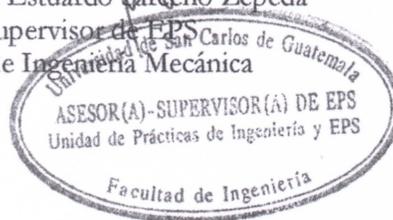
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sarteño Zepeda
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
EESZ/ra



Guatemala, 03 de septiembre de 2014
REF.EPS.D.4722.09.2014

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **ANÁLISIS MEDIANTE EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS, DEL DESBALANCE MECÁNICO EN EQUIPOS ACOPLADOS A MOTORES ELÉCTRICOS, EN LA EMPRESA LABORATORIOS Y DROGUERÍA ROLAND LOUIS S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Luis Mario Molina Martínez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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 Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.231.2014

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 Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS, del trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS MEDIANTE EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS, DEL DESBALANCE MECÁNICO EN EQUIPOS ACOPLADOS A MOTORES ELÉCTRICOS, EN LA EMPRESA LABORATORIOS Y DROGUERÍA ROLAND LOUIS S.A.**, del estudiante **Luis Mario Molina Martínez**, con número de carnet **200815441**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio César Campos Paiz

Director

Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre de 2014.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

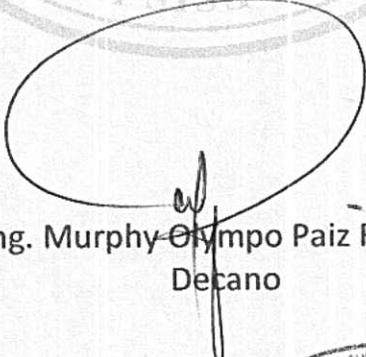


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 519.2014

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: **ANÁLISIS MEDIANTE EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS, DEL DESBALANCE MECÁNICO EN EQUIPOS ACOPLADOS A MOTORES ELÉCTRICOS, EN LA EMPRESA LABORATORIOS Y DROGUERÍA ROLAND LOUIS S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Luis Mario Molina Martínez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 30 de septiembre de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el Creador de todo el universo, y redentor de la humanidad, por darme la vida y ser motivación para mi existir.
- Mis padres** Por darme la vida, guiarme por los caminos de la vida y ser mi motivación para ser mejor persona.
- Mis hermanos** Por ser pacientes, y apoyarme en los tiempos difíciles y ser compañeros en mis alegrías.
- Mis amigos** Por ser el apoyo en todo momento, y como lo describo, mi familia por decisión.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la sabiduría para cumplir esta meta.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ayudar a cumplir mis metas de educación superior.
Facultad de Ingeniería	Por ser la Facultad que me vio crecer como persona, estudiante y profesional.
Lab. Roland Louis	Por darme la oportunidad de desenvolverme como profesional.
Elliott Turbocharger Guatemala	Por proporcionar apoyo en el conocimiento del área de análisis de vibraciones.

1.4.6.	Vibración compleja	16
1.4.7.	Análisis de frecuencia	17
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	19
2.1.	Definición de ahorro energético	19
2.2.	Consumo de energía de un motor eléctrico	19
2.2.1.	Mediciones de vibración y consumo eléctrico de motor eléctrico.....	21
2.2.2.	Desbalance mecánico y su efecto en el consumo eléctrico	22
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL	25
3.1.	Especificación de equipos instalados, con motor eléctrico acoplado dentro de las instalaciones de la empresa.....	25
3.1.1.	Equipos de planta de producción	26
3.1.2.	Equipos de servicios	32
3.1.2.1.	Caldera de vapor Fulton 30 CV	32
3.1.2.2.	Compresor de aire comprimido	34
3.1.2.3.	Sistema de aire acondicionado	34
3.2.	Evaluación de equipos que estarán bajo efectos del análisis de vibraciones	36
3.3.	Propuesta de monitoreo de vibraciones en equipos	36
3.3.1.	Aspectos prácticos en la medición de vibraciones ..	36
3.3.1.1.	Ubicación de puntos de prueba en los equipos	36
3.3.1.2.	Orientación del sensor de vibración	37
3.3.1.3.	Mediciones triaxiales	38
3.4.	Desbalance	45
3.4.1.	Gravedad del desbalance.....	45

3.4.2.	Fuentes del desbalance.....	47
4.	FASE DE DOCENCIA	49
4.1.	Capacitación sobre la importancia del análisis de vibraciones	49
4.2.	Capacitación del personal de mantenimiento sobre el desbalance y los efectos negativos a los equipos	49
4.3.	Conferencia con jefes y gerentes acerca del desbalance y el efecto en el consumo eléctrico	49
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	53
	BIBLIOGRAFÍA	55
	APÉNDICES	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Croquis de la empresa	2
2.	Organigrama del Departamento de Mantenimiento	6
3.	Resorte-masa.....	10
4.	Valor RPC	11
5.	Ecuaciones de desplazamiento, velocidad y aceleración.....	14
6.	Gráfico de desplazamiento, velocidad y aceleración.....	15
7.	Vibración compleja	16
8.	Espectro de frecuencia.....	17
9.	Desequilibrio de masa.....	22
10.	Motor mezclador multidireccional 100 L.....	27
11.	Caja mezclador multidireccional 100 L.....	28
12.	Placa de motor de secador lecho fluido	29
13.	Ventilador de lecho fluido	30
14.	Motor de tabletedora	31
15.	Caldera Fulton.....	33
16.	Ventilador de caldera	33
17.	Ventilador de manejadora de aire sistema 1	35
18.	Gráfico ubicación puntos de medición.....	37
19.	Gráfico orientación en un punto de medición	38
20.	Formato para mezclador	39
21.	Formato para secador lecho fluido	40
22.	Formato para ventilador de caldera	41
23.	Formato para ventilador AC1	42

24.	Formato para ventilador AC 2.....	43
25.	Formato para compresor	44
26.	Espectro de desbalance	48

TABLAS

I.	Valores Laboratorio y Droguería Roland Louis S. A.	5
II.	Consumo motores asíncronos trifásicos 4 polos 50/60 Hz	20
III.	Consumo para motores asíncronos trifásicos 50/60 hz	23
IV.	Especificaciones del equipo.....	26
V.	Especificaciones mezclador multidireccional de 100 litros.....	27
VI.	Especificaciones secador lecho fluido	29
VII.	Especificaciones tableteadora	31
VIII.	Especificaciones motor caldera Fulton	32
IX.	Especificaciones motor de compresor	34
X.	Especificaciones motor sistema de aire acondicionado.....	35
XI.	Valores de vibración para evaluación de maquinaria según la Norma ISO 10816-1	46
XII.	Tabla de capacitaciones	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Amp	Amperios
A	Axial
Hz	Hertzio
H	Horizontal
HP	Horse Power (Caballo de fuerza)
kW	Kilo watts
MAX	Máximo
mm/s	Milímetros sobre segundo
Q	Moneda quetzal guatemalteca
OBV	<i>Overall Bearing Vibration</i>
Pk	Pico
%	Porcentaje
RPM	Revoluciones por minuto
t	Tiempo
V	Vertical
V	Voltios
W	Watts (vatios)

GLOSARIO

Acople	Es el elemento en el cual se unen dos equipos.
Amplitud	En movimiento oscilatorio refiere a la distancia máxima desde el origen.
Caja reductora	Mecanismo constituido por una serie de engranajes con el fin de conservar una velocidad deseada.
Compresor	Máquina utilizada para generar aire comprimido.
Energía	Capacidad de un sistema para realizar un trabajo.
Espectro de frecuencia	Diagrama de amplitud de vibración <i>versus</i> la frecuencia.
Mezclador	Máquina que se utiliza para unificar en proporciones iguales dos o más materias primas.
Potencia eléctrica	Es la cantidad de energía entregada para realizar un trabajo.
Tableteadora	Equipo utilizado para la compresión de polvo, para obtener tabletas.

Unidad compresora	Parte esencial de un compresor, la que realiza el trabajo de compresión de aire.
Ventilador	Equipo utilizado para generar una corriente de aire.
Vibraciones	Propagación de ondas elásticas.

RESUMEN

El consumo energético es de importancia al momento de evaluar la producción de cualquier planta, debido a que este influye directamente en el costo del producto final, como también de manera indirecta puede influenciar en la calidad de este.

Todo equipo y maquinaria que se encuentra en operación puede desarrollar diferentes síntomas de avería, lo cual es importante detectar a tiempo, para evitar fallas mayores del mismo, y de igual manera tomar acciones preventivas como resultado de estos indicadores.

El incremento de la tecnología es evidente en los equipos que día a día se utiliza en los hogares y oficinas, paralelamente se han ido desarrollando equipos de monitoreo de condiciones, en este caso de vibraciones, y a la fecha se pueden encontrar equipos con un costo menor, acoplados a dispositivos móviles.

Estos avances han reforzado la aplicación de estas tecnologías para usos dentro de industrias, por lo que el análisis de vibraciones es de importancia el poder considerar para evaluar equipos en funcionamiento.

La detección temprana del desbalance por medio del uso de análisis de vibraciones, es de suma importancia, ya que su pronta detección ayuda a mejorar el consumo energético, como también en la prolongación de la vida de los equipos.

OBJETIVOS

General

Proponer un monitoreo de vibraciones para equipos de las instalaciones de Laboratorios y Droguería Roland Louis S. A., donde se pueda realizar una detección temprana de desbalance en los equipos.

Específicos

1. Enumerar los equipos de producción y servicios los cuales cuenten con un motor eléctrico acoplado y que sean críticos durante el proceso.
2. Desarrollar la ruta del análisis de vibraciones de los equipos de la planta y equipos de servicios, donde se incluya los puntos a medir y la dirección de cada uno de estos.
3. Diferenciar el desbalance de otros problemas mecánicos y eléctricos mediante la herramienta del espectro de frecuencia, con la ayuda de análisis de vibraciones.
4. Monitorear el desbalance y cuál es la influencia que tiene este problema en el consumo eléctrico de un motor.
5. Determinar el aumento de energía eléctrica al momento de operar un equipo desbalanceado y como se refleja en costos.

6. Capacitar al personal sobre la importancia del análisis de vibraciones para cualquier equipo rotativo.

INTRODUCCIÓN

En la industria guatemalteca los procedimientos para la detección temprana de problemas mecánicos en maquinaria rotativa son de poco conocimiento y poco uso, este proyecto estudiará los efectos del desbalance en motores eléctricos, esto con el fin de alargar el tiempo de vida y el tiempo entre mantenimientos de los equipos, mejorando también su consumo eléctrico, esto puede concluir con la mejora de la calidad en el ambiente laboral, además de poder tecnificar la mano de obra guatemalteca.

El estudio de las vibraciones mecánicas, como herramienta de trabajo en industria en el área de mantenimiento predictivo es poco utilizada dentro de la industria guatemalteca, siendo esta una herramienta que cuenta con una diversidad de aplicaciones para la detección de problemas mecánicos y eléctricos, los cuales son importantes en el momento de mantener los equipos en condiciones óptimas de trabajo.

El espectro de frecuencia como su nombre lo indica, es un gráfico de velocidad *versus* frecuencia u otras dimensionales de movimiento, donde al analizarlo se pueden diferenciar los distintos problemas mecánicos y eléctricos, en este caso se enfocará al desbalance mecánico.

El desbalance constituye la principal causa de avería de tipo mecánico en máquinas rotativas. Este fenómeno es debido a la distribución no uniforme de masas sometidas a rotación. Este método utilizado del análisis de vibraciones consiste en obtener una onda de vibración y mediante una transformada rápida

de Fourier, obtener el gráfico de velocidad versus frecuencia, donde se podrá determinar si es un desbalance u otro problema.

1. GENERALIDADES

Para poder mantener la eficiencia de la planta de producción del laboratorio, es necesario como punto específico el analizar con tecnología de análisis de vibraciones los equipos rotatorios.

1.1. Descripción de la empresa

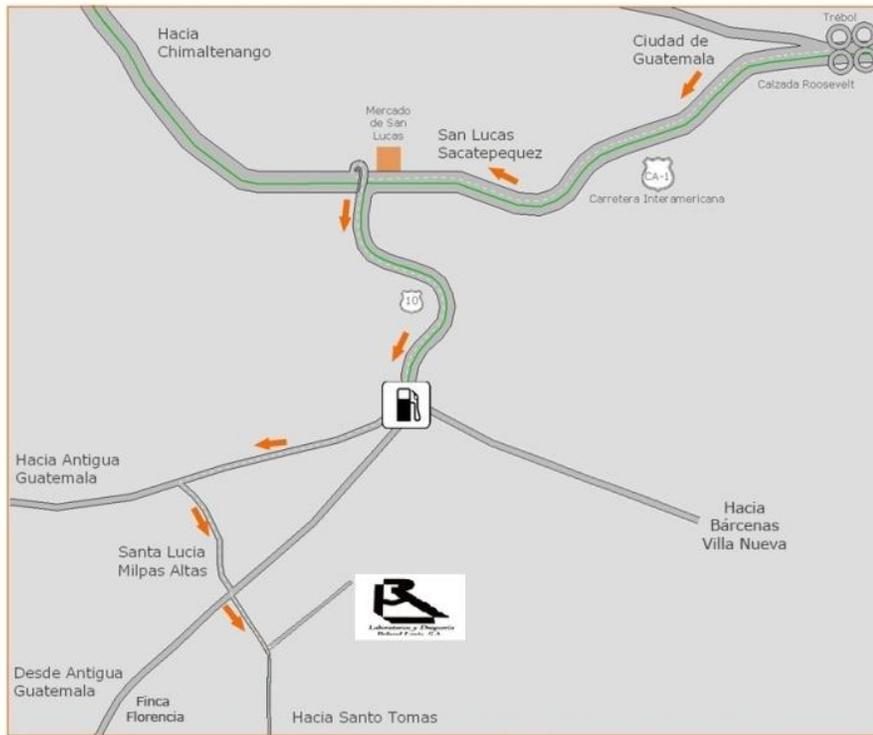
Según el criterio de la Cámara de Industria de Guatemala para empresas industriales, Laboratorios y Droguería Roland Louis S. A. está clasificada como una mediana empresa, ya que cuenta con grupo de trabajo de 51 a 100 empleados.

Laboratorios y Droguería Roland Louis S. A. se constituye bajo una sociedad anónima.

1.1.1. Ubicación

Su dirección es Av. Monte Casino lote No. "33 A" zona 3, Santo Tomás, Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez, Guatemala C. A.

Figura 1. Croquis de la empresa



Fuente: Recursos humanos Laboratorio y Droguería Roland Louis.

1.1.2. Historia

En 1993 surge en Guatemala la empresa individual Orellana Laboratorios, empresa situada en ciudad San Cristóbal y cuyos primeros productos en el mercado fueron el Pensoforte® y dos productos genéricos: prenatales y expectorante.

Gracias a la buena comercialización y receptividad del consumidor guatemalteco hacia los productos, la empresa fue creciendo hasta convertirse en Laboratorio y Droguería Orellana en 1996. Con el cambio de nombre

también hubo cambio de sede, trasladándose a la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

Ese mismo año salen al mercado dos nuevos productos que marcarían un antes y un después: Bronquiosolvan® y Antigrip®. Ambos productos penetran en el mercado excelentemente, creando una plataforma para el lanzamiento de más marcas y productos nuevos como el Neuroback®, Nistaback® y Ampoforte®.

La empresa crece considerablemente, llegando a un punto de renovación a fin de ser innovadores y presentar una imagen más fuerte y atractiva como empresa, por lo que el 3 de agosto de 1998 se consolida como Laboratorios y Droguería Roland Louis S. A., generando a la vez una renovación total de la imagen de sus productos.

Dicho cambio marcó una etapa para Roland Louis, propiciando un crecimiento bastante bueno para la empresa, logrando colocar a gran parte de sus productos dentro de las principales fuentes de distribución del país, pero sobretodo generando una demanda importante en el consumidor final.

Gracias a dicha demanda las bodegas se quedaron pequeñas, obligando a un traslado nuevamente. Esta vez Roland Louis se trasladó a la zona 2 de Mixco, colonia El Tesoro, en donde se crearon nuevas relaciones comerciales importantes, generando un volumen de venta mucho mayor y por tanto un nivel de producción de mayor magnitud, obligando a construir una propia fuente productiva.

Gracias a ello, Roland Louis inicia la construcción de sus instalaciones propias las cuales cuentan con oficinas administrativas, bodegas, planta de producción, edificio de mantenimiento, bodega de materia prima y laboratorio de control de calidad. Dicho complejo de edificios fue diseñado conforme a la normativa exigida por las respectivas autoridades de salud y ambientales y tienen capacidad para producir formas sólidas, semisólidas y líquidas.

Durante este proceso histórico, a la presente fecha, han transcurrido 17 años desde que inicio en el mercado como empresa individual con el nombre de Orellana Laboratorios, luego convertida en una Sociedad Anónima como Laboratorios y Droguería Roland Louis; iniciando con 3 productos y a la presente fecha son 131 diferentes productos maquilados siempre por otros laboratorios, lo cual llevó a construir la planta de producción por cuanto la demanda en el mercado ha sustentado.

1.1.3. Misión

“Somos un equipo innovador, con el compromiso de satisfacer las expectativas de nuestros clientes y consumidores, poniendo a su disposición productos farmacéuticos de alta calidad, confiables, eficaces y a un precio accesible.”¹

1.1.4. Visión

“Ser una de las empresas de la industria farmacéutica en Guatemala, con los estándares de calidad más altos, un sistema de mejora continua y precios

¹Recursos humanos Laboratorio y Droguería Roland Louis.

competitivos consolidando a la misma tanto en el ámbito nacional como en el centroamericano.”²

1.1.5. Valores

Los valores que fundamentan las tareas que se desarrollan dentro de la empresa, tanto administrativa como operativa son los siguientes:

Tabla I. **Valores Laboratorio y Droguería Roland Louis S. A.**

Integridad	Porque somos una empresa que vive en rectitud y que hacemos nuestro trabajo basados en la verdad, honestidad y ética.
Respeto	Porque todos merecemos ser tratados de la mejor manera posible, respetando nuestros valores e ideales.
Productividad	Porque todos nuestros procesos y transacciones las hacemos aprovechando al máximo todos nuestros recursos.
Fidelidad	Porque todos somos parte de la empresa y por lo tanto somos leales a ella.
Crecimiento	Porque con esfuerzo, dedicación y arduo trabajo podemos llegar a donde nos lo proponemos.

Fuente: Recursos Humanos Laboratorio y Droguería Roland Louis.

² Recursos humanos Laboratorio y Droguería Roland Louis.

1.2. Descripción del problema

Los análisis de vibraciones se han desarrollado y tecnificado de tal manera que personal calificado pueda realizar balanceos dinámicos, estos pudiendo ser en campo o en taller, según las necesidades del cliente o las posibilidades y condiciones de trabajo, los beneficios de un balance mecánicamente son la prolongación de la vida de un equipo, la influencia del consumo energético del desbalance es un factor importante a considerar, por lo que esta investigación proporcionará los datos para la evaluación de los beneficios de un balanceo sobre consumo de corriente eléctrica.

1.3. Definiciones básicas

- Corriente eléctrica: flujo de electrones o flujo de carga eléctrica, por unidad de tiempo, que recorre un material.
- Desbalance: diferencia de concentración de masa en un material.
- Motor eléctrico: es aquel motor que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, por medio de la repulsión que presenta un objeto metálico.
- Triaxial: refiere a los tres ejes de un plano cartesiano.

1.4. Introducción al fenómeno de vibración

Para dar inicio al estudio del fenómeno de vibración, a continuación se desarrollarán criterios y definiciones para su correcta interpretación, iniciando

con una definición de vibración, seguidos de otros conceptos aplicados en este campo.

1.4.1. ¿Qué es vibración?

En su manera más primitiva, una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. Esta posición en la cual el objeto se encuentra en equilibrio es a la que llegará cuando no se aplique alguna fuerza externa o fuerza igual a cero. Este tipo de vibración se llama vibración de cuerpo entero, que dicho de otra manera es que todas las partes del cuerpo se mueven juntas en la misma dirección en cualquier momento. (White, 2010)

Las vibraciones experimentadas por un cuerpo entero se pueden describir completamente como una combinación de movimientos individuales de 6 tipos diferentes. Esas son traslaciones en las tres direcciones ortogonales x, y, y z, y rotaciones alrededor de los ejes x, y, y z. Todo movimiento complejo que el cuerpo pueda presentar puede ser presentado en una combinación de esos seis movimientos anteriormente descritos. Por lo que se dice que un cuerpo posee seis grados de libertad. (White, 2010)

La vibración de cualquier cuerpo es causada por alguna fuerza de excitación. Esta fuerza se puede aplicar externamente al objeto o puede tener su origen en el interior del objeto. (White, 2010)

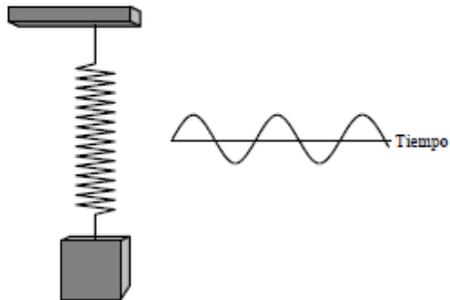
Es por ese motivo que el análisis de vibración puede determinar las fuerzas de excitación que afectan una máquina. Esas fuerzas dependen del estado de la máquina, y el conocimiento de sus características de operación y las interacciones permiten diagnosticar averías en la máquina. (White, 2010)

1.4.2. Movimiento armónico simple

Hay que ejemplificar el movimiento más sencillo, este se da en una sola dirección de una masa controlada por un resorte. Este sistema mecánico se llama sistema resorte-masa, con un grado único de libertad, ya que el movimiento solo se produce en una sola dirección. Si se desplaza la masa, hasta una cierta distancia del punto de origen o de equilibrio, y después se suelta, el resorte intentará regresar al equilibrio. Para entonces, la masa tendrá energía cinética, debido al movimiento y rebasará la posición de descanso y comprimirá el resorte en la dirección opuesta. (White, 2010)

Luego de este fenómeno perderá velocidad hasta pararse en el otro extremo de su desplazamiento donde el resorte volverá a empezar el regreso hacia su punto de equilibrio. El mismo proceso se volverá a repetir con la energía transfiriéndose entre la masa y el resorte, desde energía cinética en la masa hasta energía potencial en el resorte, y regresando, considerando que no hay pérdidas de energía como fricción del aire y calentamiento por fatiga del resorte. La ilustración siguiente enseña una gráfica de la masa contra el tiempo: (White, 2010)

Figura 3. **Resorte-masa**



Fuente: WHITE, G. *Introducción al análisis de vibraciones*. p. 17.

Si no existieran pérdidas de energía, la oscilación continuaría en la misma proporción y en la misma amplitud para siempre. Este movimiento armónico simple, no es posible en la realidad. (White, 2010)

Cualquier sistema real tiene pérdidas y eso hace que la amplitud de la vibración disminuya gradualmente ya que la energía se convierte en calor en el resorte y los alrededores de la masa. (White, 2010)

Las definiciones siguientes son aplicables e importantes para la comprensión del movimiento armónico simple:

T = el período de la onda

El período: es el tiempo necesario para completar un ciclo, o para un viaje ida y retorno. El período se mide en unidad de tiempo generalmente en segundos o milisegundos dependiendo de qué tan rápido se cambie la onda.

F = la frecuencia de la onda = $1/T$, es el inverso del período.

1.4.3. Medición de amplitud de vibración

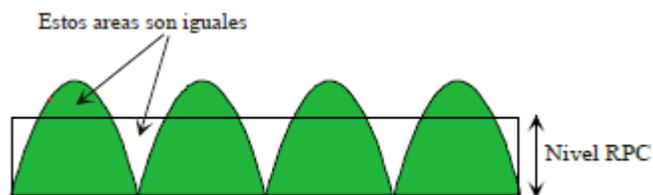
Las definiciones siguientes son de aplicación a la medición de la amplitud de las vibraciones mecánicas.

Amplitud Pico (Pk) es la distancia máxima de una onda medida desde el punto cero o del punto de equilibrio. (White, 2010)

Amplitud Pico a Pico (Pk-Pk) es la distancia desde una cresta negativa hasta una cresta positiva. Para el caso particular de una onda senoidal, el valor pico a pico es exactamente dos veces el valor pico, ya que la forma de la onda es simétrica y cíclica. Pero eso no es necesariamente el caso con todas las formas de ondas de vibración. (White, 2010)

Amplitud Raíz del Promedio de los Cuadrados (RPC) es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores de la onda. En el caso de una onda senoidal, este valor o el valor RPC es igual a 0,707 del valor pico. El valor RPC es proporcional al área abajo de la curva. Si se rectifica a los picos negativos, eso quiere decir si se les hace positivo, y el área abajo de la curva resultante está promediado hasta un nivel medio este nivel es proporcional al valor RPC. (White, 2010)

Figura 4. Valor RPC



Fuente: WHITE, G. *Introducción al análisis de vibraciones*. p. 20.

1.4.4. Concepto de fase

Fase es una medida de la diferencia de tiempo entre dos ondas senoidales. Aunque la fase es una diferencia verdadera de tiempo, siempre se mide en términos de ángulo, en grados o radianes. Eso es una normalización del tiempo que requiere un ciclo de la onda sin considerar su verdadero período de tiempo.

La diferencia en fase entre dos formas de onda se llama a veces el desplazamiento de fase. Un desplazamiento de fase de 360 grados es un retraso de un ciclo o de un período de la onda, lo que realmente no es ningún desplazamiento. Un desplazamiento de 90 grados es un desplazamiento de 1/4 del período.

El desplazamiento de fase puede ser considerado positivo o negativo; eso quiere decir que una forma de onda puede ser retrasada relativa a otra o una forma de onda puede ser avanzada relativa a otra. Esos fenómenos se llaman atraso de fase y avance de fase respectivamente.

1.4.5. Unidades de vibración

El desplazamiento es la distancia desde una posición inicial, o punto de equilibrio, hasta otro lugar o punto de interés. Un objeto vibrando tendrá una velocidad variable, y por lo tanto al no tener una velocidad constante existe una aceleración variable. La velocidad se define como la proporción de cambio en el desplazamiento. Aceleración se define como la proporción de cambio en la velocidad. (White, 2010)

Las unidades del sistema inglés para la medición de vibraciones utilizadas comúnmente son el desplazamiento el cual se utiliza como unidad de medición los mils, la velocidad como unidad de medida las pulgadas por segundo, o los milímetros por segundo y la aceleración con unidad de medida G que es la gravedad de la superficie terrestre.

Dependiendo de la aplicación del equipo o los parámetros de operación se elige la unidad de medida a utilizar.

1.4.5.1. Desplazamiento, velocidad y aceleración

En un estudio del 2010 White definió:

Toda onda de vibración puede ser captada y luego grabar esta señal de vibración como desplazamiento contra frecuencia, se puede graficar como velocidad contra frecuencia por el procedimiento de diferenciación. (White, 2010)

La diferenciación es un proceso matemático el cual involucra una multiplicación por la frecuencia, y eso quiere decir que la velocidad de la vibración a cualquier frecuencia es proporcional al desplazamiento multiplicado por la frecuencia. (White, 2010)

Para obtener aceleración desde velocidad, se requiere otra diferenciación, y eso resulta en otra multiplicación por la frecuencia. (White, 2010)

Se puede ver que esas consideraciones con los mismos datos de vibración representados como gráficas de desplazamiento, velocidad y aceleración tendrán apariencias diferentes. La curva de desplazamiento evidenciará las frecuencias más bajas, y la curva de aceleración pondrá los valores más altos en las frecuencias más altas, sacrificando las frecuencias más bajas. Los niveles relativos de desplazamiento, velocidad y aceleración contra frecuencia en unidades estándares inglesas se observan en las ecuaciones siguientes: (White, 2010)

Figura 5. **Ecuaciones de desplazamiento, velocidad y aceleración**

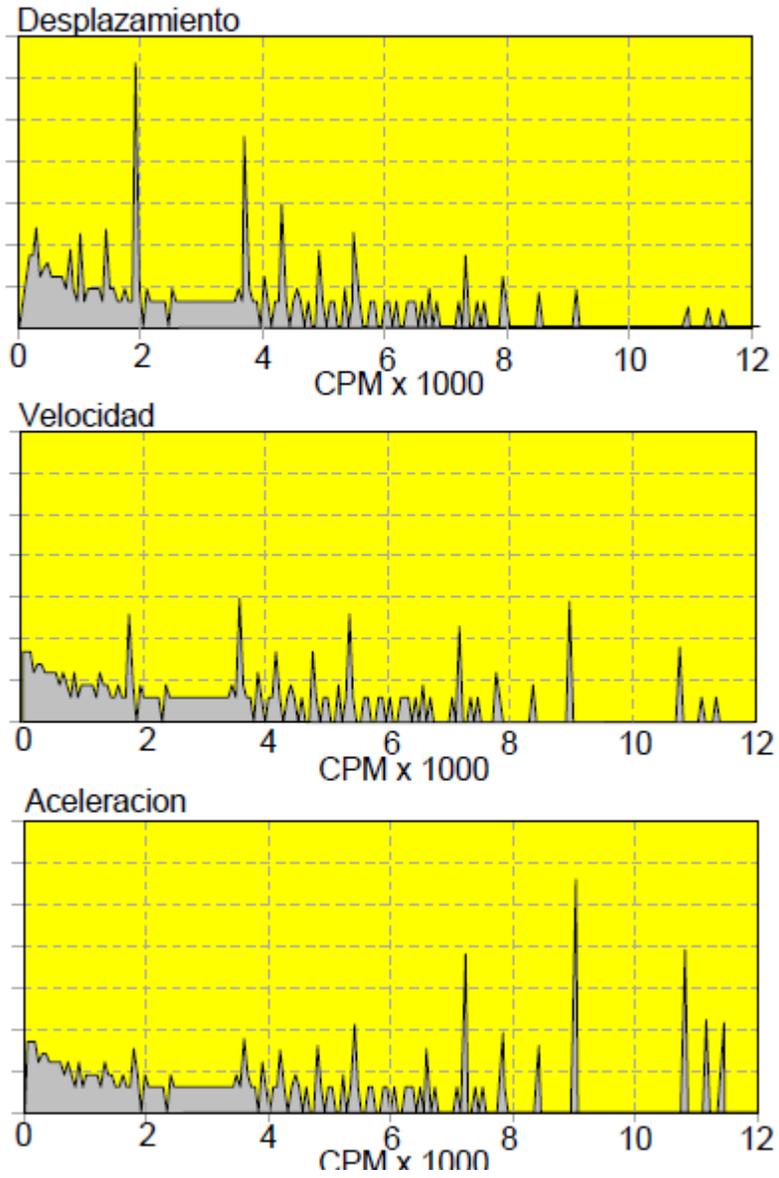
$$V = \frac{86.75A}{f}, \quad A = 0.01146Vf$$

$$D = \frac{318.5V}{f}, \quad V = 0.00314fD$$

$$D = \frac{27,668A}{F^2}, \quad A = 0.0000361Df$$

Fuente: WHITE, G. *Introducción al análisis de vibraciones*. p. 24.

Figura 6. Gráfico de desplazamiento, velocidad y aceleración

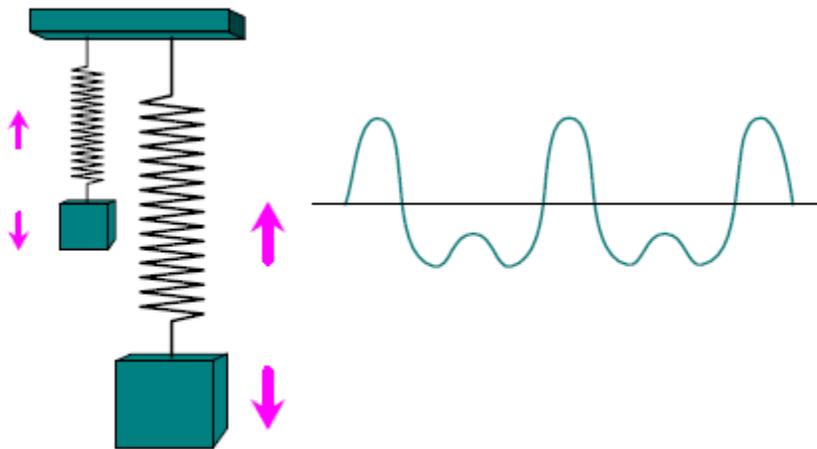


Fuente: WHITE, G. *Introducción al análisis de vibraciones*. p. 25.

1.4.6. Vibración compleja

La vibración es el movimiento que resulta de una fuerza interna o externa oscilatoria aplicada en un sistema mecánico lineal. La frecuencia de la vibración será la misma que la frecuencia forzada. Como en la mayoría de sistemas hay varias frecuencias forzadas, que ocurren al mismo tiempo, entonces la vibración resultante será una suma de las vibraciones a cada frecuencia. Como resultado de las condiciones anteriores la forma de la onda resultante no será senoidal y puede ser muy compleja. (White, 2010)

Figura 7. **Vibración compleja**



Fuente: WHITE, G. *Introducción al análisis de vibraciones*. p. 26.

En la figura anterior, la vibración de alta frecuencia y la de baja se suman para formar una onda compleja. La mayoría de las señales de vibración son mucho más complejas que la figura anterior donde intervienen un número de fuerzas mucho mayor, y puede ser muy difícil para interpretar a simple vista, debido a la complejidad de esta. (White, 2010)

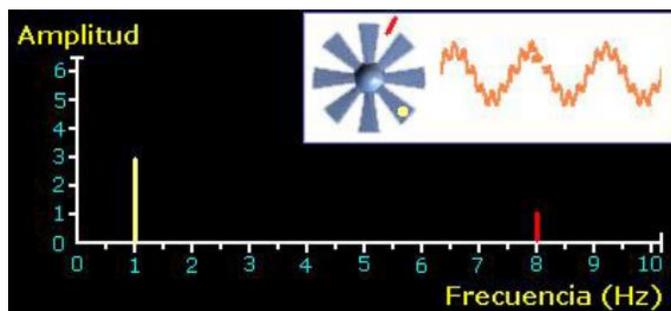
1.4.7. Análisis de frecuencia

La importancia del estudio de frecuencia es inherente al análisis de vibraciones, ya que este análisis ayudará a determinar los posibles problemas del equipo en base a las condiciones de operación.

También conocido como análisis de espectro de la señal de vibración. La gráfica en el dominio del tiempo se llama la forma de onda, y la gráfica en el dominio de la frecuencia se llama el espectro. El análisis del espectro es equivalente al transformar la información de la señal del dominio de tiempo en el dominio de la frecuencia, para estos métodos se utilizan transformadas de Furrier. (White, 2010)

Desde un punto de vista teórico y práctico es posible dividir todas las señales del dominio del tiempo en varios grupos. Estas señales pueden producir diferentes tipos de espectros. (White, 2010)

Figura 8. Espectro de frecuencia



Fuente: *diseño y construcción de un banco didáctico para la medición de vibraciones mecánicas en los laboratorios de instrumentación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.*

Cuenca. p. 67.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Definición de ahorro energético

La definición de ahorro energético se considera como una práctica empleada durante el consumo de energía que tiene como objeto reducir el consumo de esta, obteniendo los mismos resultados. Los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía pueden reducir el consumo energético para disminuir costos. Los usuarios industriales y comerciales pueden desear aumentar eficacia y maximizar así su beneficio. Entre las preocupaciones actuales está el ahorro de energía y el efecto medioambiental de la generación de energía eléctrica. También se denomina ahorro de energía.

2.2. Consumo de energía de un motor eléctrico

El motor eléctrico es el dispositivo más empleado para aplicaciones motrices, siendo versátil en tamaño, velocidad y otros parámetros de interés al momento de una selección adecuada de este.

Para el consumo energético del motor existen tablas de los diferentes fabricantes, o empresas que se dedican a instalación de motores eléctricos, a continuación se presenta la tabla de consumo energético de motores trifásicos, los de mayor aplicación industrial.

Tabla II. Consumo motores asíncronos trifásicos 4 polos 50/60 Hz

TABLA CONSUMO MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS 4 POLOS 50/60HZ								
POTENCIA		220V	380V	415V	440V	500V	660V	1000V
KW	CV	A	A	A	A	A	A	A
0.37	0.5	1.8	1.03	-	0.99	1	0.6	0.4
0.55	0.75	2.75	1.6	-	1.36	1.21	0.9	0.6
0.75	1	3.5	2	2	1.68	1.5	1.1	0.75
1.1	1.5	4.4	2.6	2.5	2.37	2	1.5	1
1.5	2	6.1	3.5	3.5	3.06	2.6	2	1.3
2.2	3	8.7	5	5	4.42	3.9	2.8	1.9
3	4	11.5	6.6	6.5	5.77	5	3.8	2.5
3.7	5	13.5	7.7	7.5	7.1	5.9	4.4	3
4	5.5	14.5	8.5	8.4	7.9	6.5	4.9	3.3
5.5	7.5	20	11.5	11	10.4	9	6.6	4.5
7.5	10	27	15.5	14	13.7	12	6.9	6
9	12	32	18.5	17	16.9	13.9	10.6	7
10	13.5	35	20	-	-	15	11.5	7.5
11	15	39	22	21	20.1	17	14	9
15	20	52	30	28	26.5	22	17.3	12
18.5	25	64	37	35	32.8	27	21.9	14.5
22	30	75	44	40	39	32	25.4	17
30	40	103	60	55	51.5	41	54.6	23
37	50	126	72	66	64	52	42	28
40	54	134	79	71	67	60	44	30
45	60	150	85	80	76	62	49	33
55	75	182	105	100	90	77	61	40
59	80	195	112	105	97	85	66	43
75	100	240	138	135	125	99	82	53
90	125	295	170	165	146	125	98	65
110	150	356	205	200	178	144	118	78
132	180	425	245	240	215	187	140	90
147	200	472	273	260	236	192	152	100
160	220	520	300	280	256	220	170	115
185	250	595	342	325	295	240	200	138
200	270	626	370	340	321	281	215	150
220	300	700	408	385	353	288	235	160
250	350	800	460	425	401	336	274	200
280	380	900	510	475	450	400	305	220
315	430	990	584	535	505	445	337	239
335	450	1100	620	550	518	472	355	250
355	480	1150	635	580	549	500	370	262
375	500	1180	670	610	575	527	395	273
400	545	1250	710	650	611	540	410	288
450	610	1410	800	740	690	608	460	320
475	645	1490	850	780	730	645	485	335
500	680	1570	900	820	780	680	515	350

[1 KW = 1,3605 CV] [1 CV = 0,736 KW]

Fuente: www.indeleco.com/archivos/consumo_motores_trifasicos.pdf. [Consulta: mayo de 2014.]

2.2.1. Mediciones de vibración y consumo eléctrico de motor eléctrico

La medición de vibraciones se realizará bajo los parámetros establecidos según la Norma ISO 10816-3, donde refiere a máquinas industriales con una potencia nominal mayor a 15 kW y una velocidad nominal entre los 120 rpm a los 15 000 rpm medido en sitio.

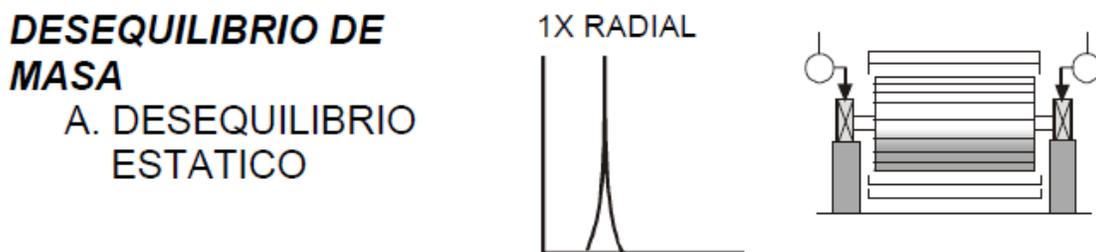
Al momento de obtener un espectro de frecuencia, existen herramientas útiles, las cuales pueden ser de ayuda para la detección de problemas al hacer el análisis de vibraciones, tal es el caso de la tabla de Charlott, tal como su nombre lo indica, en una tabla donde enumera diferentes problemas mecánicos, y cómo se comporta las vibraciones específicas de cada uno de estos problemas.

Hay que considerar que en la industria el análisis de un espectro puede reflejar más de un problema a la vez, ya que una máquina puede trabajar desalineada y desbalanceada, esta tabla es de apoyo en el campo al momento de hacer análisis de vibraciones.

El Desequilibrio Estático, (desbalance) estará en fase y fijo. La amplitud debido al desequilibrio se elevaría cuando la velocidad de giro debajo de la primer frecuencia critica del rotor (un incremento de velocidad de 3X = vibración más alta en 9X). 1X RPM siempre está presente y por lo general domina al espectro. Se puede corregir al colocar únicamente un peso de corrección de equilibrio en un plano en el centro de gravedad (CG) del rotor.

Debe existir una diferencia de fase de 0° aproximadamente entre los horizontales OB e IB, así como entre los verticales OB e IB. Además por lo general existe una diferencia de 90° aproximadamente entre las lecturas horizontales y verticales en cada apoyo de rotor desequilibrado.

Figura 9. **Desequilibrio de masa**



Fuente: WHITE, G. *Introducción al análisis de vibraciones*. p. 105.

2.2.2. **Desbalance mecánico y su efecto en el consumo eléctrico**

Al momento de observar el espectro de frecuencia nos damos cuenta, de cómo el mayor pico de vibración se genera en la frecuencia de operación del motor, por lo que esto atribuye un desbalance.

Según una demostración realizada por *Rotating Equipment Specialist, LLC*. El incremento en el desbalance es de aproximadamente de un 10 % en el consumo de potencia del motor.

A continuación la tabla con base en los datos de motores, hace una comparativa de potencia consumida por un motor desbalanceado, y cuál sería su efecto en el consumo si este operara de esta manera.

Tabla III. **Consumo para motores asíncronos trifásicos 50/60 hz**

Tabla de consumo para motores asíncronos trifásicos 50/60 hz					
Voltaje	Potencia de Motor en CV	Consumo en KW	Precio por hora trabajada	Consumo en KW, más 10 %	Precio por hora trabajada (Q)
220 V	0,5	0,37	1,19	0,407	1,31
220 V	1	0,75	2,41	0,825	2,65
220 V	2	1,5	4,82	1,65	5,30
220 V	5	3,7	11,88	4,07	13,06
220 V	10	7,5	24,08	8,25	26,48
220 V	20	15	48,15	16,5	52,97
220 V	50	37	118,77	40,7	130,65

Fuente: elaboración propia.

3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

En esta fase se desarrolla la aplicación del proyecto del EPS, a los equipos de planta de producción y servicios de Laboratorios y Droguería Roland Louis S. A.

3.1. Especificación de equipos instalados, con motor eléctrico acoplado dentro de las instalaciones de la empresa

Los equipos acoplados a motores eléctricos, pueden tener diversidad de aplicaciones, tal como ventiladores, bombas hidráulicas, compresor de aire, movimiento de algún elemento, y cada uno de estos representa un costo, tanto en su funcionamiento, como también en sus respectivos mantenimientos.

La especificación que se realizará seguidamente, será con el fin de obtener los datos técnicos del motor, el cual esté acoplado directamente al equipo, a continuación se presenta la tabla:

Tabla IV. **Especificaciones del equipo**

Nombre del equipo:	Equipo seleccionado
Voltaje	Nominal
Amperaje	Nominal
Potencia en HP	Nominal
Potencia en Watts	Nominal
RPM	Nominal
Elemento acoplado	Equipo después del acople

Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Equipos de planta de producción

Tal como su nombre lo indica, estos equipos son los que tienen contacto directo con la materia prima, encargados de transformar desde su fase inicial de materias primas hasta productos terminados, en este caso particular medicamentos.

- Mezclador multidireccional de 100 litros: este mezclador se utiliza tal como su nombre lo indica, para mezclar las materias primas que se colocan dentro de este, su especificación es:

Tabla V. **Especificaciones mezclador multidireccional de 100 litros**

Nombre del equipo:	Mezclador 100 litros
Voltaje	240 voltios trifásicos
Amperaje	6,32 amperios
Potencia en HP	2
Potencia en Watts	1,500 W
RPM	1668
Elemento acoplado	Caja reductora

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Motor mezclador multidireccional 100 L**



Fuente: Laboratorios Roland Louis.

Figura 11. **Caja mezclador multidireccional 100 L**



Fuente: Laboratorios Roland Louis.

Secador lecho fluido: dentro del proceso de la fabricación de sólidos, parte del proceso es llevar la materia a un estado con una humedad específica, este equipo se encarga de forzar aire a través de la materia para lograr esto, su especificación es:

Tabla VI. **Especificaciones secador lecho fluido**

Nombre del equipo:	Secador Lecho Fluido
Voltaje	240 voltios trifásicos
Amperaje	36,8 amperios
Potencia en HP	15 horsepower
Potencia en Watts	11 200 watts
RPM	3530
Elemento acoplado	Ventilador

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Placa de motor de secador lecho fluido**



Fuente: Laboratorios Roland Louis.

Figura 13. **Ventilador de lecho fluido**



Fuente: Laboratorios Roland Louis.

Tableteadora, 17 estaciones: este equipo es utilizado para la compactación de la materia prima, y entrega el producto en forma de tabletas, las cuales pueden ser circulares u oblongas, su funcionamiento consiste en rotar elementos que estos a su vez son llenados con la materia y en una estación siguiente compactarla para luego finalizar el proceso evacuando las tabletas, su especificación es:

Tabla VII. **Especificaciones tableteadora**

Nombre del equipo:	Tableteadora
Voltaje	240 voltios trifásicos
Amperaje	5,6 Amperios
Potencia en HP	3 horsepower
Potencia en Watts	2 200 watts
RPM	940
Elemento acoplado	Eje de rotación

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Motor de tableteadora**



Fuente: Laboratorios Roland Louis.

3.1.2. Equipos de servicios

Tal como su nombre lo indica, estos equipos son los que con su funcionamiento, brindan los servicios complementarios, para la fabricación de medicamentos, tal como vapor, aire comprimido, y aire acondicionado.

3.1.2.1. Caldera de vapor Fulton 30 CV

Este equipo brinda el vapor a los diferentes equipos que utilizan el vapor para la transformación o preparación de la materia, su especificación es:

Tabla VIII. **Especificaciones motor caldera Fulton**

Nombre del equipo:	Ventilador Caldera Fulton
Voltaje	120 voltios
Amperaje	10,7 amperios
Potencia en HP	1,7 horsepower
Potencia en Watts	1 300 watts
RPM	1 800
Elemento acoplado	Ventilador

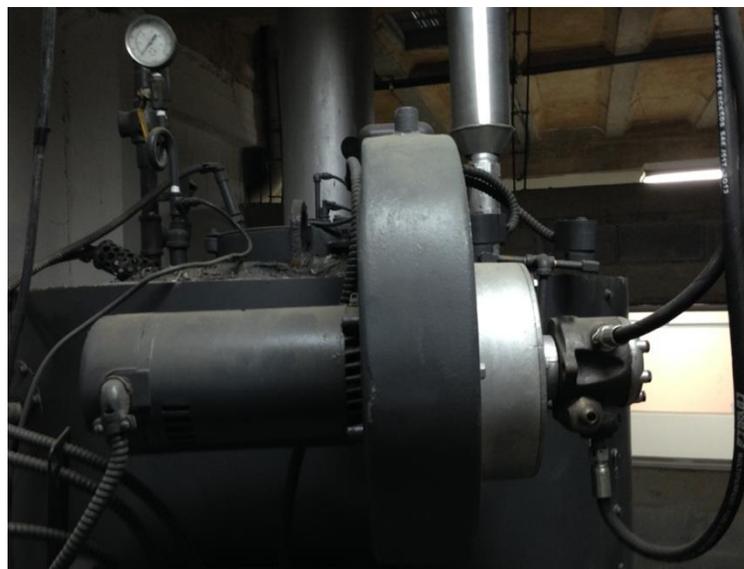
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Caldera Fulton**



Fuente: Laboratorios Roland Louis.

Figura 16. **Ventilador de caldera**



Fuente: Laboratorios Roland Louis.

3.1.2.2. Compresor de aire comprimido

Este equipo es el encargado de generar el aire comprimido para el uso dentro de la planta de producción, con el fin de poder realizar movimiento, secado, o formación de algún molde a utilizar.

Tabla IX. **Especificaciones motor de compresor**

Nombre del equipo:	Compresor
Voltaje	240 voltios trifásicos
Amperaje	69 amp
Potencia en HP	25 horsepower
Potencia en Watts	16 500 W
RPM	2 950
Elemento acoplado	Unidad compresora

Fuente: elaboración propia.

3.1.2.3. Sistema de aire acondicionado

Este equipo es el encargado de ventilar las áreas dentro de las instalaciones de la planta de producción para generar, las presiones necesarias, y así evitar contaminación cruzada en la fabricación de medicamentos:

Tabla X. **Especificaciones motor sistema de aire acondicionado**

Nombre del equipo:	Manejadora de aire
Voltaje	240 voltios trifásicos
Amperaje	19,8 Amp
Potencia en HP	7,5 horsepower
Potencia en Watts	5 525 watts
RPM	1730
Elemento acoplado	Ventilador

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Ventilador de manejadora de aire sistema 1**



Fuente: Laboratorios Roland Louis.

3.2. Evaluación de equipos que estarán bajo efectos del análisis de vibraciones

Después de enumerar los equipos, con base en los criterios de consumo energético, importancia dentro del proceso, disponibilidad de repuestos, se eligen los equipos que estarán bajo efecto de análisis de vibraciones.

3.3. Propuesta de monitoreo de vibraciones en equipos

Para la propuesta se evalúan distintos criterios, tomando en cuenta los aspectos prácticos, para optimizar el tiempo de la ruta de análisis de vibraciones.

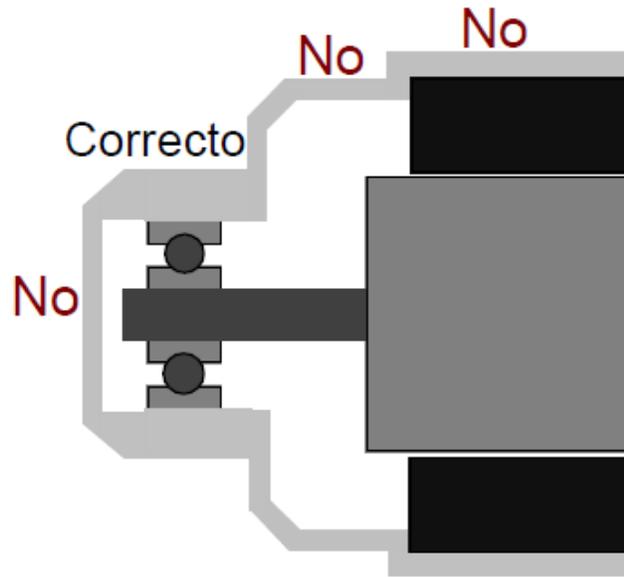
3.3.1. Aspectos prácticos en la medición de vibraciones

Estos aspectos prácticos que se desarrollarán a continuación, son los principales para evitar errores y malinterpretaciones en un análisis de vibraciones.

3.3.1.1. Ubicación de puntos de prueba en los equipos

En general al realizar un análisis de vibraciones, la finalidad es colocar el transductor lo más cerca del elemento rodante o del elemento en interés, utilizando metal sólido de promedio, esto con el fin de evitar pérdidas de energía. Si se coloca el transductor sobre algún rótulo o pieza externa que tenga contacto indirecto con el rodamiento, puede reflejar una señal incorrecta, amplificando la medición. (White, 2010)

Figura 18. **Gráfico ubicación puntos de medición**



Fuente: WHITE, G. *Introducción al análisis de vibraciones*. p. 72.

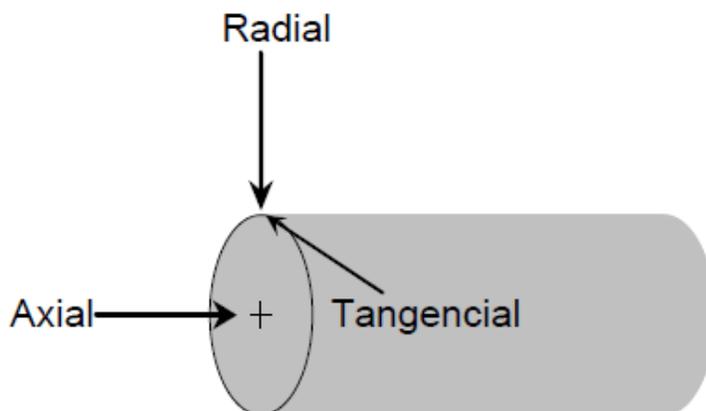
3.3.1.2. **Orientación del sensor de vibración**

En las diferentes rutas de monitoreo de análisis de vibraciones en máquinas, se busca obtener una repetitividad y trazabilidad de los datos, por lo que la orientación del sensor sea lo más próxima al punto anterior, de manera de lograr detectar los diferentes problemas que puedan surgir, además de recomendar que cada rodamiento debe contar con un punto específico para su medición. Y obtener un envolvente para determinar frecuencias de falla de este.

3.3.1.3. Mediciones triaxiales

Para ayudar en la determinación del problema de máquinas es muy útil obtener datos de vibración de cada punto de medición en tres direcciones. Esas direcciones se llaman axiales, radiales y tangenciales. Axial es paralela a la flecha, radial es la dirección desde el transductor hacia el centro de la flecha (vertical), y tangencial es 90 grados de radial (horizontal). (White, 2010)

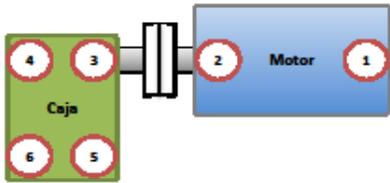
Figura 19. **Gráfico orientación en un punto de medición**



Fuente: WHITE, G. *Introducción al análisis de vibraciones*. p. 73.

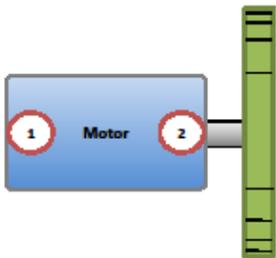
A continuación se presenta el formato para el análisis de vibraciones, formato utilizado por la empresa que provee este servicio, ya que actualmente no se cuenta con equipo para análisis de vibraciones dentro de la empresa.

Figura 20. Formato para mezclador

Página 1 de 1																																	
FIELD REPORT	 ELLIOTT TURBOCHARGER CORPORATION SCHENCK																																
Vibration Analysis																																	
Customer: Laboratorio Riland Louis, S.A. Made by:	Job Number: _____ From (date): _____ Unit: Produccion Until (date): _____																																
Descripción: Mezclador Potencia: 1.5 KW	Velocidad: 1668 RPM nominal																																
Analizador: Vibrotest 60 Sensor: Acelerómetro AS065 Unidad de medición: mm/s (rms)	Fabricante: SCHENCK Fabricante: SCHENCK High pass: 10 Hz Low pass: 1000 Hz																																
PUNTOS DE MEDICIÓN	VISTA SUPERIOR																																
																																	
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Puntos</th> <th>Motor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">1</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>H</td> </tr> <tr> <td>A</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>H</td> </tr> <tr> <td>A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">OBV MAX 0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos	Motor	1	V	H	A	2	V	H	A	OBV MAX 0.00		<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Puntos</th> <th>Caja</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">3</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>H</td> </tr> <tr> <td>A</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">4</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>H</td> </tr> <tr> <td>A</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">5</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>H</td> </tr> <tr> <td>A</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">6</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>H</td> </tr> <tr> <td>A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">OBV MAX 0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos	Caja	3	V	H	A	4	V	H	A	5	V	H	A	6	V	H	A	OBV MAX 0.00	
Puntos	Motor																																
1	V																																
	H																																
	A																																
2	V																																
	H																																
	A																																
OBV MAX 0.00																																	
Puntos	Caja																																
3	V																																
	H																																
	A																																
4	V																																
	H																																
	A																																
5	V																																
	H																																
	A																																
6	V																																
	H																																
	A																																
OBV MAX 0.00																																	
Notas:																																	

Fuente: Elliott Turbocharger Guatemala.

Figura 21. Formato para secador lecho fluido

FIELD REPORT		Página 1 de 1																				
Vibration Analysis																						
Customer: Laboratorio Riland Louis, S.A.	Job Number:	Unit: Production																				
Made by:	From (date):	Until (date):																				
Descripción: Secador Lecho Fluido	Velocidad: 3530 RPM nominal																					
Potencia: 15 HP																						
Analizador: Vibrotest 60	Fabricante: SCHENCK																					
Sensor: Acelerómetro AS065	Fabricante: SCHENCK																					
Unidad de medición: mm/s (rms)	High pass: 10 Hz	Low pass: 1000 Hz																				
PUNTOS DE MEDICIÓN		VISTA SUPERIOR																				
																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Puntos</th> <th>Motor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">1</td> <td>V</td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2</td> <td>V</td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">OBV MAX</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>		Puntos	Motor	1	V		H		A		2	V		H		A		OBV MAX		0.00		
Puntos	Motor																					
1	V																					
	H																					
	A																					
2	V																					
	H																					
	A																					
OBV MAX		0.00																				

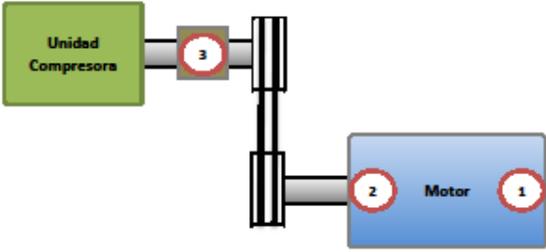
Fuente: Elliott Turbocharger Guatemala.

Figura 23. Formato para ventilador AC1

Página 1 de 1																																		
FIELD REPORT																																		
Vibration Analysis																																		
Customer: Laboratorio Rland Louis, S.A. Made by:	Job Number: From (date):																																	
Unit: Produccion Until (date):																																		
Descripción: Ventilador Potencia: 5 HP	Velocidad: 1735 RPM nominal																																	
Analizador: Vibrotest 60 Sensor: Acelerómetro AS065 Unidad de medición: mm/s (rms)	Fabricante: SCHENCK Fabricante: SCHENCK High pass: 10 Hz Low pass: 1000 Hz																																	
PUNTOS DE MEDICIÓN	VISTA SUPERIOR																																	
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Puntos</th> <th colspan="2">Motor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">H</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">H</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">OBV MAX</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos	Motor		1	V		H		A		2	V		H		A		OBV MAX		0.00	<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Puntos</th> <th colspan="2">Ventilador</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">H</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">OBV MAX</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos	Ventilador		3	V		H		A		OBV MAX		0.00
Puntos	Motor																																	
1	V																																	
	H																																	
	A																																	
2	V																																	
	H																																	
	A																																	
OBV MAX		0.00																																
Puntos	Ventilador																																	
3	V																																	
	H																																	
	A																																	
OBV MAX		0.00																																

Fuente: Elliott Turbocharger Guatemala.

Figura 25. Formato para compresor

Página 1 de 1																																		
FIELD REPORT																																		
Vibration Analysis																																		
																																		
																																		
Customer: Laboratorio Riend Louis, S.A.	Job Number: _____																																	
Made by: _____	Unit: Produccion																																	
	From (date): _____																																	
	Until (date): _____																																	
Descripción: Compresor	Velocidad: 3600 RPM nominal																																	
Potencia: 25 HP																																		
Analizador: Vibrotest 60	Fabricante: SCHENCK																																	
Sensor: Acelerómetro AS065	Fabricante: SCHENCK																																	
Unidad de medición: mm/s (rms)	High pass: 10 Hz Low pass: 1000 Hz																																	
PUNTOS DE MEDICIÓN	VISTA SUPERIOR																																	
																																		
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Puntos</th> <th>Motor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">H</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">H</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">OBV MAX</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos		Motor	1	V		H		A		2	V		H		A		OBV MAX		0.00	<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Puntos</th> <th>Ventilador</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">H</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">OBV MAX</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos		Ventilador	3	V		H		A		OBV MAX		0.00
Puntos		Motor																																
1	V																																	
	H																																	
	A																																	
2	V																																	
	H																																	
	A																																	
OBV MAX		0.00																																
Puntos		Ventilador																																
3	V																																	
	H																																	
	A																																	
OBV MAX		0.00																																

Fuente: Elliott Turbocharger Guatemala.

3.4. Desbalance

El desbalance es la avería más común que aparece en los equipos rotativos, si este problema persiste, puede ocasionar otro tipo de problemas como desgaste excéntricos, seguidamente producir falla en elementos rodantes.

3.4.1. Gravedad del desbalance

La gravedad del desbalance, depende de varios factores, como el tamaño de la máquina, más el nivel de vibración que esté presente. Para estas estimaciones existen parámetros estándares, según la Norma ISO 10816-1.

Esta norma es utilizada comúnmente para el uso de maquinaria industrial, con frecuencias de 120 rpm y 15 000 rpm cuando se miden en el lugar de operación. (International Organization for Standardization, 1998)

Considerando que cada fabricante de maquinaria puede señalar cuáles son los límites de vibración para los equipos.

Tabla XI. **Valores de vibración para evaluación de maquinaria según la Norma ISO 10816-1**

**Tabla de valores de vibración mecánica, para evaluación de maquinaria
Según ISO 10816-1 Tabla B-1
Vibración en mm/s (rms)**

mm/s rms	Maquinas Pequeñas Motores eléctricos Hasta 15 KW	Maquinas Medianas Motores eléctricos de 15KW hasta 75KW	Grandes	Turbinas
28.00	Zona D	Zona D	Zona D	Zona D
18.00	Zona D	Zona D	Zona D	Zona D
11.20	Zona D	Zona D	Zona D	Zona C
7.10	Zona D	Zona D	Zona C	Zona C
4.50	Zona D	Zona C	Zona C	Zona B
2.80	Zona C	Zona C	Zona B	Zona B
1.80	Zona C	Zona B	Zona B	Zona A
1.10	Zona B	Zona B	Zona A	Zona A
0.71	Zona B	Zona A	Zona A	Zona A
0.45	Zona B	Zona A	Zona A	Zona A
0.28	Zona A	Zona A	Zona A	Zona A

Zona A	Bueno	Maquinaria Nueva
Zona B	Aceptable	Operación a largo plazo sin restricciones
Zona C	Apenas Aceptable	Operación a corto plazo permitida
Zona D	No Aceptable	Vibración causa daño

Fuente: Norma ISO 10816-1.

3.4.2. Fuentes del desbalance

A continuación se enumeran las causas más comunes de desbalance en maquinaria.

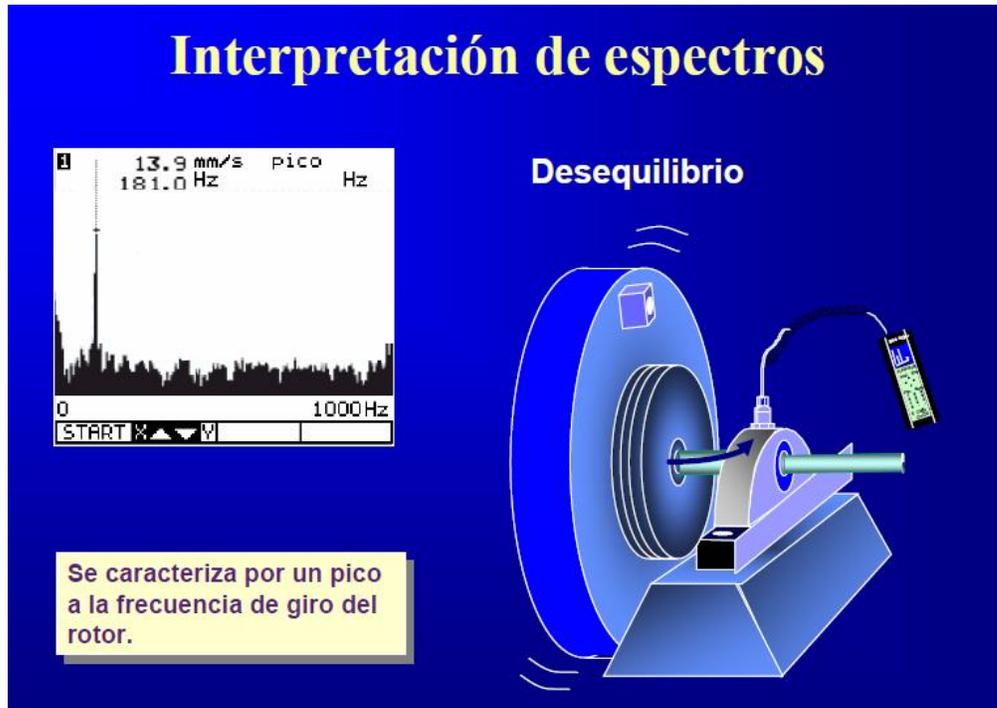
- Aglomeración desigual de polvo en los rotores de un ventilador.
- Falta de homogeneidad en partes coladas, como burbujas, agujeros de soplado y partes porosas.
- Excentricidad del rotor.
- Flexión de rodillos, especialmente en máquinas de papel.
- Errores de máquina.
- Distribución desigual en las barras de rotor de motores eléctricos o en el embobinado.
- Erosión y corrosión desigual de las impulsoras de una bomba.
- Pesos de balanceo que faltan.
- Flecha con flexión.

Ejemplo de desbalance:

A continuación se presenta una figura donde se muestra el comportamiento de un desbalance en el espectro de frecuencia.

Se observa que el desbalance, tiene un pico elevado en la frecuencia de rotación, por lo que se le atribuye un desbalance.

Figura 26. **Espectro de desbalance**



Fuente: *diseño y construcción de un banco didáctico para la medición de vibraciones mecánicas en los laboratorios de instrumentación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.*

Cuenca, p. 97.

4. FASE DE DOCENCIA

4.1. Capacitación sobre la importancia del análisis de vibraciones

La capacitación sobre el análisis de vibraciones abarca en su inicio desde el mantenimiento y de cómo se aplica en la industria. Además de cómo se puede complementar con tecnologías para ayudar a la detección de problemas.

La capacitación se llevó a cabo dentro de los parámetros para la capacitación de personal que se tienen por norma dentro de las instalaciones de la empresa.

4.2. Capacitación del personal de mantenimiento sobre el desbalance y los efectos negativos a los equipos

Esta capacitación se llevó a cabo seguidamente con el personal de mantenimiento, siendo estos lo que se enfrentan día a día con problemas de los equipos. Dando a conocer cuáles son las posibles causas del desbalance y que efectos negativos produce si no se corrige este problema.

4.3. Conferencia con jefes y gerentes acerca del desbalance y el efecto en el consumo eléctrico

Se presentó la propuesta de la ruta de análisis de vibraciones, con el fin de poder detectar problemas de los equipos críticos, que tipos de problemas se pueden detectar.

Se presentó la proyección de consumo en electricidad si un motor opera fuera de los parámetros de vibración para un desbalance.

CONCLUSIONES

1. El desarrollo de una ruta de análisis de vibraciones ayuda a agilizar el proceso de selección de equipos críticos de la planta de producción de la empresa, logrando que esta sea adecuada a las necesidades propias de cada equipo, con el fin de poder detectar el desbalance u otro problema en los mismos.
2. Como parte del desarrollo del proyecto, se identificaron los equipos críticos de la planta, los cuales puedan ocasionar un daño mayor no solo por el daño propio del equipo, sino porque alguno de estos puede influir directamente en el paro o pérdida de producción.
3. Los puntos adecuados para el análisis de vibraciones se seleccionaron de acuerdo a las recomendaciones de varios textos sobre análisis de vibraciones, con el fin de obtener datos apropiados, y hacer más ágil la captura de estos, la orientación adecuada, vertical horizontal y axial, según aplique.
4. El desbalance mecánico se presenta en equipos rotativos, por causas internas o externa del proceso, por lo que la herramienta del espectro de frecuencia, más un correcto análisis de fase, en el análisis de vibraciones, ayuda a la detección temprana de este, y poder corregir en el tiempo adecuado.

5. La relación del consumo eléctrico de un equipo acoplado directamente al motor, es notoria e inherente al desbalance, ya que si existe un desbalance, por consiguiente el consumo energético del motor se verá afectado, con un incremento.

6. Con las consultas realizadas es posible determinar el aumento en el consumo de energía eléctrica en el motor, estimándose en un 10 %, lo cual indica un incremento en el costo de operación.

7. Con el apoyo del área de planta se impartieron las capacitaciones de vibraciones correspondientes, con el fin de poder exponer los datos obtenidos más las propuestas de mejora para la conservación de operación óptima de los equipos involucrados.

RECOMENDACIONES

Al gerente de mantenimiento:

1. Aplicar nuevas tecnologías como termografía, ultrasonido, entre otras, para la detección de otros problemas que puedan afectar el correcto funcionamiento de los equipos.
2. Dar seguimiento a la aplicación de los análisis de vibraciones, para que esta herramienta pueda aplicarse posteriormente a más equipos, para dar confiabilidad a todas las líneas de producción.
3. Almacenar los reportes que se generen de los reportes de análisis de vibraciones para poder dar una trazabilidad al equipo y ver si hay factores que se puedan eliminar para evitar averías.
4. Determinar si la eficiencia del motor eléctrico es la adecuada, lo cual indicara si es necesario algún ajuste previo a algún balanceo, para mejorar la operación del mismo.
5. Someter por medio de indicadores a los equipos para aplicar un programa de mejora continua y así mejorar los consumos de toda la planta de producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Indelco. [en línea] <http://www.indeleco.com/archivos/consumo_motores_trifasicos.pdf>. [Consulta: mayo de 2014].
2. International Organization for Standardization. ISO 10816-3. *Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non rotating part* —. Suiza. 1998, 13 p.
3. JARA JIMBO, J. A.; SINCHI VIVAR, J. G. *Diseño y construcción de un banco didáctico para la medición de vibraciones mecánicas en los laboratorios de instrumentación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca*. Cuenca, España: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. 2012, 242 p.
4. WHITE, G. *Introducción al análisis de vibraciones*. Massachusetts: Azima DLI. 2010, 214 p.

APÉNDICES

Tabla de capacitaciones

Título del tema de capacitación: _____

Proveedor: _____

Persona contacto de proveedor de capacitación: _____

Fecha(s) y horario de capacitación: _____

Precio de capacitación: _____ Forma de pago: _____

Datos de facturación de proveedor: _____

Objetivo de capacitación: _____

Beneficio - Impacto al recibir capacitación: _____

Personas a quienes se solicitará asistir a capacitación:

No.	NOMBRE	PUESTO	No.	NOMBRE	PUESTO

Forma de evaluación de comprensión de asistentes después de recibir la capacitación: _____

Solicitante de capacitación: _____ Puesto de solicitante: _____

Fecha de solicitud: _____ Límite de fecha de pago a proveedor: _____

Recibido en Recursos Humanos por: _____ Fecha: _____

Resolución de la solicitud de capacitación: AUTORIZADO NO AUTORIZADO

Fuente: Laboratorios Roland Louis.

