

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Departamento de Ingeniería Mecánica

TRABAJO DE DIPLOMA

**“Análisis de la influencia de las vibraciones en
rodamientos de equipos rotatorios de la industria
azucarera”**

Autor: Gilberto Cruz Ortega

Tutores: Dr. Eusebio Pérez Castellanos

Ing. Adam Tomas Rivero Ortiz

Ing. Fidel Enrique Ledón Machado

Copyright©UCLV

Mayo/2018

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Dedicatoria

Este trabajo de diploma está dedicado en especial a mi familia, a mi papá Gilberto Cruz Ríos, a mi mamá Belkís Ortega Soria y a mi abuela Miriam Ríos Yanes por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento, dándome su apoyo incondicional e impulsándome hasta llegar a este momento. También está dedicado a todos mis familiares por motivarme a seguir superándome.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis tutores Eusebio Pérez, Adam Rivero y Fidel Ledón que me brindaron sus conocimientos sin medida y me ayudaron incondicionalmente en la realización de este trabajo. También a Mario Caballero y al personal del grupo técnico de la UEB Efraín Alfonso en especial a Eduardo Ávila y Germán Verdecía.

Resumen:

El análisis de vibraciones es utilizado en muchas industrias como técnica de diagnóstico de fallas y evaluación de la integridad de máquinas y estructuras. Su utilidad radica en el hecho de que en muchos casos las frecuencias de vibración señalan el problema específico, mientras que la amplitud de las mismas brinda una buena indicación de la severidad del problema. En el presente trabajo, a partir del análisis del historial de las vibraciones, se hace un estudio sobre la naturaleza de las vibraciones mecánicas y su influencia en la durabilidad de los rodamientos en equipos rotatorios, particularizando en cinco equipos de alta importancia en la UEB azucarera Ifraín Alfonso. La metodología propuesta puede ser extendida a otras empresas y equipos similares. Los resultados obtenidos indican las medidas de corrección a ser valoradas.

Abstract:

Vibration analysis is used in many industries as a fault diagnosis technique and evaluation of the integrity of machines and structures. Its usefulness lies in the fact that in many cases the vibration frequencies indicate the specific problem, while the amplitude of them provides a good indication of the severity of the problem. In the present work, from the analysis of the history of the vibrations, a study is made on the nature of the mechanical vibrations and their influence on the durability of the bearings in rotating equipment, particularizing in five teams of high importance in the sugar UEB Ifraín Alfonso. The proposed methodology can be extended to other companies and similar equipment. The results obtained indicate the correction measures to be evaluated.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo I: Conceptos teóricos de las vibraciones.	7
1.1 Definición y clasificación de las vibraciones:	7
1.2 Frecuencia	8
Origen de las frecuencias de las vibraciones en las máquinas.....	8
1.2.1 Frecuencias generadas.....	8
1.2.2 Frecuencias excitadas.....	9
1.2.3 Influencia de las vibraciones externas	9
1.3 Desbalanceo	9
1.4 Análisis de vibraciones en el mantenimiento predictivo de maquinaria.....	10
1.5 Análisis de fase de vibraciones	12
1.6 Importancia del balanceo para máquinas de ejes rotantes	13
1.7 Conclusiones Parciales	14
Capítulo II. Metodologías de medición.....	15
2.1 Funciones y accesorios del instrumento de medición.	15
2.2 Metodología para la aplicación del diagnóstico por vibraciones con el Vibrotest 60 activado con el 1er módulo.....	19
2.2.1 Alcance del Vibrotest 60.....	19
2.2.2 Puntos de medición	21
2.2.3 Mediciones periódicas	27
2.2.4 Detección del problema.....	27
2.2.5 Detección de desbalance de masa.....	28
2.2.6 Detección del desalineamiento.....	28
2.2.7 Pronóstico del fallo	29
2.2.8 Planificación de la intervención	31
2.3 Calificación de los operarios.....	32
Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ibraín Alfonso.	36
3.1 Lecturas de las vibraciones en la bomba de meladura.	36
3.2 Lecturas de las vibraciones en el Ventilador de tiro forzado	39
3.3 Lecturas de las vibraciones en el ventilador de aire secundario (VAS).....	42
3.4 Lecturas de las vibraciones en el ventilador de tiro inducido	45
3.5 Lecturas de las vibraciones en la desfibradora	48
3.7 Conclusiones parciales.....	52
Conclusiones generales	53

Recomendaciones.....	54
Bibliografía	55

Índice de figuras

Figura 2.1 Controles y accesorios del Vibrotest 60.....	17
Figura 2.2 Acelerómetro piezoeléctrico.....	19
Figura 2.3 Soportes del acelerómetro.....	19
Figura 2.4 Representación gráfica del valor RMS.....	22
Figura 2.5 Puntos de medición para un rotor según ISO 10816.....	23
Figura 2.6 Puntos de medición en un motor eléctrico.....	24
Figura 2.7 Puntos de medición en una bomba.....	25
Figura 2.8 Rotor de un ventilador.....	26
Figura 2.9 Puntos de medición en pedestales.....	26
Figura 2.10 Colocación del sensor para un apoyo de cojinetes.....	26
Figura 3. 1 Historial de la velocidad de vibración en la Bomba de Meladura.....	37
Figura 3. 2 Historial de aceleración de vibración en la bomba de meladura.....	38
Figura 3. 3 Historial de la velocidad de vibración en la Bomba de Meladura.....	39
Figura 3. 4 Historial de aceleración de vibración en la bomba de meladura.....	40
Figura 3. 5 Historial de la velocidad de vibración en el VTF.....	41
Figura 3. 6 Historial de aceleración de vibración en el VTF.....	41
Figura 3. 7 Historial de la velocidad de vibración en el VTF.....	42
Figura 3. 8 Historial de aceleración de vibración en el VTF.....	43
Figura 3. 9 Historial de la velocidad de vibración en el VAS.....	44
Figura 3. 10 Historial de aceleración de vibración en el VAS.....	44
Figura 3. 11 Historial de la velocidad de vibración en el VAS.....	45
Figura 3. 12 Historial de aceleración de vibración en el VAS.....	46
Figura 3. 13 Historial de la velocidad de vibración en el VTI.....	47
Figura 3. 14 Historial de aceleración de vibración en el VTI.....	47
Figura 3. 15 Historial de la velocidad de vibración en el VTI.....	48
Figura 3. 16 Historial de aceleración de vibración en el VTI.....	49
Figura 3. 17 Historial de la velocidad de vibración en la Desfibradora.....	49

Figura 3. 18 Historial de aceleración de vibración en la Desfibradora.....	50
Figura 3. 19 Historial de la velocidad de vibración en la Desfibradora.....	51
Figura 3. 20 Historial de aceleración de vibración en la Desfibradora.....	51

Índice de tablas

Tabla 2. 1 Módulo 1 del vibrotest 60.....	18
Tabla 2. 2 Colocación del sensor en función del parámetro a medir en los puntos de un motor eléctrico.....	24
Tabla 2. 3 Calidad del rodamiento según criterio de Rodabilsa.....	30
Tabla 3. 1 Impacto económico.....	52

Introducción

Introducción

En la UEB azucarera Efraín Alfonso de Ranchuelo se han venido produciendo fallas en los rodamientos de algunos equipos que trabajan con altas cargas y velocidades relativamente altas (en particular la desfibradora, el ventilador de tiro forzado (VTF), el ventilador de tiro inducido (VTI), el ventilador de aire secundario (VAS) y la bomba de meladura).

Una de las posibles causas de estas fallas son las vibraciones que se producen en estos equipos y que pueden tener distintos orígenes, por ejemplo:

-Desbalance en los equipos.

-Influencia de las vibraciones presentes en equipos que funcionan en la vecindad de los que son objeto de estudio.

Hasta ahora no se ha hecho un estudio profundo del fenómeno y sobre todo de las causas.

El diagnóstico por vibraciones se aplicó en el Ingenio Ifraín Alfonso a los rodamientos de la maquinaria (ver anexos 3-7), la fábrica se encuentra situada en Ranchuelo, Villa Clara. Las lecturas se obtuvieron con el Vibrotest 60 utilizando el transductor acelerómetro 65 y con filtro pasa alto.

Los rodamientos actúan como una fuente de ruido y vibración, debido tanto a la variación como a la presencia de defectos en ellos, aun cuando estos sean geométricamente perfectos. Los datos obtenidos se evaluaron en la NC ISO 10 816 y con la experiencia del personal de la fábrica en la maquinaria.

Selección de los equipos a analizar y características de los mismos.

1. La desfibradora es un equipo que se emplea para completar la preparación y la desintegración de la caña y facilita así la extracción de jugo por los molinos. Posee un motor de 400 kW y trabaja a una velocidad de 900 rpm, este equipo está sometido a grandes cargas y capacidades de trabajo. Este equipo requiere 2 rodamientos 23140ck los cuales soportan grandes cargas de trabajo.
2. La bomba de meladura es la encargada de recibir la meladura proveniente del último vaso del cuádruple efecto y la envía hacia los tanques de

Introducción

meladura situados en el área de cristalización para abastecer los tachos, por lo que esta bomba está soportando una gran carga y esto hace que la misma esté sometida a grandes capacidades de trabajo. El motor es de 22 kW y trabaja a 1750 rpm. Utiliza dos rodamientos 6309 los cuales soportan las cargas que le trasmite el árbol.

3. El Ventilador de tiro forzado es el encargado de suministrar el aire a un calentador y este a su vez mediante un ducto llega hasta las toberas a la cámara de combustión y otra parte de ese aire va hacia la parte inferior de las parrillas y es el encargado de agilizar la combustión. Tiene un motor de 100 kW y 885 rpm posee dos rodamientos 22320ck los cuales están sometidos a altas cargas de trabajo.
4. El Ventilador de tiro inducido es el encargado de extraer lo gases de la caldera producto de la combustión a través de ductos que están conectados a la chimenea del central por lo tanto este equipo es necesario para el funcionamiento de ingenio. Cuenta con un motor de 100KW y rota a 710 rpm, utiliza dos rodamientos 22228ck que están sometidos a altas cargas.
5. El Ventilador de aire secundario es el encargado de esparcir el bagazo dentro de la cámara de combustión a través de los lanzadores para lograr la entrada oportuna del bagazo a la cámara y una aceleración de la combustión. Este cuenta con dos rodamientos 22218ck, un motor de 110 KW y rota a 1750 rpm.

Monitoreo de vibraciones en maquinaria industrial.

En el monitoreo y análisis de condición de operación de máquinas, equipos, y sistemas en una planta industrial, se utilizan diferentes técnicas de mantenimiento predictivo. Entre las principales se incluyen el análisis de vibración, ultrasonido (*en este caso de estudio se utilizó este método*), termografía, análisis de aceite, inspección visual, tintas penetrantes, y otras técnicas no destructivas. El análisis de vibraciones mecánicas es una de las técnicas de mantenimiento preventivo más utilizada debido al menor costo en relación con las demás, a la posibilidad de

Introducción

efectuarlo sin necesidad de hacer una parada en el proceso de producción y gracias a sus buenos resultados en el diagnóstico de fallas en máquinas rotativas.

En la mayoría de los casos un diagnóstico acertado de la falla está directamente relacionado con la experiencia del técnico en el análisis del espectro obtenido y con la agudeza de sus sentidos (visión, tacto, oído, olfato) en función de determinar las relaciones de la máquina con su entorno de trabajo y la comprensión de los principios físicos y mecánicos que rigen el funcionamiento de la máquina. En los últimos 30 años se está incrementando el uso de la señal de vibraciones para analizar y monitorear la condición de operación de máquinas rotativas mientras éstas están en funcionamiento. Estas señales tienen particular interés para la detección de la falla y el diagnóstico y pronóstico de la condición de operación de la máquina. **(Molina, A., 2015)**

El mayor beneficio económico está en predecir el tiempo de operación de la máquina de modo seguro, frecuentemente unos meses después de detectar por primera vez la falla incipiente. Con el monitoreo permanente de la máquina es posible observar y registrar la evolución del sistema antes que ocurra una falla que ocasione la parada del equipo.

Las señales de vibración de una máquina en funcionamiento contienen mucha información sobre su condición de operación. Es así como la máquina tiene unas condiciones normales que la caracterizan, es lo que se denomina firma de la máquina. La mayoría de las fallas producen un cambio en la firma que se pueden caracterizar acorde con la naturaleza de la falla. De esta forma, la señal de la vibración puede ser utilizada como un método para obtener información de las condiciones de operación de la máquina. Para estimar la condición de operación de una máquina, es esencial monitorear los cambios en los niveles de vibración desde un valor de referencia establecido en el que la máquina opere en buen estado.

Para obtener información sobre cambios en la condición de la máquina, el espectro de vibraciones puede ser comparado bajo condiciones similares de operación. La influencia de las condiciones de operación de la máquina (velocidad,

Introducción

carga, temperatura) sobre los parámetros de la vibración puede variar para diferentes tipos de máquinas.

El espectro de referencia puede ser determinado en cualquier momento durante la vida de la máquina bajo condiciones estables de vibración. La principal dificultad consiste en establecer en qué momento los cambios en el espectro son lo suficiente grandes como para requerir una intervención en la máquina. **(Jiménez, D., 2012)**

Las diferentes fallas en máquinas (desbalanceo, desalineamiento, falta de apriete, fallas en los rodamientos) generan parámetros característicos que son visibles en el dominio de la frecuencia.

Estos equipos requieren una resolución de frecuencia alta, capacidad de filtrado (incluido el antialiasing), capacidad de promediar, detección de envolvente (demodulación), alta capacidad de memoria, características de acercamiento y captura en línea de la información.

La señal de vibración en el dominio del tiempo es típicamente procesada al dominio de la frecuencia utilizando la Transformada de Fourier, generalmente mediante los algoritmos de la transformada rápida de Fourier, FFT por sus siglas en inglés.

La principal ventaja de este formato se debe a la naturaleza repetitiva de la señal de la vibración; esta característica es claramente presentada por los picos en el espectro de frecuencia a las frecuencias en que la repetición ocurre.

Estos picos, que son debidos a fallas que ocurren a unas frecuencias características específicas, permiten detectar tempranamente la falla, diagnosticar con precisión y observar la evolución en el tiempo de la condición deteriorada. Sin embargo, la desventaja del análisis de frecuencia es la gran cantidad de información que se requiere en el proceso de transformación. Un error en la interpretación del espectro de vibración generalmente conlleva el cambio inadecuado de piezas, pérdida de tiempo y en general la generación de gastos adicionales. La detección temprana de la falla en una máquina es el primer paso para implementar un programa de monitoreo de la condición. **(Iporre, J., 2010)**

Introducción

El reconocimiento temprano del deterioro es la clave para el diagnóstico de falla. Consecuentemente, la fase de monitoreo de la condición no debe ser olvidada, aunque algunas veces pueda ser tediosa. La principal razón para emplear el monitoreo de la condición de la máquina y el diagnóstico de fallas es que con la misma se genera información cuantitativa y precisa sobre la condición de operación de la máquina. Esto permite definir si se requiere realizar actividades de mantenimiento inmediatamente o posteriormente, y definir las actividades de mantenimiento que se requieren. La implementación del monitoreo de la condición de la máquina tiene ventajas potenciales como mejorar la eficiencia de la máquina, reducir el costo del mantenimiento, disminuir las paradas por fallas repentinas, mejorar la seguridad e incrementar la vida útil de la máquina. (Llanos, E., 2014)

- **Objeto de estudio.**

El objeto de estudio de este trabajo son las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la industria azucarera.

- **Problema práctico a resolver.**

En los equipos rotatorios sometidos a grandes cargas y con velocidades relativamente altas de la UEB Ifraín Alfonso se producen fallas frecuentes en los rodamientos de los apoyos que traen como consecuencia la parada del equipo, afectaciones a la producción y consecuentemente pérdidas económicas. Hasta el momento no existe una metodología integral para resolver estos problemas.

- **Hipótesis.**

Si se conocen con profundidad las relaciones entre las vibraciones de algunos equipos y la frecuencia de fallas de sus rodamientos, se pueden tomar medidas que minimicen la aparición de estas fallas.

Objetivo general.

Estudiar, mediante el análisis del historial de velocidades y aceleraciones, la correlación entre el nivel de las vibraciones en máquinas rotatorias y la
Análisis de la influencia de las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la
industria azucarera

Introducción

aparición de fallas que se producen en los rodamientos para mejorar el funcionamiento de estos equipos y de la industria en general

- **Objetivos específicos**

- Profundizar en la naturaleza de las vibraciones, su origen y efectos en máquinas rotatorias para la UEB Ifraín Alfonso.
- Obtener el historial de velocidades y aceleraciones de las vibraciones en diferentes equipos para diagnosticar su comportamiento.
- Recomendar las medidas necesarias para mejorar el funcionamiento de estos equipos y de la industria en general.

El trabajo está estructurado de la siguiente manera: Introducción, capítulo 1, capítulo 2, capítulo 3, conclusiones y anexos. En la introducción se realiza una caracterización detallada de los equipos y también se explica la forma de monitorear estos mismos. En el capítulo 1 luego de una amplia búsqueda bibliográfica se trata sobre los conceptos teóricos de las vibraciones, así como sus causas y efectos en máquinas rotatorias. En el capítulo 2 se refleja la metodología de la medición y las funciones de las mismas, aquí se realiza una caracterización de cada uno de los equipos y de todos sus accesorios y se califica el personal que opera con los equipos. En el capítulo 3 se analiza las lecturas tomadas a los equipos y se comentan los resultados de los gráficos de velocidad y aceleración con la norma de ISO 10816-3 y el método de la aceleración respectivamente. Como conclusión de este trabajo se muestra la importancia del mismo para la industria azucarera, ya que con la aplicación de este se demuestra que puede lograrse un ahorro considerable de recursos y en los anexos se puede encontrar la norma ISO10816-3, el método de la aceleración, y los resultados de las mediciones individuales.

Capítulo I: Conceptos teóricos de las vibraciones.**1.1 Definición y clasificación de las vibraciones:**

Se denomina vibración mecánica a un movimiento que se repite a sí mismo después de un intervalo de tiempo determinado.

Las vibraciones mecánicas comprenden el estudio del movimiento oscilatorio (o vibratorio) de los cuerpos, así como de las fuerzas (o torques) que les están asociadas. Antiguamente, el objeto principal de estudio era el movimiento periódico, esto es, aquél que se repite en períodos de tiempo iguales. Un ejemplo clásico de movimiento periódico es el conocido movimiento armónico simple (mas), estudiado en Física. Hoy, mientras tanto, se consideran también de suma importancia el movimiento no periódico, teniendo en cuenta la gran frecuencia con que el mismo ocurre en la vida real. Un ejemplo práctico de ese tipo de movimiento es lo que ocurre con la carrocería de un vehículo cuando el mismo transita sobre un suelo irregular. **(RAO, S. 2012)**

Vibraciones en máquinas rotatorias

A través de los años, ya sea por contacto directo o con en el empleo de algún dispositivo de naturaleza subjetiva, los operadores de máquinas han empleado técnicas de verificación auditiva para comprobar si el comportamiento de su máquina es normal o no. De aquí que, tradicionalmente y quizás de forma inconsciente, las vibraciones hayan sido utilizadas como un indicador de estado técnico de las máquinas y hasta hoy en día, continúa siendo el fenómeno más representativo del estado técnico de estas, con lo que se puede, a través de la medición y el análisis de vibraciones, detectar e identificar fallos ya desarrollados o en periodos de desarrollo prematuro. **(Palomino, 2012, p 17)**

Caracterización de las vibraciones en las maquinas rotatorias

El estudio de las vibraciones está relacionado con el comportamiento oscilatorio de los cuerpos, teniendo en cuenta que la mayoría de las maquinarias y estructuras experimentan vibraciones de mayor o menor grado, por lo cual estas se deberían tener presentes al abordar los cálculos de diseño y/o comprobación,

Capítulo I: Conceptos teóricos de las vibraciones.
así como los controles periódicos de su estado técnico.

Según la norma NC/ISO 2041 en relación con la terminología de vibraciones se establece que:

Vibración

Es toda variación en el tiempo, de una magnitud que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico, cuando la magnitud es alternativamente mayor o menor que cierto valor promedio o de referencia.

Vibración lineal

Es una vibración en la cual la trayectoria vibratoria de un punto tiene lugar según la línea recta.

El movimiento físico de una maquina rotatoria se interpreta como una vibración, cuyas frecuencias y amplitudes tienen que ser cuantificadas por un dispositivo que convierte estas en un producto que pueda ser medido y analizado posteriormente. Así la frecuencia describirá que está mal en la máquina y la amplitud, cuán severo es el problema. Las vibraciones pueden ser de naturaleza armónica, periódica o aleatoria. (Palomino, 2012, p 22-23)

1.2 Frecuencia

Es el recíproco del periodo fundamental (tiempo de repetición de un fenómeno periódico). Se expresa en Hertz (Hz), lo cual corresponde a un ciclo por segundo

Origen de las frecuencias de las vibraciones en las máquinas

Existen tres causas fundamentales que proporcionan la presencia de las vibraciones en las máquinas rotatorias a determinadas frecuencias, estas últimas se identifican como:

- 1. Frecuencias generadas**
- 2. Frecuencias excitadas**
- 3. Frecuencias producidas por fenómenos externos**

1.2.1 Frecuencias generadas

A veces se les identifica como frecuencias forzadas o de diagnóstico y son aquellas que las máquinas generan realmente durante su funcionamiento habitual,

Capítulo I: Conceptos teóricos de las vibraciones.

representativas de estas frecuencias son los desbalances, el paso de las paletas de una turbina, la frecuencia de engranaje o el paso de los elementos rodantes por los defectos locales de las pistas de un cojinete de rodamiento por citar algunas. Estas serán las más tratadas en el trabajo ya que son el ejemplo más preciso del objeto de estudio.

1.2.2 Frecuencias excitadas

Las frecuencias excitadas no son más que las frecuencias de resonancia de los elementos que componen las máquinas, incluyendo las estructuras portantes y los elementos no rotatorios en general.

1.2.3 Influencia de las vibraciones externas

En muchas ocasiones es de gran importancia estudiar, cuantificar y controlar las vibraciones que llegan a las máquinas debido a diferentes fuentes externas, o sea, debido a fuerzas que no son generadas durante el funcionamiento de la propia máquina, sino como consecuencia de las máquinas vecinas. Las vibraciones externas no son tan importantes porque estas no son producidas por la misma máquina. (Palomino, 2012, p 29-31). Es de señalar que con la existencia de aislamientos en los equipos se amortigua considerablemente la influencia de las vibraciones externas.

La Norma ISO 2041 establece que: *La resonancia* de un sistema sometido a oscilaciones forzadas existe cuando cualquier cambio, incluso muy pequeño, en la frecuencia de la excitación, causa un decrecimiento en la respuesta del sistema. Nótese que esta definición no coincide con el concepto físico, teórico en que matemáticamente las amplitudes tienden a ser infinitas ya que en la vida real la estructura del equipo amortigua las vibraciones y la resonancia se produce para el mayor valor de amplitud de la vibración.

1.3 Desbalanceo

En un rotor existen muchas fuentes de desbalanceo en los diferentes planos. Por ejemplo, el desbalanceo en un plano puede ser debido a distribución desigual del material, o a la existencia de burbujas de aire en la fundición. En otro sentido el

Capítulo I: Conceptos teóricos de las vibraciones.

desbalanceo puede ser debido a las partes o pesos unidos como abrazaderas, tornillos, etc. La no coincidencia de los ejes longitudinales de los agujeros y del rotor, también es una fuente de desbalanceo. Las masas desbalanceadas en una máquina rotativa frecuentemente producen excesivas fuerzas sincrónicas que reducen la vida útil de los elementos mecánicos. Para minimizar el efecto del desbalanceo, los rotores son balanceados con una variedad de métodos. La mayoría de los rotores son exitosamente balanceados en máquinas de balanceo a baja velocidad. Las máquinas balanceadoras no diferencian cada una de estas causas. Se obtiene la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan en cada uno de los planos de corrección escogidos. El desbalanceo constituye una de las fuentes más comunes en los problemas de vibraciones en maquinarias. Las características que rigen a la vibración por desbalanceo son las siguientes:

1. Altos niveles de vibración radial
2. Componente 1X rpm estable en espectro y forma de onda
3. El nivel de amplitud a la frecuencia 1X se incrementa con la velocidad
4. Bajos niveles de vibración a las frecuencias 2X, 3X, etc.
5. Bajos niveles de vibración en la dirección axial
6. La forma de onda es del tipo de armónicas puras. Para que un equipo amerite ser balanceado, es necesario que por lo menos el 60% de la amplitud de la vibración con respecto a la magnitud total se genere a la frecuencia de 1X.

El desbalance puede ser definido sobre la base de la no coincidencia del eje de rotación y el eje longitudinal principal de inercia del rotor. Este eje, une todos los centros de gravedad de cada una de las infinitas secciones transversales que componen al rotor, que al no coincidir con el eje de rotación podrán inducir varios tipos de desbalances, en virtud de los cuales habrá que decidir cómo balancear el rotor. **(Echeverry, J., 2013)**

1.4 Análisis de vibraciones en el mantenimiento predictivo de maquinaria

La predicción de posibles fallas en maquinaria es clave para la operación confiable y segura de cualquier instalación. Esto es especialmente crítico en vehículos aéreos como aviones y helicópteros y en plantas de generación eléctrica, ya que

Análisis de la influencia de las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la industria azucarera

Capítulo I: Conceptos teóricos de las vibraciones.

cualquier falla no planeada puede resultar desastrosa. El riesgo para el personal y el tiempo en que una máquina queda fuera de servicio puede reducirse considerablemente si los problemas son pronosticados con un grado razonable de certeza. Esto permite asegurar la continuidad en servicio del dispositivo y planificar las detenciones en forma conveniente. **(Carrella, Alfredo. R, 2008)**

Las vibraciones excesivas en una máquina producen consecuencias no deseables. Pueden causar desgaste, fisuras por fatiga, pérdida de efectividad de sellos, rotura de aislantes, ruido, etc. Por otro lado, la medición vibraciones brinda la mejor información sobre la condición mecánica de una maquinaria ya que constituyen un indicador muy sensible de la evolución de un defecto. Las fallas catastróficas en máquinas muchas veces son precedidas, con meses de anticipación, por un cambio en las condiciones de vibración de las mismas. Por lo general, un bajo nivel de vibraciones en una máquina es una indicación de que esta funcionará correctamente durante un largo período de tiempo, mientras que un aumento en el nivel de vibraciones indica la proximidad de algún tipo de falla. El análisis de vibraciones es utilizado en muchas industrias como técnica de diagnóstico de fallas y evaluación de la integridad de máquinas y estructuras. Su utilidad radica en el hecho de que en muchos casos las frecuencias de vibración señalan el problema específico, mientras que la amplitud de las mismas brinda una buena indicación de la severidad del problema. La ventaja que presenta esta técnica con respecto a otras es que la evaluación puede realizarse durante la operación de la máquina. Esto minimiza las detenciones, que muchas veces tienen costos elevados y pueden producir daños a la cadena de producción (ej. industria siderúrgica). **(García, A., 2008)**

Las mediciones de vibración responden por lo general a dos tipos de necesidades particulares. La primera de ellas es una revisión rutinaria para comprobar el buen funcionamiento del equipo. Esta es una tarea habitual para los programas de mantenimiento predictivo, ya que casi el 90% del total de las fallas en maquinaria es precedido por un cambio en las vibraciones detectadas. La segunda se presenta durante el proceso de análisis de un problema particular, en el cual el

Capítulo I: Conceptos teóricos de las vibraciones.

objetivo final es determinar su causa para adoptar la solución más adecuada. Los sensores más utilizados en la actualidad para la medición de vibraciones en el exterior de máquinas y estructuras son los acelerómetros. Su popularidad se debe a su tamaño y peso reducido, su amplio rango de frecuencias y su capacidad de integrar la señal para obtener velocidad o desplazamiento vibratorio. Las técnicas más empleadas para el análisis de vibraciones son:

- Análisis de amplitud espectral
- Análisis de forma de onda en el dominio temporal
- Análisis de fase de vibraciones

Análisis de amplitud espectral

La esencia de este análisis es descomponer la señal de vibración en sus componentes espectrales en frecuencia. Esto permite correlacionar las vibraciones medidas con las fuerzas que actúan dentro del dispositivo, asociando la causa del problema con la frecuencia y su severidad con la amplitud.

Análisis de forma de onda en el dominio temporal

El análisis de la forma de la vibración en el dominio temporal provee información complementaria al análisis espectral. En general permite identificar los problemas de

- Impactos
- Modulaciones en amplitud y frecuencias
- Truncaciones por saturación de la capacidad del transductor

1.5 Análisis de fase de vibraciones

El análisis de diferencias de fase entre las vibraciones horizontales, verticales y axiales medidas en diferentes puntos permite determinar los movimientos relativos entre los distintos componentes de un sistema. De esta forma pueden diferenciarse diversos problemas que generan vibraciones a una misma frecuencia. A modo de ejemplo: sea una máquina rotatoria en la cual el eje es soportado por dos cojinetes. Los problemas de desbalance y desalineación en un

Capítulo I: Conceptos teóricos de las vibraciones.

acople con otra máquina generan (cada uno por separado) vibraciones a la frecuencia de rotación (denominada frecuencia 1X). Complementando adecuadamente diferentes técnicas de análisis puede distinguirse entre ellos y establecer de forma certera la causa de la vibración. En menor medida, también se emplean en forma complementaria técnicas de análisis de órbitas, análisis de vibraciones en transitorios de arranque y análisis de modulaciones en el dominio temporal. (**Carrella, Alfredo.R, 2008**)

1.6 Importancia del balanceo para máquinas de ejes rotantes

Un análisis estadístico de las ocurrencias de los distintos problemas asociados a máquinas rotantes indica que el 90 % de los problemas de vibraciones son originados por desbalance, desalineación y resonancias. El porcentaje aproximado para cada ítem es:

- 40% debido a desbalance,
- 30% debido a desalineación (en máquinas acopladas),
- 20% debido a resonancias,
- 10% debido a otras causas.

Por lo tanto, un análisis metódico de vibraciones debería comenzar analizando los problemas de mayor ocurrencia estadística y, luego de descartarlos, seguir con los menos probables. El balanceo de rotores es imprescindible para mantener la vibración de una máquina dentro de los niveles aceptables, lo que resulta esencial para minimizar las tensiones mecánicas y maximizar la confiabilidad a largo plazo. Las variaciones geométricas de una pieza rotante debido a las tolerancias de producción generan pequeños desequilibrios en cada una. Para corregir estos desequilibrios, en cada rotor debe aplicarse algún procedimiento de balanceo. Esto significa determinar con la mayor exactitud posible la magnitud y localización de cualquier desequilibrio y compensarlo agregando o quitando material en las ubicaciones correctas. (**Carrella, Alfredo.R, 2008**)

El balanceo es actualmente preciso, rápido y fácil para el usuario y las ventajas de realizarlo superan ampliamente el esfuerzo y tiempo necesarios para reparar un

Capítulo I: Conceptos teóricos de las vibraciones.

rotor. Las turbinas son balanceadas durante su proceso de manufactura y deben ser rebalanceadas después de cualquier montaje o desmontaje de partes rotantes, ya sea por causas de mantenimiento de rutina o por daños. Lograr un balanceo completo requiere restablecer el equilibrio dinámico de una pieza, para lo cual es necesario contar con una máquina con capacidad de balancear en dos planos. Los resultados del balanceo deben ser comparables, sin importar dónde se balancee un módulo ni quién realice la operación. La calidad del balanceo depende de tres factores: la capacidad de la máquina balanceadora, la configuración del rotor y el diseño de las herramientas. (**Carrella, Alfredo. R, 2008**)

1.7 Conclusiones Parciales

A partir de una profunda búsqueda bibliográfica se realizó un análisis detallado acerca de las vibraciones en máquinas rotatorias, cómo se originan y las causas y efectos que pueden traer consigo.

En la UEB Ifraín Alfonso se tomaron como objeto de estudio la bomba de meladura, el ventilador de tiro forzado, el ventilador de tiro inducido, el ventilador de aire secundario y la desfibradora, que son equipos de una importancia relativamente elevada dentro de la fábrica y que han venido presentando problemas con los rodamientos debido a las vibraciones.

En el ingenio no existe una cultura elevada sobre el conocimiento de las vibraciones y su importancia en la planificación del mantenimiento de los equipos y esta actividad se desarrolla básicamente a partir de la actuación de un especialista que no es trabajador de la UEB.

Capítulo II. Metodologías de medición.

En el este capítulos se describen las metodologías empleadas para la medición de vibraciones para este trabajo y la eficiencia en la medición por parte de los mismos.

2.1 Funciones y accesorios del instrumento de medición.

Como se ha señalado anteriormente el principal instrumento empleado en este trabajo es el Vibrotest 60.

El mantenimiento predictivo de la máquina tiene muchas facetas: Vibrotest 60 puede manejarlas todas. EL analizador de vibración, el colector de datos y el instrumento de equilibrio en un solo equipo. El Vibrotest 60 es el instrumento ideal para usuarios "principiantes" con futuras necesidades expandidas, o el "experto en diagnósticos" que requiere una solución para aplicaciones universales. Actualmente la Industria azucarera cubana dispone de 59 instrumentos, 47 para Ingenios y 12 con el módulo dos activado para centros provinciales de servicios.

Características

- Analizador FFT, recopilador de datos y equilibrador de campo en un instrumento
- Diálogo de operador fácil de entender en muchos idiomas (10)
- Compacto (255x90x50 mm), liviano (peso aproximado de 900 g (2 lb)
- Larga vida del instrumento a través de funciones de medición modulares y ampliables para el desarrollo futuro
- Se pueden usar sensores de aceleración, velocidad y desplazamiento estándar
- Instrumento genuino de 2 canales con medición de velocidad
- Procesador de señal digital de alta tecnología (DSP)
- Alta precisión de medición
- Brillante pantalla LCD gráfica de alto contraste con luz de fondo

Capítulo II. Metodologías de medición

- Capacidad de almacenamiento ilimitada y alta seguridad para los datos medidos a través de la tarjeta de PC incorporada

El personal calificado para operar con este equipo es muy escaso por lo que un mismo técnico ha tenido que atender a más de un ingenio en varias ocasiones. Es necesario capacitar personal de las UEB en la operación de este equipo.

El Vibrotest 60 mostrado en la Figura 2.1 es el instrumento con el que se aplicó el diagnóstico, está concebido según lo que expresa el fabricante, específicamente, con el propósito de hacer mediciones de nivel global de la vibración, es la concepción de un instrumento de medición técnicamente diseñado para la evaluación de la condición de las máquinas, diagnósticos daños y fallos, que permiten la implantación de estrategias de mantenimientos. **(Manual del Vibrotest 60)**



Figura 2.1 Controles y accesorios del Vibrotest 60. (Elaboración propia)

El concepto modular del Vibrotest 60 permite combinaciones individuales de las funciones de medición y, por lo tanto, amplía el número de aplicaciones. Los módulos funcionales del instrumento pueden expandirse en cualquier

Análisis de la influencia de las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la industria azucarera

Capítulo II. Metodologías de medición
momento y el desarrollo futuro de las funciones de medición puede complementarse fácilmente. **(Manual del Vibrotest 60)**

Al Vibrotest 60 se le pueden añadir distintos Módulos, en la Tabla 2.1, que fue tomada del manual, se expresa el alcance del equipo para el módulo 1, el fabricante vende el equipo con solo este activado, para adquirir los demás es necesario comprar un código al fabricante para activarlo, el costo es de 2000 USD. Para nuestro país es cara la activación de estos elementos, en la empresa ZETI, existe este mismo equipo con el módulo dos activado y presta servicio a las fábricas mediante contratos de manera que el mismo es único de su tipo en la provincia.

Módulo 1	Funciones
Valores globales para la evaluación de máquinas	<ul style="list-style-type: none"> • Vibraciones absolutas en cojinetes • Vibraciones relativas del eje • BCU • Valores de proceso • Función Listado • Medición de velocidad

Tabla 2. 4 Módulo 1 del vibrotest 60. (Manual vibrotest 60)

El transductor es el elemento que transforma la vibración mecánica en una señal eléctrica analógica, para ser procesada, medida y analizada. Atendiendo a su principio constructivo. Existen transductores de vibración de desplazamiento, velocidad y aceleración, cada uno de ellos es más o menos idóneo a cada aplicación industrial. **(Jiménez, D 2012)**

Capítulo II. Metodologías de medición

Uno de los primeros transductores fue el dedo humano, uno todavía más básico y mucho más sensible, es el órgano lateral lineal de los peces. Los tipos diferentes de transductores responden a parámetros diferentes de la fuente de vibración. **(Carrella, Alfredo.R, 2008)**. Existen muchos tipos de transductores para la obtención de lecturas, el sensor que tiene el equipo para efectuar las mediciones es el acelerómetro piezoeléctrico 65 mostrado en la Figura 2.2. Este tipo de transductor genera una tensión eléctrica proporcional a la aceleración, por presión sobre un cristal piezoeléctrico.

Un acelerómetro piezoeléctrico puede captar con precisión señales entre 1 Hz y 15 000 Hz. Estos dispositivos son muy apropiados para tomar datos de vibración a alta frecuencia, donde aparecen grandes esfuerzos con desplazamientos relativamente pequeños. Algunos transductores especiales pueden medir frecuencias mucho más bajas y también mucho más altas. La recogida de datos de vibración a altas frecuencias depende del medio de fijación del transductor a la máquina. **(Iporre, J., 2010)**. El acelerómetro que proporciona el fabricante se suministra con fijación por soporte magnético y un puntero como se puede apreciar en la figura 2.3. Es el transductor estándar para la medición de vibraciones ya que su señal de salida puede integrarse sin pérdida de información. **(Echeverry, J., 2013)**



Figura 2.2 Acelerómetro piezoeléctrico
(Manual vibrotest 60)



Figura 2.3 Soportes del acelerómetro.
(Elaboración propia)

Capítulo II. Metodologías de medición

2.2 Metodología para la aplicación del diagnóstico por vibraciones con el Vibrotest 60 activado con el 1er módulo.

Toda la maquinaria está sujeta a ciertos niveles de vibración, sin embargo es importante reconocer si se encuentra dentro de los límites permisibles. Una buena base de partida es utilizar los límites de severidad contenidos en la norma ISO 10816, esta norma reemplaza la norma ISO 2372 y la ISO 3945. En estas normas se estipulan las posiciones de medición así como los límites máximos permisibles por clase de equipo. Así pues, esta norma servirá como base para determinar la integridad de la maquinaria y un criterio de aceptación en el caso de maquinaria nueva o reconstruida. La norma expresa los puntos de medición, el autor empleará la metodología de la norma con otros pasos a seguir.

Para muchas máquinas, las mediciones realizadas sobre partes no rotatorias son suficientes para caracterizar adecuadamente sus condiciones de operación con respecto a la operación libre de problemas. Se definen los tres principales parámetros de medición (desplazamiento, velocidad y aceleración) y se establecen sus limitaciones. La observancia de las directrices presentadas debe, en la mayoría de los casos, asegurar la realización satisfactoria del servicio. La ISO 10816 establece las condiciones generales y los procedimientos para la medición y evaluación de las vibraciones, empleando mediciones realizadas en partes no rotatorias, donde sea aplicable y en partes no recíprocas de las máquinas. Los criterios para la evaluación general se presentan en términos de la magnitud de la vibración y del cambio de la vibración, relativos al monitoreo de la operación y las pruebas de aceptación. Estos criterios han sido proporcionados atendiendo principalmente a la obtención de confiabilidad y larga operación de la máquina, a la vez que se minimizan los efectos adversos sobre el equipamiento asociado. También se presentan directrices para establecer los valores límites de operación.

(NC-ISO 10816-1)

2.2.1 Alcance del Vibrotest 60

La persona encargada de realizar el diagnóstico debe dominar las características del Vibrotest 60 o bien dominar el manual del fabricante. Debe saber cuáles son

Capítulo II. Metodologías de medición

los parámetros de la vibración que permite obtener el equipo. Las características de la vibración describen la disponibilidad técnica del equipo a medir.

El Vibrotest está equipado con un acelerómetro piezoeléctrico 65, si tiene activado solo el módulo uno, los parámetros que brinda son: velocidad de la vibración, parámetro extremadamente importante, utilizado cuando se desea evaluar el estado general de la máquina, aceleración, BCU y gravedad son parámetros que informan sobre el estado técnico del rodamiento. El desplazamiento muestra, en función de la velocidad de la máquina, la severidad de la vibración.

La interpretación correcta de los parámetros, permite valorar el funcionamiento del equipo a evaluar lo que facilita la programación de intervenciones a la maquinaria. Es notable saber que la norma trabaja con parámetros expresados en Root Mean Square o valor eficaz (RMS), que es el valor medio cuadrático da la medida de la energía con que es emitida la señal y puede ser determinado promediando los valores cuadráticos de cada punto de la muestra en un intervalo de tiempo definido. **(Llanos, E.2014)**

Se formula por la raíz cuadrada de la media aritmética de un conjunto de valores instantáneos elevados al cuadrado. **(Echeverry, J., 2013)**. En la actualidad todos los equipos de análisis de vibraciones trabajan con estos valores al igual que el Vibrotest 60 expresados por la siguiente formula:

$$Y_{RMS} = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_n^2}{N}}$$

Y_{RMS} = *valor eficaz*

y^2 = *valores de magnitudes en RMS*

N = *tamaño de la muestra*

También está expresada por la siguiente ecuación:

$$Y_{RMS} = \frac{A}{\sqrt{2}} = 0.707 * y_{pico}$$

Y_{RMS} = valor eficaz

A = amplitud de la magnitud

Y_{pico} = valor pico de la amplitud

El valor pico es el valor máximo de una magnitud que varía durante cierto intervalo de tiempo. El valor pico-pico de un evento oscilatorio es la diferencia algebraica entre los valores extremos de una magnitud que varía durante cierto intervalo de tiempo. El periodo de una vibración armónica es el tiempo necesario para regresar a la misma situación que el punto de partida. El valor de RMS describe una onda sinusoidal según la gráfica de la figura 2.4. **(NC-ISO 10816-1)**

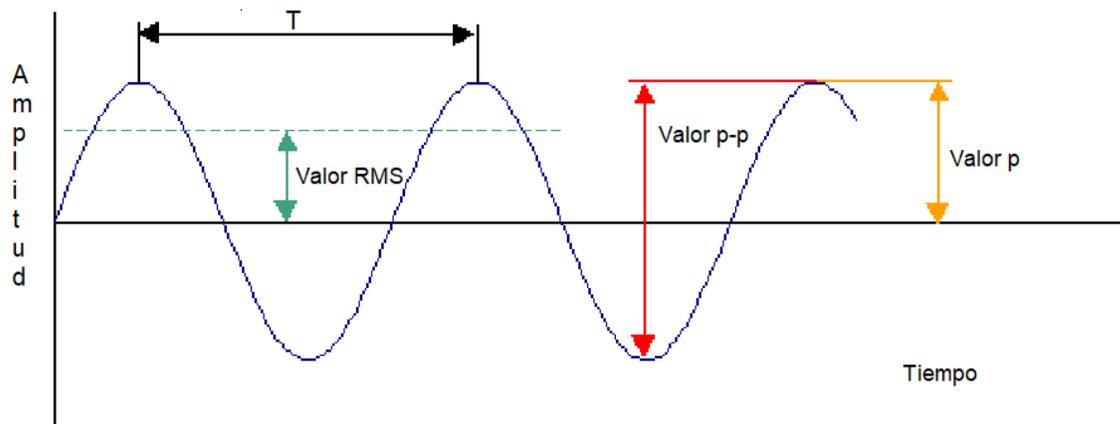


Figura 2.4 Representación gráfica del valor RMS (Carrella, Alfredo.R, 2008)

2.2.2 Puntos de medición

Para definir en qué punto medir y como medir, el especialista en diagnóstico, debe conocer lo mejor posible el equipo a evaluar, cada máquina tiene una vibración de trabajo propia, con años de trabajo en la misma maquinaria es posible detectar anomalías con un diagnóstico auditivo o mediante el tacto con la mano, la experiencia es indispensable para ello. Antes de medir los parámetros, la máquina está sujeta a una serie de pasos aplicados por el autor obteniendo buenos resultados.

Capítulo II. Metodologías de medición

- Se deberá inspeccionar el estado de la base del conjunto para asegurarse que se encuentre firmemente anclado, o en su caso, si existen aisladores de vibración, que se encuentren en buenas condiciones. Lo anterior es de primordial importancia, dado que las bases son el único medio de sujeción de la maquinaria. Si la base se encuentra suelta o en malas condiciones, cualquier vibración adicional proveniente de los elementos de la maquinaria se verá seriamente amplificada por esta mala sujeción.
- Identificar con las yemas de los dedos posibles solturas existentes entre superficies, como son patas de motores hacia sus bases, bases hacia cimientos, placas base hacia bases metálicas, tapas delanteras y traseras en motores.
- Preguntar siempre al personal encargado de la maquinaria si han existido cambios en el proceso o acciones de mantenimiento. Es probable que el problema se deba a un cambio efectuado, por más insignificante que éste parezca. Cambios en velocidades de giro, en condiciones de carga para bases reforzadas, pueden ser la clave para localizar el problema aún sin la necesidad de utilizar el instrumento.

En las fábricas siempre habrá presencia de rotores en motores eléctricos, generadores o en ventiladores, la norma ISO 10816 en la Figura 2.5 muestra los puntos de medición para un rotor.

Capítulo II. Metodologías de medición

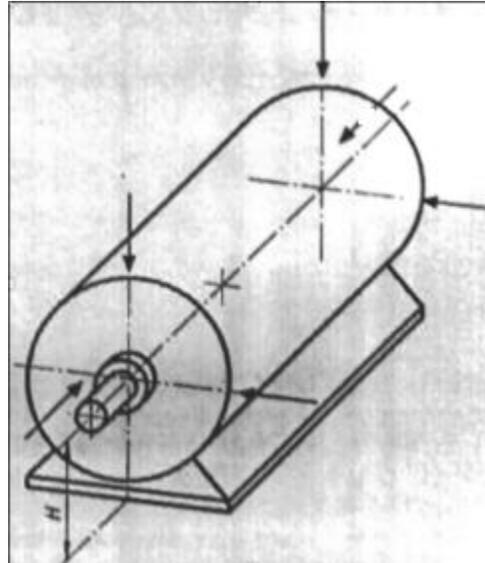
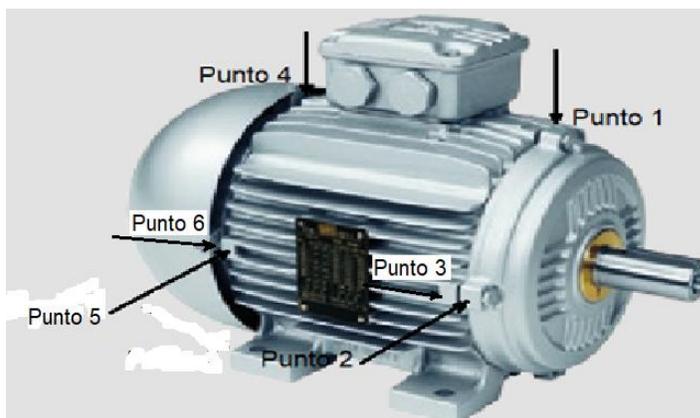


Figura 2.5 Puntos de medición para un rotor según ISO 10816.

Para colocar el sensor o acelerómetro 65 utilizando el soporte magnético, debe estar limpia toda la zona del imán, muchas veces acumula partículas ferrosas y es de cuidado especial evitar impactos, una caída provocaría daños en el funcionamiento del sensor. La superficie debe estar lo más limpia posible y con la menor rugosidad, para ello se utilizan cepillos de acero, espátulas o lijas. En algunos casos la geometría del equipo no permite usar el acelerómetro, en su defecto se usa el puntero. La figura 2.6 muestra los puntos para tomar lecturas en un motor eléctrico, basado en lo descrito en la norma las lecturas siempre se tomarán en los apoyos donde se encuentran los cojinetes, en las verticales debe coincidir el sensor con el centro del apoyo del eje que es donde está situado el cojinete, por la horizontal deben encontrarse en línea con el centro del rodamiento.



Análisis de la influencia de las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la industria azucarera

Capítulo II. Metodologías de medición

Figura 2.6 Puntos de medición en un motor eléctrico. (Publicado en internet y modificado)

La base del motor es otra zona donde se debe medir. Con el tiempo las bases se deterioran debido que se encuentran en ambientes agresivos, factores como corrosión la debilitan. Para el concreto se usa el puntero. Ya se conocen todos los puntos de medición en un motor eléctrico.

El Vibrotest 60 con el módulo uno solo permite realizar mediciones globales, pero los parámetros se toman en puntos específicos, ejemplo la aceleración de la vibración, es incorrecto obtener el valor colocando el sensor por la vertical. La siguiente tabla muestra los principales parámetros que se pueden tomar en cada punto.

Características de la vibración	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
Velocidad	X	x	x	x	x	x
BCU		x	x			
Aceleración		x	x			
Desplazamiento	X	x	x	x		

Tabla 2. 5 Colocación del sensor en función del parámetro a medir en los puntos de un motor eléctrico. (Elaboración Propia)

Todos los puntos quedan caracterizados por la ubicación del cojinete. El insuficiente apriete mecánico solo es un amplificador de la vibración en esta zona de modo que las lecturas de la velocidad lineal de la vibración se obtendrán por la horizontal, vertical y axial. El BCU es un valor adimensional que se toma por la horizontal y que el Vibrotest 60 brinda en conjunto con el valor de la velocidad.

Otro equipo a evaluar serían las bombas, la figura 2.7 muestra una bomba. Los puntos 1 y 2 es donde se encuentra el cojinete, estos equipos tienen acopladas tuberías, las cuales se deben de revisar con el tacto de la mano y chequear si presentan altas vibraciones las cuales son transmitidas a la bomba. Es posible que

Capítulo II. Metodologías de medición

existan salideros en tuberías que vierten líquidos sobre la bomba, en casos como en los ingenios la meladura es difícil de quitar cuando seca encima del equipo, se hace necesario limpieza con cepillos de aceros para preparar el área donde se colocará el sensor.

Los puntos de referencia para tomar los parámetros de la vibración referenciados en la figura 2.7 es donde se encuentran ubicados los apoyos en cojinetes. Para tomar los parámetros se procede de igual manera que en el equipo anterior, colocando el sensor en los mismos puntos y extrayendo las lecturas por parámetros según la tabla 2.2.

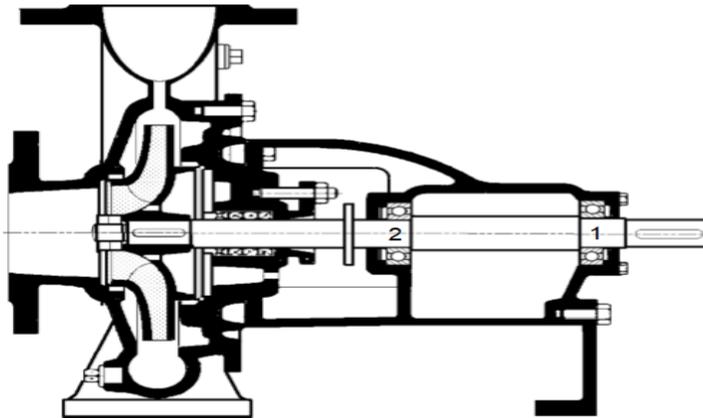


Figura 2.7 Puntos de medición en una bomba. (Llanos, E.2014)

Los equipos como ventiladores de tiro forzado o inducidos, como muestra la figura 2.8, cuentan con apoyos de pedestales donde están alojados los cojinetes. Los apoyos de pedestales son otras zonas muy importantes para la toma de parámetros de vibración. La figura 2.9 de la norma ISO 10816 recomienda los puntos a medir.

Capítulo II. Metodologías de medición

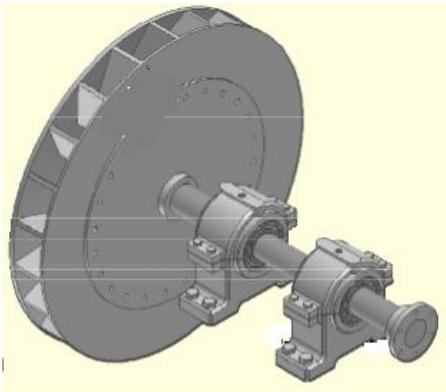


Figura 2.8 Rotor de un ventilador.
(Palomino, 2012,)

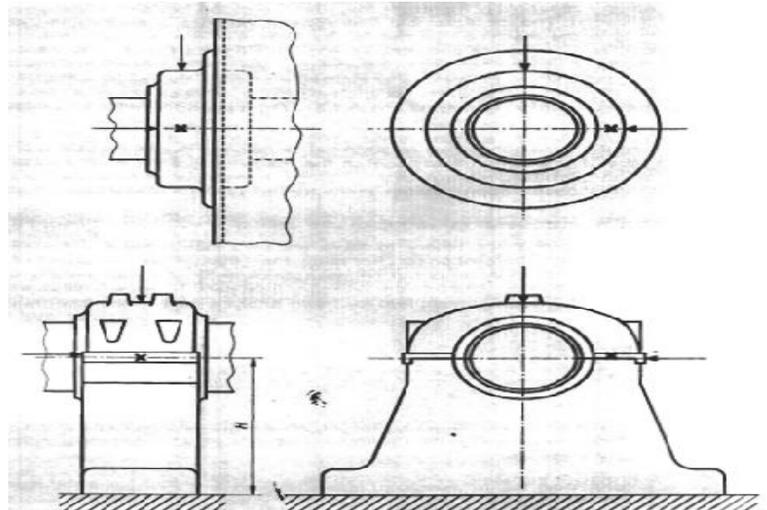


Figura 2.9 Puntos de medición en pedestales. (Palomino, 2012, p 17)

Se procede del mismo modo, siempre se tomarán las lecturas en los puntos donde están situados los apoyos, en las verticales horizontales y axiales, no se deben cometer errores como en la zona B y D de la figura 10 cuando se coloca el sensor para obtener las lecturas de los parámetros, siendo A el punto correcto en la vertical y C el punto correcto en la axial.

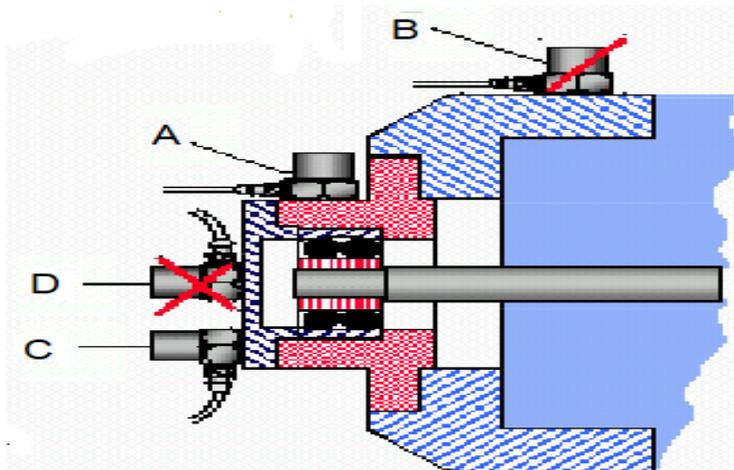


Figura 2.10 Colocación del sensor para un apoyo de cojinetes. (Publicado en internet y modificado)

Capítulo II. Metodologías de medición

Los reductores dependen de su modelo, en los ingenios abundan muchos los que tienen 6 apoyos en rodamientos, el diagnóstico se aplica de igual manera.

2.2.3 Mediciones periódicas

Es necesario un sistema de mediciones periódicas, con ello es posible ir construyendo un historial de lecturas, la bibliografía estudiada expresa que este es el mejor método para evaluar el estado del equipo y evolución de parámetros. El vibrotest 60 cuenta con un colector de datos y una tarjeta de memoria donde se almacena la información, tiene un software que se instala en una computadora al igual que el colector de datos y grafica los valores obtenidos, para instalar el programa se necesita un código que muchos no tienen, en su defecto se plasmará los valores obtenidos en un documento y luego se insertarán en un programa que permita la construcción del histograma de frecuencia. Las mediciones priorizarán la maquinaria de más importancia, en este caso corresponde a los equipos de la línea principal de la fábrica, aquellos que en caso de avería pondrían fin al proceso productivo.

Las lecturas serán más sistemáticas en estas máquinas debido a su importancia y peligro a la vida del obrero que puede ofrecer un mal funcionamiento. Los modelos de la toma de datos contarán con la fecha y hora en que se tomó la lectura y es necesario que se describan las reparaciones, averías o exámenes que se realicen de los equipos. Estos datos se obtienen en el libro de incidencias que se actualiza diario.

2.2.4 Detección del problema

Para detectar un problema en la maquinaria es necesario saber aplicar normas de acuerdo al tipo de máquina que se está estudiando y que trabajen con valores de referencia en RMS como es el caso de la norma aplicada y el equipo utilizado que brinda parámetros en un valor eficaz. Si se tiene algún parámetro otorgado por el fabricante se usa como referencia.

Cuando se realizan lecturas de medición se revisa la norma y se compara el valor obtenido con el de la norma, con la medición de la velocidad lineal de la vibración se conoce el estado general en que se encuentra el equipo. La norma ofrece

Capítulo II. Metodologías de medición

varias clasificaciones, pero la mejor información del estado de la máquina, en opinión de muchos especialistas, es el análisis de tendencia.

La aceleración y el BCU clasifican el estado técnico del cojinete teniendo en cuenta mediciones iniciales en el rodamiento y relaciones entre diámetros del mismo con velocidad de operación. El desplazamiento y la velocidad nominal del equipo objeto de estudio clasifica la severidad de la vibración en un nomograma. Con el módulo dos activado en el Vibrotest se puede detectar este problema realizando espectros, aunque se detectan problemas como los anteriores no es posible determinar el defecto. Se puede saber que un rodamiento está en mal estado, pero no si es una discontinuidad en la pista exterior, interior, en la jaula o bolas, para ello es necesario realizar espectros de aceleración en altas frecuencia.

2.2.5 Detección de desbalance de masa

El desbalance de masa a pesar de no tener el módulo dos activado, lo que impide la ejecución de espectros, es posible detectarlo. Este problema muy común en la máquina rotatoria sobre todo en los ventiladores es detectable a la frecuencia fundamental incluso realizando espectros. Para el caso de mediciones globales la frecuencia fundamental es la velocidad de operación de la máquina y si no existe otro problema es posible detectarlo midiendo la velocidad lineal de la vibración por la horizontal, la cual reflejará altos valores en el display. En la realización de espectros es apreciado a 1X, o sea la primera armónica, que es la frecuencia fundamental. (Palomino, 2012)

2.2.6 Detección del desalineamiento

Un gran problema es la falta de alineamiento en las máquinas rotatorias, es indispensable medir el ángulo de fase que se obtiene activando el último módulo del Vibrotest para clasificar el tipo de desalineamiento. Con mediciones globales de la vibración lineal y a la frecuencia fundamental es posible detectarlo obteniendo altas lecturas en la dirección axial. Así siempre que exista una alta vibración en axial y radial, y si la axial es mayor que la mitad de la radial puede existir un problema de desalineación o eje torcido, con poca excitación en los demás puntos. Cuando esto ocurre existe una desalineación angular. Obteniendo valores radiales fuera de lo admisible en todos los puntos, es un buen síntoma de

Capítulo II. Metodologías de medición

desalineación, pero se desconoce de qué tipo. La mejor información se obtiene con la realización de espectros, con el módulo dos activado se tiene identificado el 80% de los problemas según lo expresado por Palomino. **(Palomino, 2012)** Es importante destacar que siempre existe una desalineación combinada y que no existe un alineamiento perfecto. **(Morales Castillo, F. 2016)**

2.2.7 Pronóstico del fallo

Es posible detectar una falla con mediciones globales, los nomogramas de severidad establecen valores de referencia donde ubican al equipo en distintas zonas desde bien hasta excesivo en cuanto a vibraciones, en este último es donde hay posible avería por vibraciones porque existe un problema, pero no expresa cuando va a ocurrir la avería en el equipo. De igual manera pasa cuando se analiza un rodamiento, los estados de precaución y rodamiento dañado, clasifican al rodamiento. Se puede saber cuándo está en un período de cambio, pero no cuándo cambiarlo exactamente. La mejor información será la evolución del histograma.

La calidad del rodamiento es un factor de confiabilidad para los períodos de cambios en caso de que se encuentren en etapa de rodamiento dañado. Se han tomado rodamientos como los KG que compran y circulan en la industria del azúcar, se han notado por varios años, con pequeños impactos y con deformaciones plásticas. Este un rodamiento de mala calidad por lo que es muy importante la trazabilidad del producto a comprar. Muchas veces no se cuenta con documentos de trazabilidad, en el caso de los rodamientos.

En la tabla 2.3 se muestra una clasificación otorgada por Rodabilsa, que relaciona al país productor y la marca del cojinete.

Capítulo II. Metodologías de medición

Calidad del rodamiento	Marca de rodamiento	País de fabricación
1ra Calidad	SKF	Suecia y Alemania
	FAG	Alemania
	TINKEM	USA
	INA	Alemania
2da Calidad	KFB	Alemania
	KOYO	Japón
	NKE	Austria
	ZKL	República Checa y Eslovaca
	NSK	Japón
	NTN	Japón
3ra Calidad	GPZ	Rusia
	URB	Rumania
	FTL	Polonia
	CX	Hungría

Tabla 2. 6 Calidad del rodamiento según criterio de Rodabilsa

Para el pronóstico del fallo solo se puede ubicar al equipo o cojinetes en etapas de cambio, posible averías o daño por altas vibraciones, pero la evolución del comportamiento de los parámetros es distinta para cojinetes que trabajan en las mismas condiciones, pero de diferentes calidades.

Capítulo II. Metodologías de medición

Un rodamiento de tercera calidad trabajando en las mismas condiciones que uno de primera calidad será evidente en el análisis de tendencia el deterioro. El de menos calidad, además de tener en cuenta que las estadísticas mundiales expresan que el 90% de los rodamientos no cumple con su vida útil por diferentes factores. Por lo que cuando se está en presencia de altas vibraciones en la máquina es necesario una revisión de la misma si se sobrepasan los parámetros que la clasifican según la norma en posible daño por vibraciones. De igual manera pasa cuando los rodamientos están próximos a la etapa de rodamiento dañado se debe planificar una intervención y no esperar a un daño inminente sobre todo en esta etapa. En base a estas informaciones se planifica un mantenimiento correctivo.

2.2.8 Planificación de la intervención

Se debe planificar la intervención a la máquina. Todos los días en los consejillos serán expuestos los análisis del diagnóstico en una fábrica, cuando se está en presencia de un rodamiento en la zona de mal estado o próximo a ella, es necesario tener el rodamiento de repuesto.

Se pueden trazar estrategias para máquinas que tienen repuesto. Se detiene una y continúa en el proceso la otra, los rodamientos se piden antes de que el mismo llegue a la zona de mal estado. Muchas veces no se tiene el rodamiento en el almacén y se necesita tiempo para suplir la necesidad. El mecánico encargado del área debe estar informado y con todas las herramientas, llaves, calibrador, extractor y lubricación, las empaquetaduras y juntas son elementos que no siempre se tienen a mano.

Las paradas por falta de caña o porque el clima no permite el corte de la misma en la industria azucarera son una oportunidad. Muchas veces se tienen varios equipos con mal funcionamiento y se planifica de igual manera para trabajar simultáneamente. Cuando existen problemas en las turbinas de vapor o en el generador, si su potencia lo permite (caso del ingenio Ifraín Alfonso) se saca uno del proceso y se deja el otro trabajando.

Capítulo II. Metodologías de medición

Se opta por trabajar con solo dos centrífugas de primera de un total de cinco para que no sufra mucho el único turbogenerador trabajando. Después de la intervención todo vuelve a su normalidad. Existe mucho trabajo de taller para problemas en acoplamientos, se debe estar preparado con pines de repuesto y tacos de gomas para reemplazar. Después de una intervención a un equipo es necesario volver a realizar mediciones para ver el comportamiento de los parámetros y efectividad del trabajo realizado.

2.3 Calificación de los operarios.

Área energética los equipos analizados que pertenecen a esta son:

Ventilador de tiro forzado

Ventilador de tiro inducido

Ventilador de aire auxiliar

Denominación del cargo: Operador de Calderas

FUNCIONES ESPECÍFICAS:

- Opera automatizadamente, mediante paneles de control o a través de los operadores de calderas la planta de vapor en los ingenios azucareros.
- Realiza operativamente las coordinaciones necesarias con el resto de las áreas de la fábrica para mantener el adecuado balance energético en la operación.
- Mantiene constante vigilancia sobre los sistemas de seguridad y protección.
- Vigila los parámetros de operación preestablecidos en el proceso.

Calificación: Técnico medio con curso de habilitación y entrenamiento en el puesto certificado como Operador de Caldera.

Denominación del cargo: Alimentador de combustible

FUNCIONES ESPECÍFICAS:

Análisis de la influencia de las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la industria azucarera

Capítulo II. Metodologías de medición

- Opera calderas de vapor acuatubulares que utilicen combustibles sólidos o líquidos así como sus equipos auxiliares como: bombas, de alimentar calderas, sopladores de hollín, ventiladores y otros relacionados con la operación del equipo.
- Alimenta con combustible los hornos de acuerdo a la demanda del proceso.
- Mantiene constante vigilancia sobre los sistemas de seguridad y protección y los parámetros de operación preestablecidos.

Nivel escolar: Obrero calificado

Área de molienda. El equipo analizado en esta área es:

La Desfibradora

Denominación del cargo: Moledor

FUNCIONES ESPECÍFICAS:

- Mantiene la operación de la planta moledora.
- Vela que los parámetros de operación se mantengan en los rangos establecidos.
- Asesora a los operadores de la planta moledora.
- Interviene en el mantenimiento y reparación de su área durante las roturas y paradas programadas.
- Supervisa y controla el engrase y lubricación de los equipos que opera.

Nivel Medio con curso de habilitación y entrenamiento en el puesto.

Área de cristalización equipo analizado en esta área es:

La bomba de meladura

Denominación del cargo: Operador de Evaporadores

Análisis de la influencia de las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la industria azucarera

Capítulo II. Metodologías de medición

FUNCIONES ESPECÍFICAS:

- Opera clarificadores, plantas de sulfatación y plantas de tratamiento de agua, filtros de licor, tanques y clarificadores del proceso de refinación de azúcar, los equipos auxiliares, plantas de tratamiento térmico y desaeradores de la planta de tratamiento térmico y bombas.
- Realiza operaciones en tachos que le indica el puntista (auxiliar de tachos) y la lectura en los instrumentos de medición con la periodicidad establecida.
- Abre y cierra válvulas y compuertas.
- Vela porque cada equipo contenga los niveles de productos adecuados.
- Controla el régimen de funcionamiento del equipo y mantiene en los niveles establecidos la temperatura de trabajo, el vacío y la presión entre otros indicadores.

Nivel Medio Superior: Con curso de habilitación y entrenamiento en el puesto.

El mecánico agroindustrial “A” está presente en todas las áreas del ingenio por lo que se dará una sola calificación.

Denominación del cargo: Mecánico integral agroindustrial “A”.

FUNCIONES ESPECÍFICAS:

- Monta y alinea prensas y pre-prensas de tableros aglomerados, máquinas empacadoras de bagazo, máquinas lijadoras de tableros, centrifugas separadoras y atomizadores de levadura.
- Nivelada, alinea, monta y acopla las cuchillas picadoras y desfibradoras y sus elementos motores, balancea dinámicamente sus ejes con sus soportes y voladores, machetes y martillos antes de instalarlos.

Análisis de la influencia de las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la industria azucarera

Capítulo II. Metodologías de medición

- Utiliza equipos de comprobación no destructivos tales como ultrasonidos de fallas, de espesores, vibraciones y otros para determinar el estado de los equipos y de los rodamientos, válvulas, tuberías y otros.

Técnico Medio con curso de habilitación y/o entrenamiento en el puesto.

2.4 Conclusiones Parciales

- El equipo empleado en la UEB Ifraín Alfonso posee un elevado costo inicial de 3000 USD y además cada módulo complementario tiene un costo de 2000 USD pero cuando se utiliza adecuadamente brinda una valiosa información que puede servir de base a la programación del mantenimiento de los equipos.
- En el pronóstico de fallo de un equipo debe tenerse en cuenta no solamente la magnitud de las vibraciones con respecto al tiempo sino también la calidad del rodamiento.
- Dentro de una misma unidad de producción algunos equipos pueden tener mayor importancia que otros teniendo en cuenta su importancia dentro de la línea de producción y su clasificación por la norma ISO 10816-3 (Anexo 1).
- En general se puede plantear que la calificación de los trabajadores que operan los equipos seleccionados para el trabajo es adecuada desde el punto de vista de operación de dichos equipos, pero no lo es desde el punto de vista de la programación del mantenimiento.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín Alfonso.

En el presente capítulo se expone la realización de los análisis de vibraciones en los equipos seleccionados y la interpretación de los resultados de las lecturas en cada caso.

Para desarrollar el trabajo se realizaron 10 lecturas en cada equipo con un intervalo de 48 h entre ellas, por lo que la muestra abarcó un periodo de 2 decenas de zafra. Los resultados de las lecturas individuales aparecen en los anexos del 3 al 7 los cuales se graficaron en el presente capítulo.

El método consistió en leer independientemente los valores de la velocidad de la vibración y la aceleración de la misma en cada uno de los rodamientos de los equipos analizados e interpretar las lecturas mediante el conocimiento teórico que se establece en la literatura, la aplicación de la norma ISO 10816-3 y la utilización del método japonés de la aceleración.

En el trabajo se le denomina rodamiento 1 al que está del lado del acoplamiento del motor con el equipo y el rodamiento 2 al que se encuentra en el otro extremo.

3.1 Lecturas de las vibraciones en la bomba de meladura.

Este equipo sufrió graves problemas en la zafra por lo que fue necesario hacerle el cambio de rodamiento, de eje y se embujaron la tapa y el preñe.

Rodamiento 1

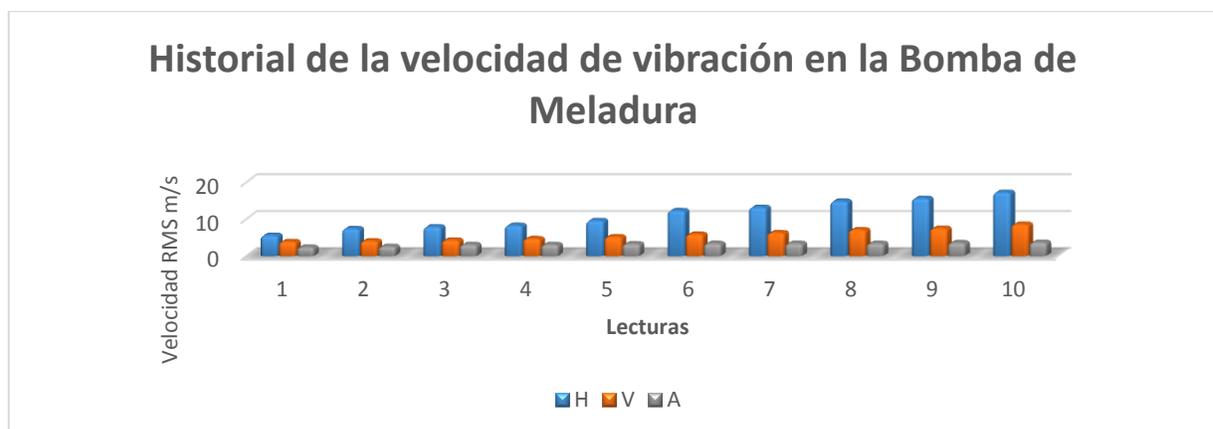


Figura 3.1 Historial de la velocidad de vibración en la Bomba de Meladura (Elaboración Propia)
Análisis de la influencia de las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la industria azucarera

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso

- El hecho de que el crecimiento de las velocidades se produzca básicamente en el eje horizontal indica que se está en presencia de un desbalance de masas como causante de la misma.
- Los valores se incrementaron con crecimientos no muy elevados desde 0 hasta 5 lecturas pero crecieron mucho más rápidamente al final del período, lo cual indica que el funcionamiento del equipo se va deteriorando progresivamente.
- Según la norma ISO 10816-3 este equipo se encuentra en el grupo 2 y tiene un fundamento rígido (Anexo 1). De acuerdo con esta misma norma está en posible daño desde la lectura 1 por vibraciones en el eje horizontal.

Rodamiento 1

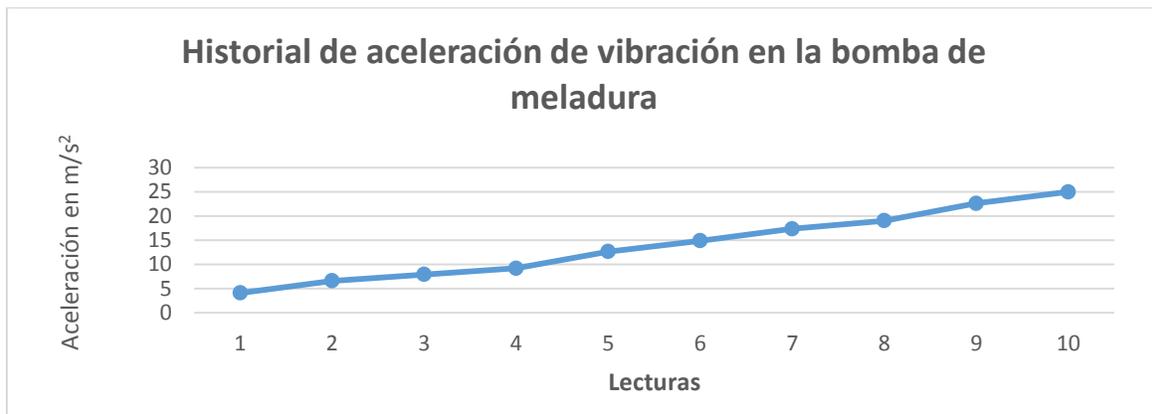


Figura 3.2 Historial de aceleración de vibración en la bomba de meladura (Elaboración Propia)

- Utilizando el método de la aceleración (Anexo 2) se puede ver que a partir de la lectura 4 el rodamiento se encuentra en precaución y en la lectura 10 el rodamiento está presentando problemas.
- En la próxima parada del central por cualquier causa se le debió realizar una revisión a este rodamiento para verificar su estado general y así evitar una rotura de urgencia.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso

- Como se pudo observar en el gráfico de las velocidades de la vibración este equipo presenta problemas de desbalance de masa y el método de la aceleración lo confirmó, por lo que se le debe realizar un balanceo al mismo para alargar la vida del rodamiento.

Rodamiento 2

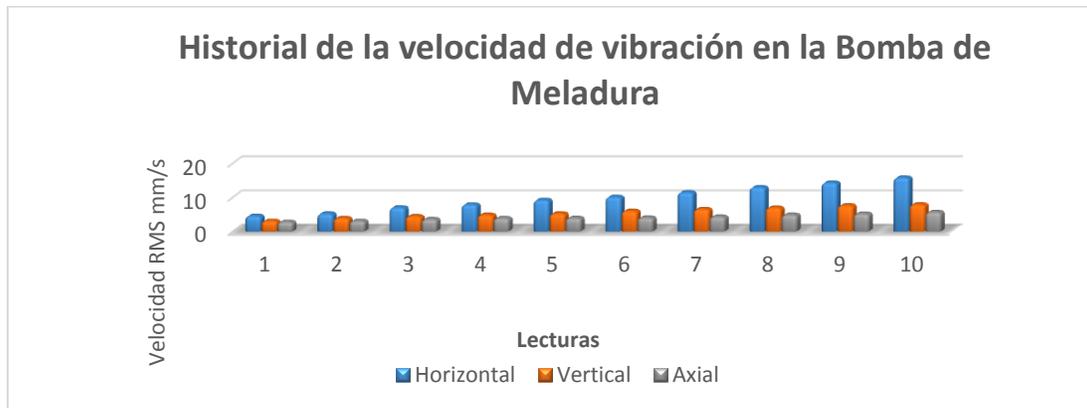


Figura 3.3 Historial de la velocidad de vibración en la Bomba de Meladura (Elaboración Propia)

- En el rodamiento 2 se puede observar un desfase también en el eje horizontal por lo que se está en presencia del mismo problema (desbalance de masas).
- En este rodamiento el crecimiento acelerado de la velocidad fue a partir de la lectura 5, como se puede ver en la gráfica.
- Este se encuentra en el grupo 2 según la norma ISO 10816-3 y tiene un fundamento rígido (Anexo1), por lo que también está en posible daño por vibraciones desde la lectura 1.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
 Alfonso
Rodamiento 2

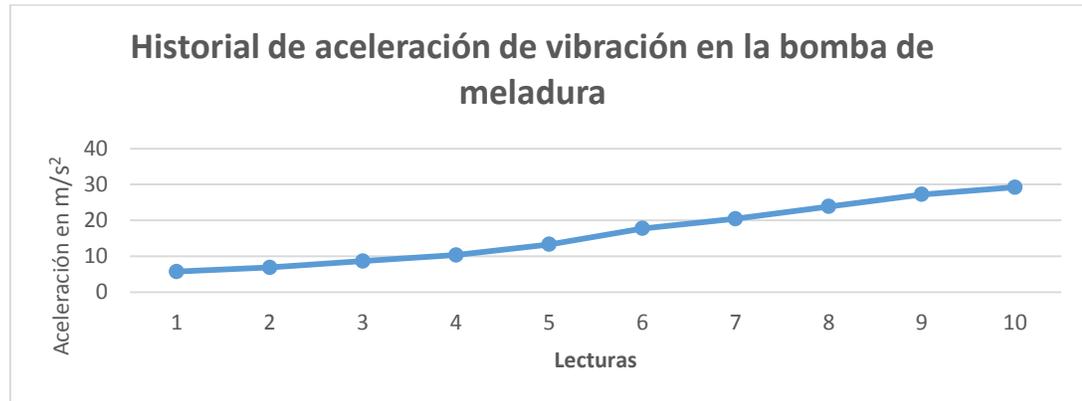


Figura 3.4 Historial de aceleración de vibración en la bomba de meladura (Elaboración Propia)

- Como se utilizó el método de la aceleración (Anexo 2) se puede ver que a partir de la lectura 3 el rodamiento se encuentra en precaución y en la lectura 8 ya el rodamiento se encuentra con problemas.
- Al igual que el rodamiento 1 este presenta problemas con desbalance de masas por sus altas velocidades en el eje horizontal.
- Para alargar la vida del rodamiento se debe realizar un balanceo en el equipo.

3.2 Lecturas de las vibraciones en el Ventilador de tiro forzado

En la anterior zafra este ventilador también tuvo problemas de vibraciones y fue necesario realizarle un balanceo de masas y cambio de rodamientos para que estuviera en óptimas condiciones para la zafra.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
 Alfonso
Rodamiento 1

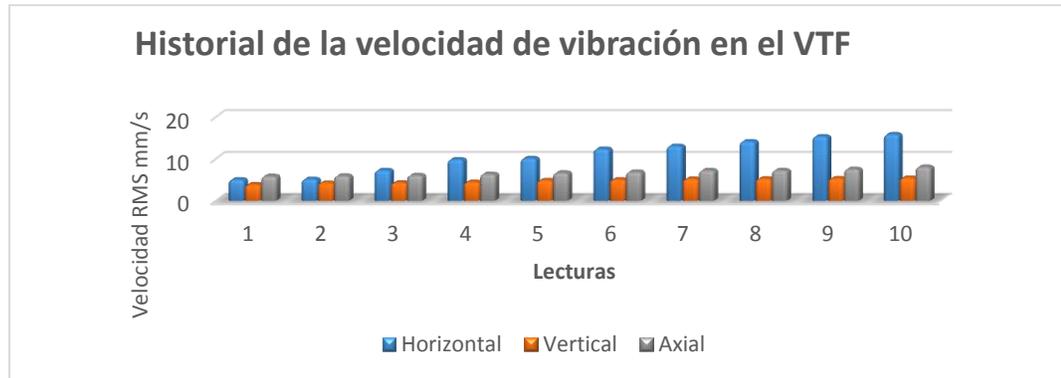


Figura 3.5 Historial de la velocidad de vibración en el VTF (Elaboración Propia)

- Este equipo presentó problemas con la velocidad en el eje horizontal, este desfasaje de la velocidad es causa de un desbalance de masas.
- Las lecturas de velocidades de las vibraciones aquí se mantienen estables hasta la 6ta medición, donde se puede notar un cambio brusco en los indicadores.
- Según la norma ISO 10816-3 este equipo se encuentra en el grupo 2 y tiene un fundamento flexible (anexo1), por lo que se encuentra en posible daño por vibraciones a partir de la 3ra lectura.

Rodamiento 1

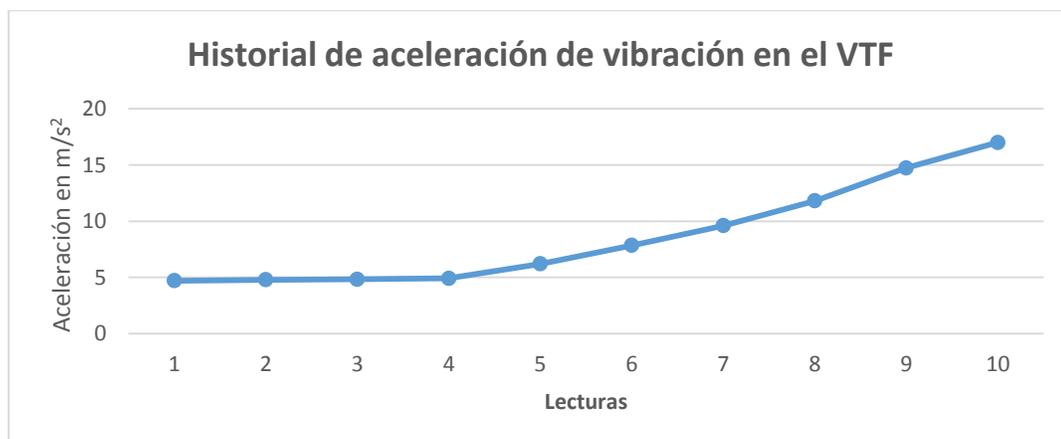


Figura 3.6 Historial de aceleración de vibración en el VTF (Elaboración Propia)

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso

- Utilizando el método de la aceleración se puede determinar que en la lectura 5 el rodamiento se encuentra en precaución y la lectura 9 ya está presentando problemas según este método.
- Se le debe realizar a este equipo un balanceo ya que el método de la aceleración confirmó que este tiene problemas y como se encontró un desfase en la velocidad del eje horizontal se está en presencia de un desbalance de masas.

Rodamiento 2

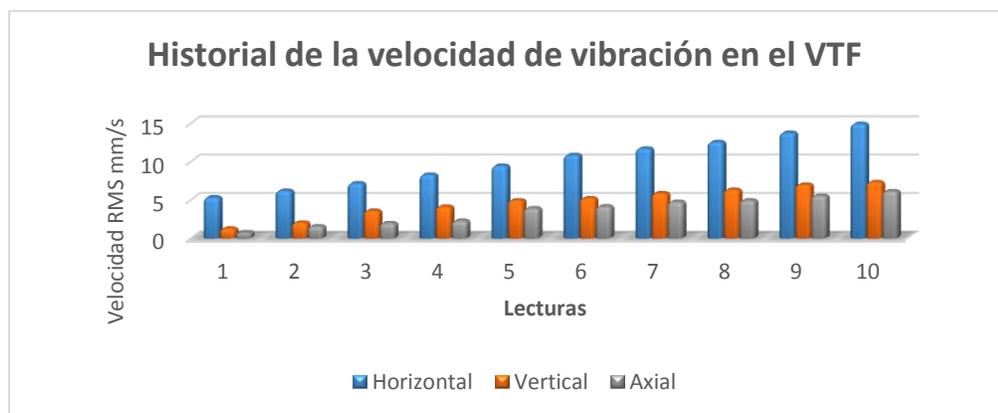


Figura 3.7 Historial de la velocidad de vibración en el VTF (Elaboración Propia)

- El rodamiento 2 del VTF mostró problemas con la velocidad en el eje horizontal, este desfase de la velocidad es causa de un desbalance de masas.
- Las lecturas de velocidades de las vibraciones aquí se mantienen estables hasta la 4ta medición, donde se puede apreciar un crecimiento elevado en los valores.
- Según la norma ISO 10816-3 este equipo se encuentra en el grupo 2 y tiene un fundamento flexible (Anexo1), por lo que se encuentra en posible daño por vibraciones a partir de la 7ma lectura.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso
Rodamiento 2

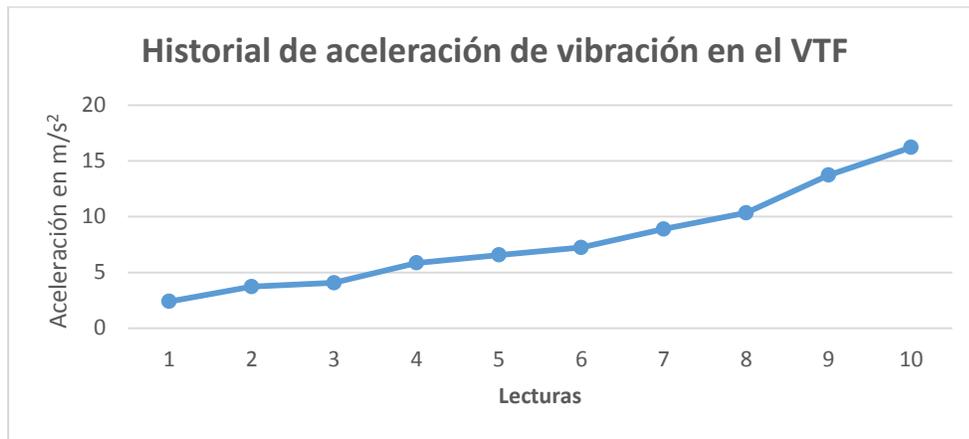


Figura 3.8 Historial de aceleración de vibración en el VTF (Elaboración Propia)

- En el método de la aceleración (Anexo 2) se puede ver que a partir de la lectura 4 el rodamiento se encuentra en precaución y en la lectura 10 ya se puede ver como el rodamiento está presentando problemas.
- Para un mejor funcionamiento del equipo y una vida útil del rodamiento más larga se le debe realizar un balanceo.

3.3 Lecturas de las vibraciones en el ventilador de aire secundario (VAS).

En la zafra 2016-2017 este equipo tuvo graves problemas de vibraciones y los especialistas le realizaron un balanceo de mazas, cambio de rodamientos y ajustes en los manguitos para que el equipo pudiera trabajar debidamente.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso
Rodamiento 1

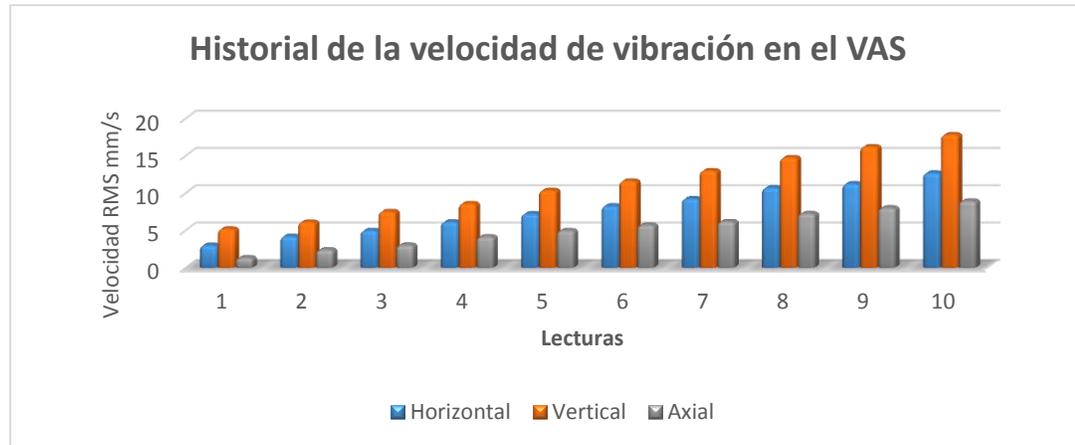


Figura 3.9 Historial de la velocidad de vibración en el VAS (Elaboración Propia)

- En este equipo se puede ver que la velocidad está alterada en el eje vertical por lo que estamos en presencia de un posible desalineamiento.
- A partir de la lectura 1 aparece un crecimiento exagerado de la velocidad de la vibración en el eje vertical por lo que hay que darle seguimiento al rodamiento.
- Según la norma ISO 10816-3 este equipo se encuentra en el grupo 2 y tiene un fundamento rígido (Anexo1), por lo que se encuentra en posible daño por vibraciones a partir de la 1ra lectura.

Rodamiento 1

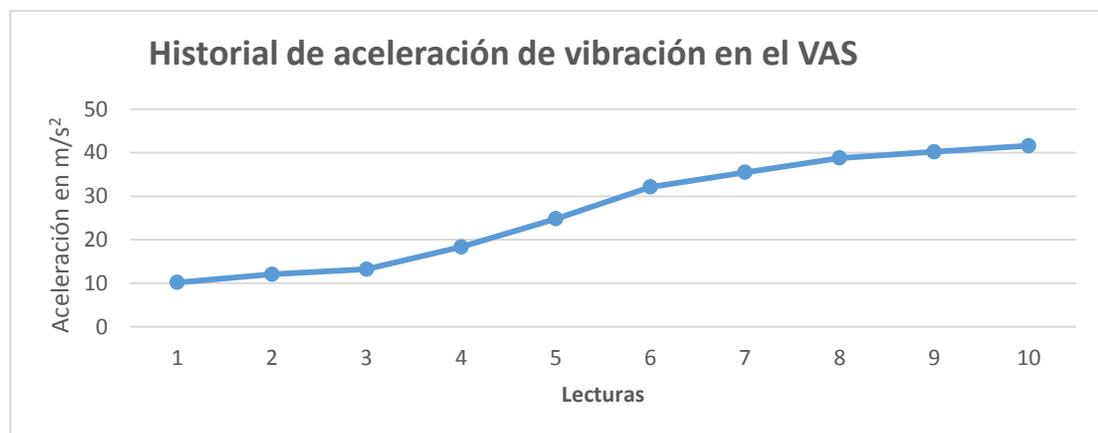


Figura 3.10 Historial de aceleración de vibración en el VAS (Elaboración Propia)

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso

- El rodamiento 1 del VAS según el método de la aceleración (Anexo 2) se encuentra en precaución a partir de la lectura 3 y en problemas a partir de la lectura 9.
- Se confirmó que este equipo está presentando problemas de vibraciones ya que tiene un alineamiento erróneo, por lo que se le debe realizar un correcto alineamiento para alargar la vida del rodamiento.

Rodamiento 2

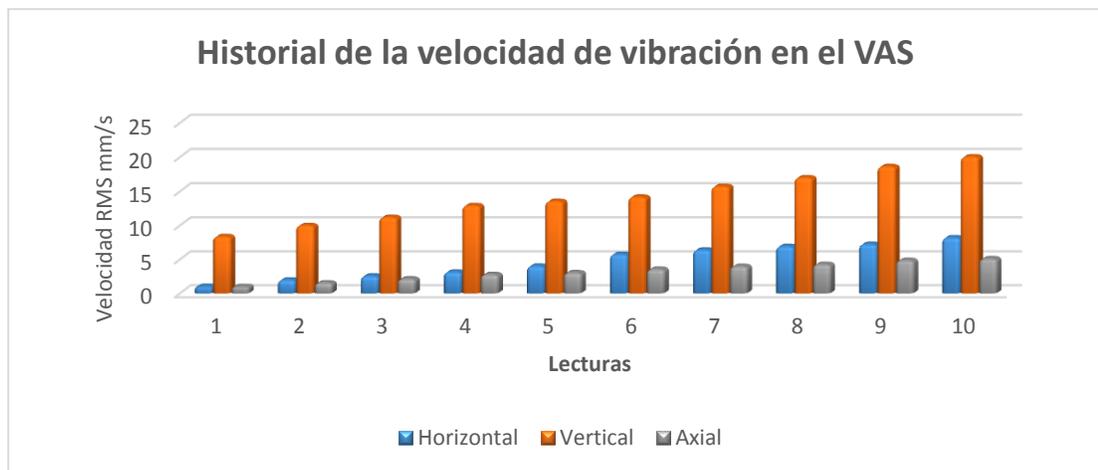


Figura 3.11 Historial de la velocidad de vibración en el VAS (Elaboración Propia)

- En el rodamiento 2 del VAS se puede ver que la velocidad está alterada en el eje vertical lo que indica un probable desalineamiento.
- Se le dio un seguimiento exhaustivo al rodamiento desde la lectura 1 por sus altos valores.
- Según la norma ISO 10816-3 este equipo se encuentra en el grupo 2 y tiene un fundamento rígido (Anexo1), por lo que se encuentra en posible daño por vibraciones desde la 1ra lectura.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso

Rodamiento 2

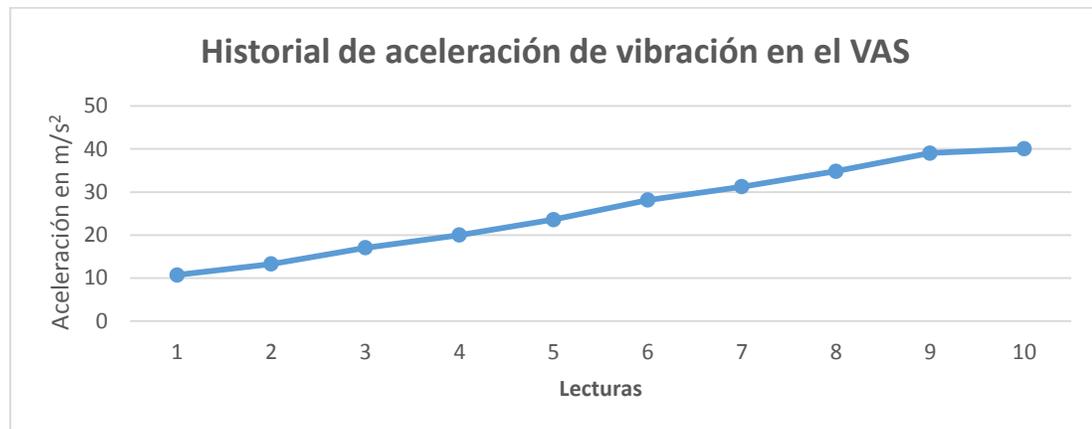


Figura 3.12 Historial de aceleración de vibración en el VAS (Elaboración Propia)

- El rodamiento 2 del VAS según el método de la aceleración (Anexo 2) se encuentra en precaución a partir de la lectura 2 y en problemas a partir de la lectura 9.
- Se reafirmó que el equipo está presentando problemas de vibraciones gracias a la incorrecta alineación, por lo que se le debe realizar un correcto alineamiento para alargar la vida del rodamiento.

3.4 Lecturas de las vibraciones en el ventilador de tiro inducido

En la zafra anterior este equipo tuvo problemas, aunque no tan graves ya que hubo que hacerle cambio de los pines del acoplamiento (presentó desalineación), ajustar los manguitos y también darle mantenimiento a los rodamientos, aunque no estaban en mal estado.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso
Rodamiento 1

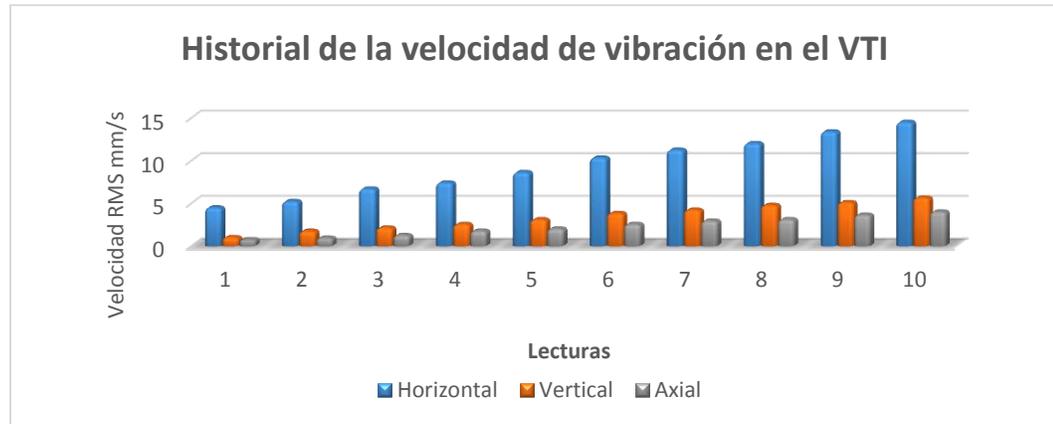


Figura 3. 13 Historial de la velocidad de vibración en el VTI (Elaboración Propia)

- En el rodamiento 1 del VTI se puede observar que la velocidad esta alterada en el eje horizontal por lo que estamos en presencia de un desbalance de masas.
- A partir de la lectura 6 la velocidad de la vibración empieza a tener un crecimiento acelerado.
- Según la norma ISO 10816-3 este equipo se encuentra en el grupo 2 y tiene un fundamento flexible (anexo1), por lo que se encuentra en posible daño por vibraciones desde la 4ta lectura.

Rodamiento 1

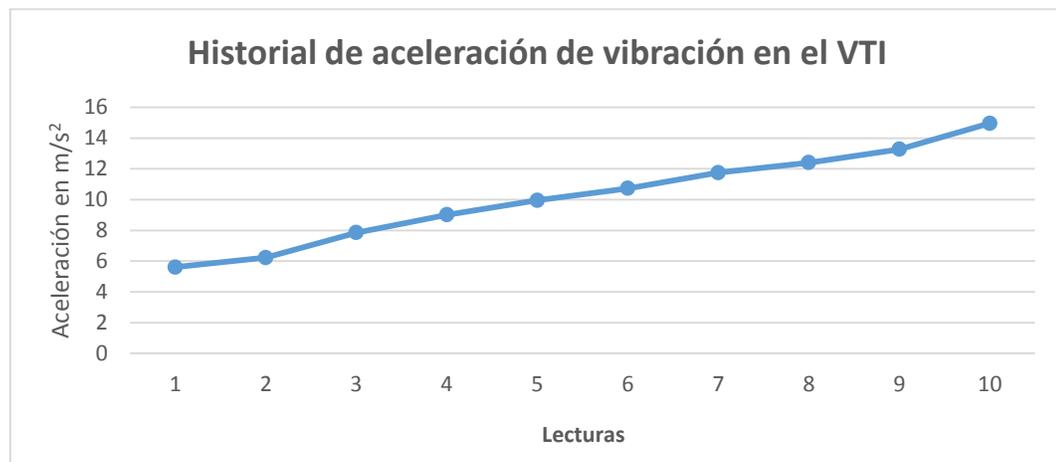


Figura 3. 14 Historial de aceleración de vibración en el VTI (Elaboración Propia)

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso

- El rodamiento 1 del VTI según el método de la aceleración esta en precaución desde la lectura 1 y en problemas en la lectura 10.
- El equipo debe ser balanceado correctamente para que no presente más problemas con las vibraciones.

Rodamiento 2

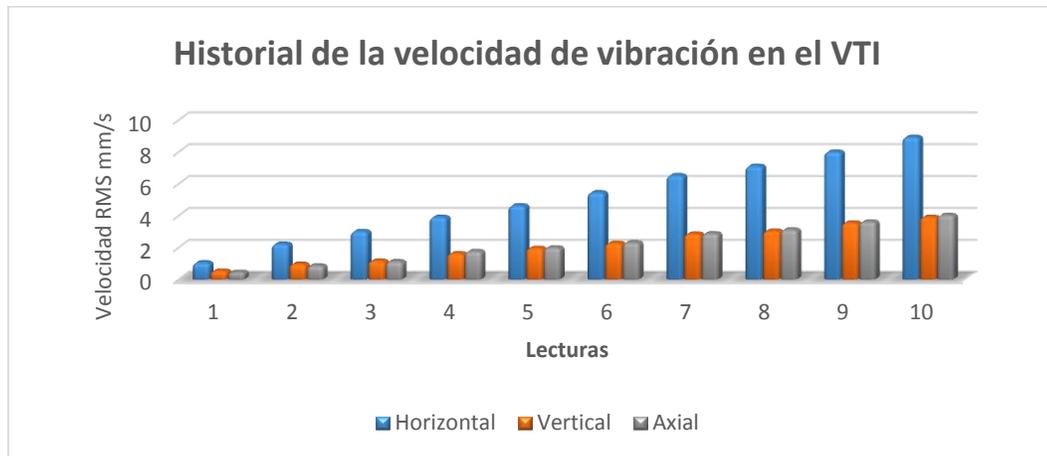


Figura 3. 15 Historial de la velocidad de vibración en el VTI (Elaboración Propia)

- En el rodamiento 2 del VTI se puede observar que hay un crecimiento relativo de la velocidad en el eje horizontal.
- Aunque los valores de medición no son tan altos presentan problemas.
- Según la norma ISO 10816-3 este equipo se encuentra en el grupo 2 y tiene un fundamento flexible (anexo1), por lo que se encuentra en posible daño por vibraciones desde la 8va lectura.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso
Rodamiento 2

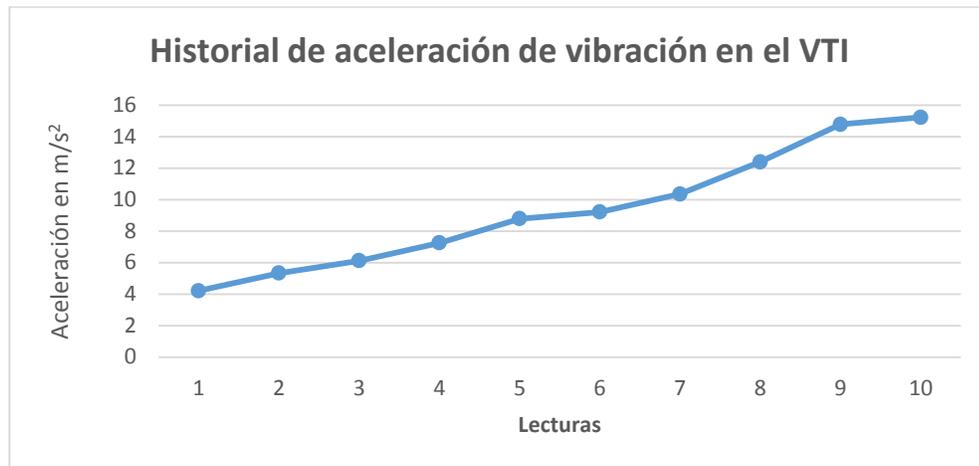


Figura 3. 16 Historial de aceleración de vibración en el VTI (Elaboración Propia)

- El rodamiento 2 del VTI según el método de la aceleración está en precaución desde la lectura 2 y en problemas en la lectura 9.
- El equipo debe ser balanceado correctamente para que no presente más problemas de vibraciones.

3.5 Lecturas de las vibraciones en la desfibradora

En la zafra 2016-2017 este equipo no tuvo grandes problemas con los rodamientos por lo tanto en el plan de mantenimiento solo se le realizaron ajustes en los manguitos y engrases en los pedestales donde se alojan los rodamientos.

Rodamiento 1

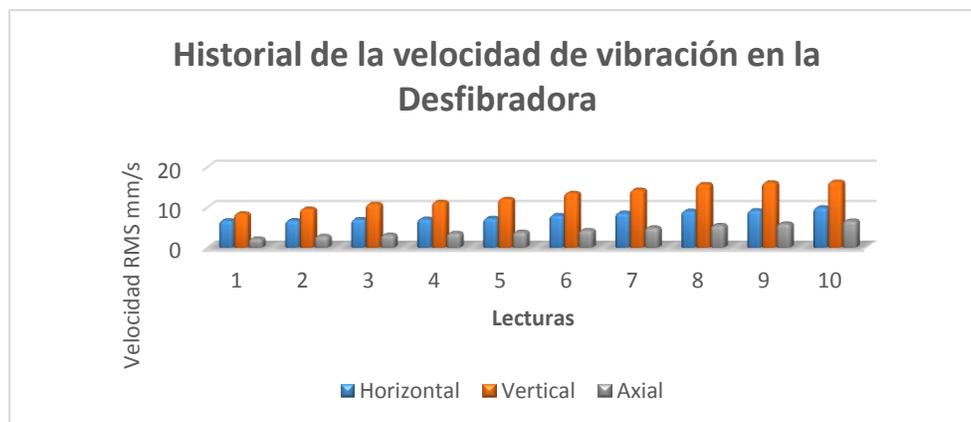


Figura 3. 17 Historial de la velocidad de vibración en la Desfibradora (Elaboración Propia)

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso

- En el rodamiento 1 de la desfibradora se tiene un crecimiento elevado de la velocidad en el eje vertical por lo que estamos en presencia de un desalineamiento.
- Según la norma ISO 10816-3 este equipo se encuentra en el grupo 1 y tiene un fundamento flexible (anexo1), por lo que se encuentra en posible daño por vibraciones desde la 4ta lectura.

Rodamiento 1

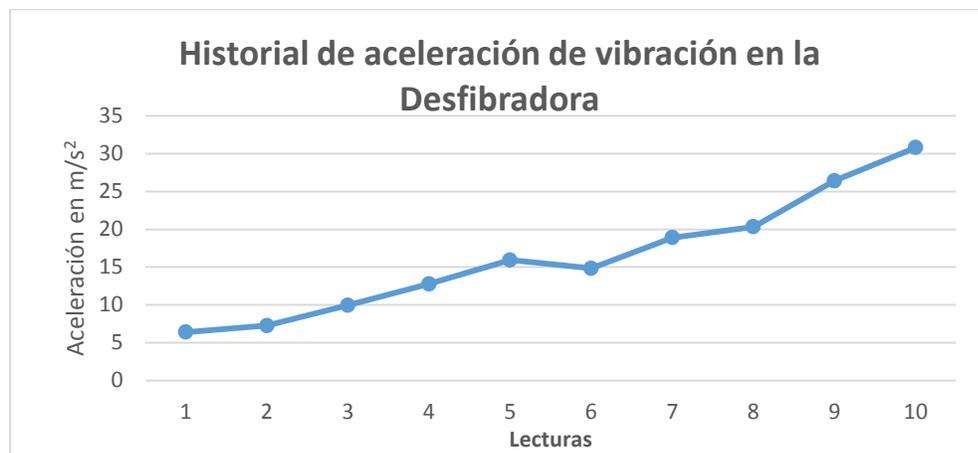


Figura 3. 18 Historial de aceleración de vibración en la Desfibradora (Elaboración Propia)

- El rodamiento 1 de la desfibradora se encuentra en precaución a partir de la lectura 3 y en problemas a partir de la lectura 9.
- Este equipo se deberá alinear correctamente para alargar la vida del rodamiento y mejorar la eficiencia del equipo.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
 Alfonso
Rodamiento 2

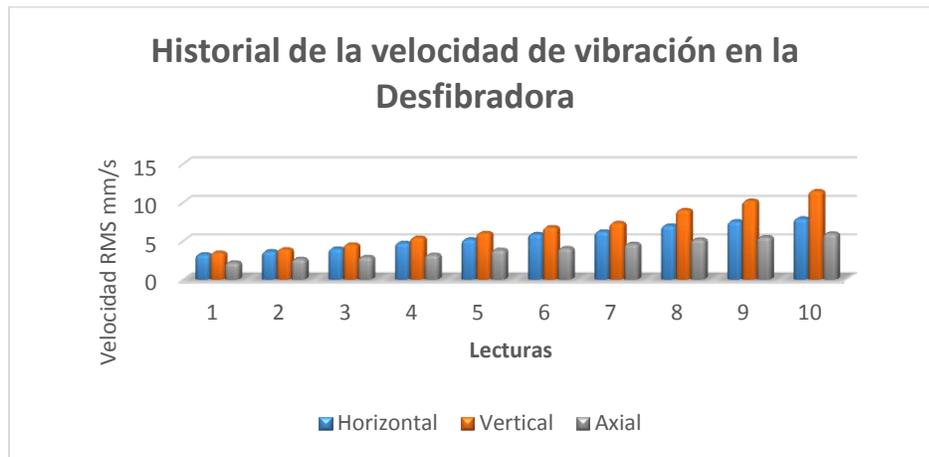


Figura 3. 19 Historial de la velocidad de vibración en la Desfibradora (Elaboración Propia)

- El rodamiento 2 de la desfibradora presenta un desfase pequeño de la velocidad en el eje vertical por lo que es posible que exista un desalineamiento.
- Según la norma ISO 10816-3 este equipo se encuentra en el grupo 1 y tiene un fundamento flexible (Anexo1), por lo que se encuentra en posible daño por vibraciones desde la 10ma lectura.

Rodamiento 2

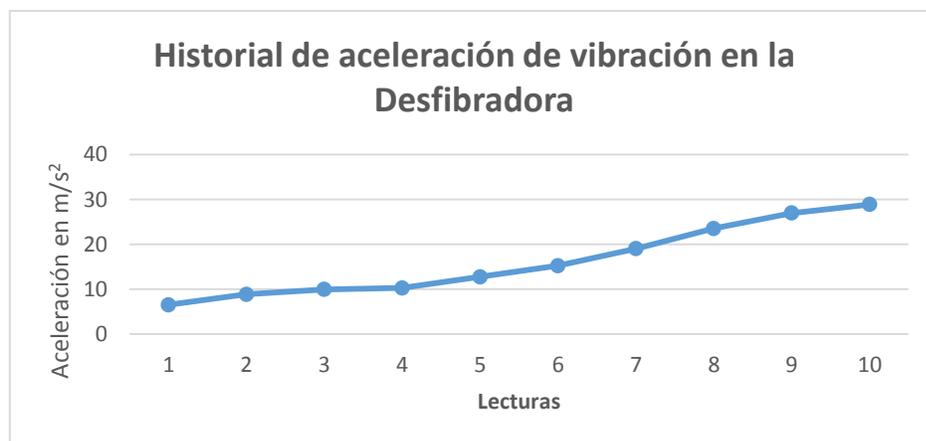


Figura 3. 20 Historial de aceleración de vibración en la Desfibradora (Elaboración Propia)

- El rodamiento 2 de la desfibradora se encuentra en precaución a partir de la lectura 2 y en problemas a partir de la lectura 9.

Capítulo III: Comportamiento de las vibraciones en equipos específicos de la UEB Ifraín
Alfonso

- Este equipo se deberá alinear correctamente para para alargar la vida del rodamiento y mejorar la eficiencia del equipo.

3.6 Impacto económico

Para desarrollar un breve análisis del impacto económico se tuvieron en cuenta el costo de los rodamientos y el tiempo perdido para su sustitución.

Equipo	Tipo de rodamiento.	Valor de los rodamientos (MN).	Tiempo invertido para el cambiar el rodamiento (h).
desfibradora	23140 CK	4189.52	24
VTF	22320CK	1351.45	24
VAS	22218 CK	413.25	8
VTI	22228 CK	518.48	24
Bomba de meladura	6309	46.10	4
Total		6518.8	84

Tabla 3. 1 Impacto económico

En el mercado internacional la libra del azúcar crudo a granel es de 264 USD por tonelada. En esta unidad se producen aproximadamente 350 toneladas de azúcar diarias lo que equivale a 14,5 toneladas por hora. Si se conoce que el total de horas en cambiar los rodamientos es de 84 h, entonces se dejan de producir 1 218 toneladas de azúcar en esta operación. Por roturas de urgencia la UEB puede llegar a perder 321 552 USD y 6 518.8 MN.

3.7 Conclusiones parciales

- Se puede identificar cuando un rodamiento entra en zona de precaución y llega hasta la zona de problema.
- Se observó de forma general que cuando los rodamientos en estos equipos llegan a la zona de precaución entre las 96 y 144 horas el rodamiento ofrece cambios bruscos en sus mediciones de forma ascendente hasta llegar a destruirse sin llegar a presentar problemas visibles.
- Este método brinda como referencia en qué momento se puede cambiar el rodamiento sin que haya una rotura desastrosa en el equipo, con lo que se disminuye el tiempo perdido industrial.
- En general se pudo constatar que la mayoría de los equipos presentan problemas de desbalance y desalineamiento. Esto se debe a un deficiente trabajo en el montaje y mantenimiento de los equipos.

Conclusiones generales

Conclusiones generales

Luego de realizar un estudio detallado acerca de las vibraciones mecánicas y su utilización en la industria azucarera, preferentemente en equipos rotatorios; se puede concluir que:

- Su estudio es de vital importancia para la prevención de posibles roturas y la identificación de fallos muy usuales en estos equipos tales como, ejes flexados, desbalance de masas en rotores, desalineamientos, fallos en los rodamientos, desgastes y otros.
- Los problemas más frecuentes que originan las vibraciones para estos equipos en los ingenios azucareros son debido al desbalance de masas y al desalineamiento en ejes, estos están dados por: mal alineamiento, mala lubricación y flojedad en elementos de transmisión entre otras.
- Se realizó un análisis detallado de las vibraciones en 5 equipos de la UEB Ifraín Alfonso en los cuales se encontraron problemas de vibraciones según el método japonés de la aceleración y la Norma ISO 10816-3.
- En el análisis de tendencia efectuado a partir del historial de velocidad y aceleración de las vibraciones, tomado durante un período de dos decenas de zafra, recogido en hojas de cálculo Excel y graficado con respecto al tiempo se determinó que existen problemas en los rodamientos de todos los equipos seleccionados.
- Los problemas detectados se incrementan de una manera creciente, con una pendiente cada vez más elevada en todos los casos.
- Después de efectuar un balance económico se pudo demostrar que es más factible para la industria azucarera adquirir estos equipos (vibrotest) ya que con el uso de los mismos se puede prevenir la ocurrencia de roturas de urgencia en los ingenios con la consiguiente paralización de la producción, lo cual conlleva a grandes pérdidas de dinero.

Recomendaciones

Recomendaciones

- Para mejorar la situación de la UEB Ifraín Alfonso se debe crear un plan de mantenimiento predictivo. Aunque este es un poco más costoso debido a que necesita herramientas de alto grado de precisión y última generación, además de un nivel adecuado de calificación del personal, es mejor ya que evita una rotura de urgencia que puede detener la producción y perder grandes cantidades de dinero.
- Es preciso que todos los ingenios azucareros apliquen técnicas de análisis predictivo de vibraciones dentro de sus planes de mantenimiento preventivo; pues de esa manera se podrá reducir el número de horas de intervenciones de mantenimiento, mejorando su producción y obteniendo mayores utilidades, así como evitando roturas catastróficas con la consiguiente paralización de la producción.
- Debe preverse la capacitación creciente del personal que opera los equipos en estas técnicas de diagnóstico para hacer más eficiente su trabajo.
- Si a través del diagnóstico se prevén a tiempo fallos catastróficos en un rodamiento y se aprovechan paradas por falta de caña para sustituirlo se pueden disminuir las horas de la tabla 3.6 y con ello el costo del impacto económico.

Bibliografía

Bibliografía

Bibliografía citada

1. Carrella, A., Análisis de vibraciones y diseño de un sistema de balanceo de alta velocidad, Argentina, 2008
2. Echeverry, J., Balanceo, publicado en Internet, 2013
3. García, A., Método de Balanceo de Rotores Rígidos con Datos de Vibración Pulsante, 2008
4. ISO 2041 Vibraciones y Choque, vocabulario
5. Iporre, J., Balanceo dinámico de Rotores, publicado en internet, 2010
6. Jiménez, D., Vibraciones mecánicas, publicado en internet, 2012
7. NC-ISO 10816-1 Vibraciones mecánicas-Evaluación de las vibraciones en las maquinas a través de la medición en partes no rotatorias
8. Ledón F., Aplicación del diagnóstico por vibraciones en máquinas industriales, COMEC, Cuba, 2016.
9. Llanos, E., vibraciones mecánicas, publicado en internet, 2014
10. Molina, A., Teoría de Vibraciones, publicado en internet, 2015
11. Palomino, J., Vibraciones, ediciones revolucionarias, la Habana, 2012
12. Rao S., Mechanical Vibrations, ediciones revolucionarias, Cuba, 2012.
13. Manual vibrotest 60
14. Morales Castillo F. S. abril 2016 Alineamiento entre acoples con equipo láser y su aplicación en el mantenimiento preventivo en la industria guatemalteca.

Bibliografía consultada

1. Aguilar Velásquez, L. A. (agosto, 2004). 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
Análisis de la influencia de las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la industria azucarera

Bibliografía

energía eléctrica y ventiladores de tiros mecánicos de calderas acuatubulares en un ingenio, *UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA*.

2. Catálogo de Productos y Servicios. E. d. S. T. I. (ZETI): pg. 63. (2011).
3. Daniel, I. M.-P. (03 de Febrero de 2004). INTRODUCCIÓN A LA MEDICIÓN DE VIBRACIÓN Postgrado, Universidad de los Andes.
4. Fabián, H. G. N. (2002). Técnica de la Demodulación en el Diagnóstico de Fallas en Máquinas Rotatorias Diplomado, Universidad Austral de Chile.
5. ISO 11342, Mechanical vibration – Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors.
6. ISO 11342, Mechanical vibration – Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors."(1998).
7. ISO 1925, Mechanical vibration – Balancing – Vocabulary.
8. ISO 1940-1, Vibraciones Mecánicas—Balance en los Requerimientos de Calidad para Rotores en estado constante". Parte 1: Especificación y verificación de balance de tolerancias.
9. ISO 2954, "Vibraciones Mecánicas de maquinaria rotatoria y reciprocante—Requerimientos de instrumentos para medir la severidad de la vibración".

Bibliografía