

## Aplicación Industrial del análisis de vibraciones

### Industrial Application of vibration analysis

CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique†\*, ALCALÁ-BAROJAS Iván, VALDEZ-MARTÍNEZ Jorge Salvador, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, LÓPEZ-VEGA Luís Jaime y RUMBO-MORALES Jesse Yoe

*Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos, División Académica de Mecánica Industrial, Av. Universidad tecnológica No. 1 Col. Palo Escrito, Emiliano Zapata Morelos, C.P. 62760 Tel 777 368 11 65*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Enrique Contreras Calderón* / CVU CONACYT ID: 92201

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Iván Alcalá Barojas* / CVU CONACYT-ID: 99182

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Jorge Salvador Valdez Martínez* / CVU CONACYTID: 297957

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Alberto Miguel Beltrán Escobar* / CVU CONACYT ID: 265509

ID 4<sup>to</sup> Coautor: *Luís Jaime López Vega* / CVU CONACYT ID: 416494

ID 5<sup>to</sup> Coautor: *Jesse Yoe Rumbo Morales*

Recibido 20 de Febrero, 2018; Aceptado 30 Marzo, 2018

#### Resumen

Con el avance en la automatización, la electrónica y las pruebas de medición no destructivas y el desarrollo de nuevas tecnologías las plantas de producción han cambiado del uso de métodos correctivos y preventivos a un mantenimiento predictivo lo que requiere de personal con una mayor preparación no solo en la operación de las máquinas, sino también desde el punto de vista del mantenimiento industrial. En la presente investigación se plantea la aplicación del análisis de vibraciones en una industria papelerera con el fin de implementar el mantenimiento predictivo. La primera actividad realizada consistió en la identificación de maquinaria y equipo, así como las áreas donde se localiza. Posteriormente se determinaron los puntos de medición de los equipos y se realizaron las mediciones correspondientes con un equipo de adquisición de datos en tiempo real DigivibeMx. Se analizaron y almacenaron los datos para generar un historial de mediciones para en un futuro reducir paros repentinos de máquinas, costos de refacciones y mano de obra.

**Mantenimiento predictivo, Vibraciones, Industria papelerera, DigivibeMX**

#### Abstract

With the advance in automation, electronics and nondestructive measurement tests and the development of new technologies, production plants have changed from the use of corrective and preventive methods to predictive maintenance, which requires personnel with a greater preparation not only in the operation of the machines, but also from the point of view of industrial maintenance. In the present investigation, the application of vibration analysis in a paper industry is proposed in order to implement predictive maintenance. The first activity consisted in the identification of machinery and equipment, as well as the areas where it is located. Subsequently, the measurement points of the equipment were determined and the corresponding measurements were made with a DigivibeMx real-time data acquisition equipment. The data was analyzed and stored to generate a history of measurements for the future to reduce sudden stoppages of machinery, spare parts and labor costs.

**Predictive maintenance, Vibrations, Paper industry, DigivibeMX**

**Citación:** CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique, ALCALÁ-BAROJAS Iván, VALDEZ-MARTÍNEZ Jorge Salvador, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, LÓPEZ-VEGA Luís Jaime y RUMBO-MORALES Jesse Yoe. Aplicación Industrial del análisis de vibraciones. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-3: 16-22.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (enriquecontreras@utez.edu.mx)

## Introducción

Penkova (2007) menciona que el mantenimiento consiste en una serie de actividades con cuya ejecución se logra alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles e instalaciones, preserva sus funciones y afecta todos los aspectos de una organización: disponibilidad y costos, seguridad, integridad ambiental, eficiencia energética y calidad de productos. Entonces, el objetivo del mantenimiento de máquinas y equipos se puede definir como conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo costo y con el máximo de seguridad para el personal que las utiliza y mantiene. Desde hace más de cuarenta años el mundo ha venido implementando y perfeccionando las tecnologías predictivas, cuya base conceptual radica en la intervención de la máquina cuando lo justifique la presencia de síntomas objetivos del deterioro de su condición mecánica Palomino (1997).

El mantenimiento predictivo realiza un seguimiento de cada una de las variables relacionadas con el funcionamiento de las máquinas para poder predecir posibles fallas y tomar las acciones correctivas más apropiadas en el momento oportuno. A pesar del alto costo que implica el desarrollo del mantenimiento predictivo, hoy en día es el tipo de mantenimiento más implementado en las industrias gracias a la ventaja que posee de poder mostrar en cualquier instante de tiempo el estado general de cada una de las máquinas de la planta permitiendo controlar su óptimo funcionamiento Olarte (2010)

El análisis de vibraciones, permite diagnosticar el estado de las máquinas y sus componentes mientras funcionan normalmente dentro de una planta de producción, es una de las tecnologías más utilizadas en el mantenimiento predictivo de las máquinas rotativas.

Las vibraciones anómalas suelen ser una primera indicación de una posible falla en las máquinas (SKF 2018). Algunas de las causas de esas vibraciones son el desequilibrio, la desalineación, las piezas flojas, el deterioro del rodamiento y los daños en los engranajes. Los instrumentos y sistemas de análisis de la vibración ayudan a detectar muchos problemas graves en su fase inicial, permitiendo al personal realizar labores correctivas a tiempo.

Con el desarrollo de la tecnología, en el mercado se consiguen equipos analizadores de vibración y paquetes informáticos que agilizan y facilitan el análisis de vibraciones, porque entregan al usuario las gráficas de las señales de las vibraciones ya sea en el dominio del tiempo o la frecuencia para que se pueda realizar su interpretación y emitir un diagnóstico acertado. Energiza (2018)

## Descripción general de la planta

Una planta de producción de papel está conformada principalmente por cuatro áreas, las cuales son:

1. Pastas.
2. Máquina de papel N°3.
3. Máquina de papel N°4.
4. Calderas

En la primera área entra la materia prima virgen, papel y cartón que se va a reciclar para convertirlo en una pasta o pulpa. En la figura 1 se muestra el layout de esta área.

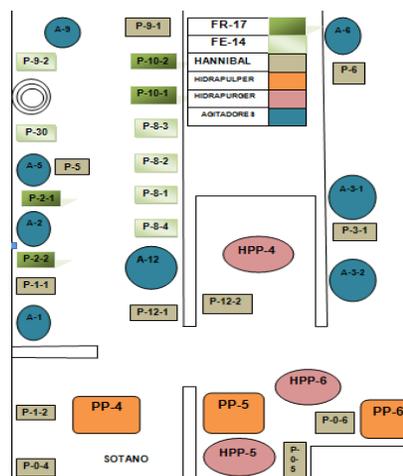


Figura 1 Layout área de pasta

La maquinaria se identifica con la siguiente designación:

- Marcados con la letra A: 8 Agitadores.
- Marcados con las letras PP: 3 Hidrapulper.
- Marcados con la letra P: 19 Bombas
- Marcados con las letras HPP: 3 Hidrapurgues.

La elaboración de papel se lleva a cabo en las máquinas de papel 3 y 4, ambas tienen el mismo proceso de producción y están compuestas por una mesa de formación (Figura 2) en donde unos rodillos de tela son encargados de comprimir la pasta para darle la forma de papel.

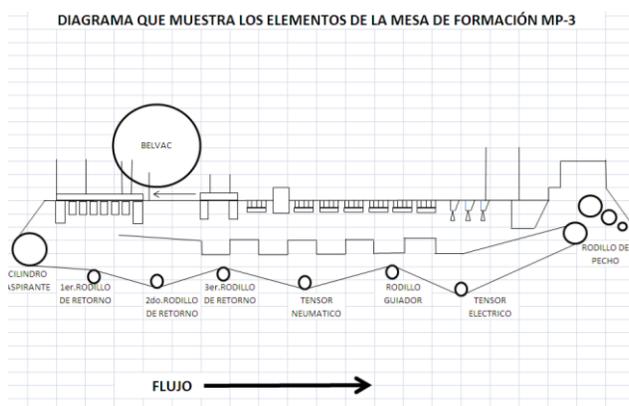


Figura 2 Mesa de formación tela inferior

El siguiente proceso está conformado por tres secciones de prensas inferiores y superiores encargadas de estirar y comprimir el papel al tamaño deseado.

Los secadores (Figura 3) son los encargados de disminuir los niveles de agua en el papel mediante calor. Cada una de las máquinas se conforma de 4 secciones con 8 rodillos y 10 tensores cada una.

1ra. SECCION DE SECADORES LONA INFERIORES Y SUPERIORES MP-3

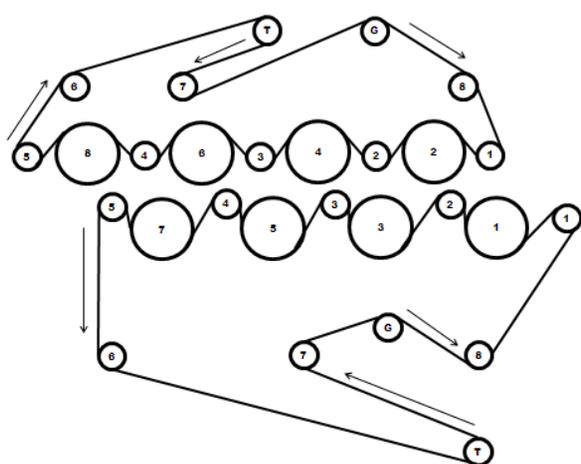


Figura 3 Sección de secadores

La bobinadora es el proceso final donde se enrolla el papel ya terminado y es dividido de acuerdo a las especificaciones del cliente, esta área de las máquinas también cuenta con rodillos y equipos, a los cuales se les necesita realizar un análisis de vibración para su óptimo desempeño.

Para realizar todo este proceso se requieren 7 calderas (5 de operación y 2 de apoyo), las cuales son las encargadas de proporcionar las condiciones adecuadas de temperatura del agua para el proceso.

La empresa cuenta con un sinnúmero de maquinaria y equipo rotativo, reductores de velocidad, motores, bombas y chumaceras que requieren un monitoreo constante para identificar su condiciones mecánicas de operación

En todas las áreas los equipos trabajan a temperatura, velocidad y cargas distintas; por esto es importante el análisis de vibraciones para garantizar un óptimo desempeño en los equipos de acuerdo a los requerimientos especificados en el manual de cada equipo.

### Equipo de adquisición de datos

Para llevar a cabo la obtención de las señales de vibración se cuenta con un equipo adquirente de datos (Figura 4) el cual está integrado por:

- Una laptop
- Programa DigivibeMX.
- Sensor de vibraciones.
- Acondicionador de señal.
- Cable de RCA.
- Pirómetro (para toma de temperaturas).



Figura 4 Equipo adquirente de datos

El software utilizado fue DigivibeMX. Es una aplicación de análisis de vibración en tiempo real, así como de balanceo dinámico industrial de uso fácil Digivibe (2018). Las características técnicas del equipo que se empleó para obtener las mediciones se muestran a continuación:

### DIGIVIBEMX M30 (Equipo adquirente de datos)

- Herramientas para análisis predictivo
  - Estructuras y bases de herramientas.
  - Bases de rodamientos con dimensiones y velocidades de trabajo
  - Herramientas de interpretación y diagnóstico.

- Análisis de poder espectral FFT
  - Millones de puntos de resolución.
  - Espectrograma
  - Herramientas de interpretación y diagnóstico.
- Análisis avanzado de funciones
  - Diagrama de BODE.
  - Amplitud vs tiempo.
  - Pruebas de impacto.

#### SOFTWARE DIGIVIBE MX30

Es un software empleado para análisis de vibraciones y balanceo dinámico. Es intuitivo y muy fácil de utilizar. Incluye las siguientes herramientas:

- Análisis avanzado de vibración.
- Espectro FFT.
- Gráficas de vibración en tiempo real.
- Frecuencia de vibración en rodamientos.
- Reportes automáticos de análisis y balanceo.

Requiere:

- Procesador Intel a 1.60 GHz
- 1 GB RAM
- Windows 7.
- SVGA display.
- Puerto USB

#### ACONDICIONADOR DE SEÑAL I600 IP67 DIGIVIMEMX

- Peso: 150 gr.
- Dimensiones: 70(D) X 75(W) X 20 (H).
- 2 conectores de 5 pin para acelerómetros.
- 1 Conector de 4 pin para laptop.

#### DIGIVIBEMX INTERFACE USB CABLE (C-USB-4L)

- Cable de 4 pin con entrada USB

#### ACELERÓMETRO PARA DIGIVIBEMX

- Peso: 51 gr.
- Diámetro: 16 mm
- Sensibilidad: 100 mV/g.
- Rango de frecuencia: 1 Hz – 20 kHz.
- Amplitud de rango: 0.0001 – 50 g.
- Ejes 1

#### PIRÓMETRO IR FLUKE 59 MAX

- Rango de temperatura: -30 °C a 350 °C
- (-22 °F a 662 °F)
- Tiempo de respuesta: 500 ms.
- Respuesta espectral: 8 – 14 mm.
- Resolución en pantalla: 0.01 °C.
- Repetibilidad:  $\pm 0.5$  °C.
- Peso 220 gr.
- Dimensiones: 156 X 80 X 50 mm.

#### Diagrama de conexiones

Para realizar las mediciones de vibración el equipo se conecta como se muestra en el diagrama 5:

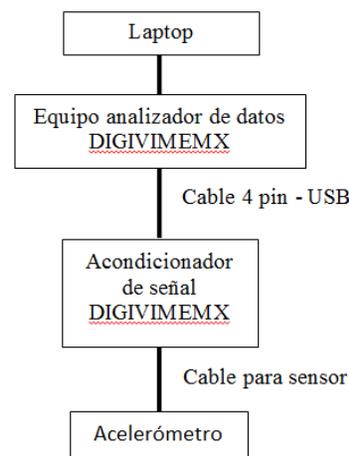


Figura 5 Diagrama de conexiones

Para la medición de temperatura, está se llevó a cabo mediante infrarrojo, basta con apuntar con el láser el punto de medición de temperatura y este se registra en el pirómetro.

#### Determinar puntos de medición

Para llevar a cabo la toma de datos en los rodillos se debe tener en cuenta el diagrama de la figura 6 ya que en este se muestran los puntos sobre los cuales se deben de colocar los acelerómetros.

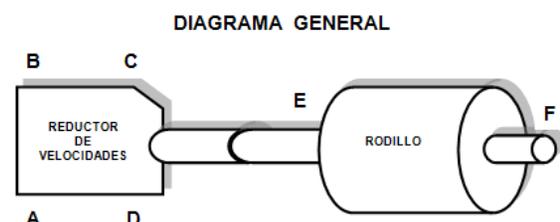


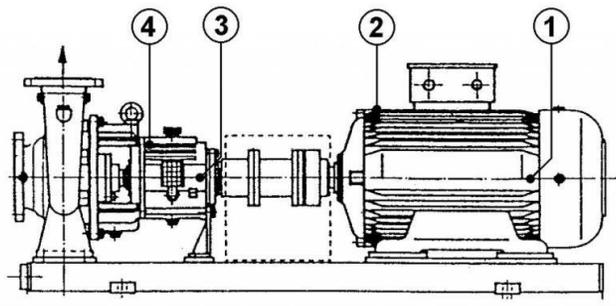
Figura 6 Puntos de medición en rodillos

Dónde:

A y B corresponden al motor eléctrico.  
C y D corresponden a un reductor de velocidad.  
E y F corresponden al equipo en movimiento (rodillos, secadores).

Las lecturas de los datos medidos se capturaron en el programa Digivibe Mx

Para lograr lo obtención de datos de las bombas es necesario tener en cuenta los puntos de medición, los cuales se muestran en la figura 7:



**Figura 7** Diagrama de puntos medición de vibraciones en bombas

Dos de los puntos a medir se encuentran en el motor, uno en la parte vertical y el otro en la parte horizontal. Los otros dos puntos se pueden encontrar en el cuerpo de la bomba para lograr de igual manera obtener los datos. Para el área de calderas solo se necesitaron tomar en cuenta dos puntos, ya que estas trabajan con motores.

Los puntos de medición número 1 y 2 son de las chumaceras y de los agitadores en esta los datos se pueden tomar ya sea colocando el sensor en la parte superior de esta o en una de las caras laterales, como se muestra en la figura 8.



**Figura 8** Agitador y puntos a medir

Para lograr obtener los datos de los refinadores se necesitó como primer paso; identificar el lugar en el cual se encuentran los rodamientos, posteriormente se procedió a realizar la obtención de datos.

De igual forma se procedió a la localización de puntos de medición en los demás equipos y maquinaria determinando si la medición sería:

- Horizontal o vertical.
- Horizontal y vertical.
- Horizontal, vertical y axial.

### Registro de mediciones

El programa digivibeMX mostró en pantalla una serie de gráficas del equipo y el valor RMS (root-mean-square); que se refiere a la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores de la onda. El valor RMS se utiliza para medir la energía de la forma de onda (Figura 9). Valor que se registró en tablas diseñadas previamente.



Figura 3.5 Gráficas y valor RMS

**Figura 9** Registro de mediciones de vibración

Las tablas de registro muestran en la parte superior de la hoja el nombre de la zona que se está registrando, además del equipo en específico, la fecha en que se llevaron a cabo las mediciones y también se puede observar la ubicación de los puntos a los que se le tomaron lecturas de vibraciones:

A continuación se muestran en la tabla 1 los resultados de mediciones obtenidas en el área de agitadores, rodillos y calderas.

AGITADORES														
						Kw								
A-6			07/03/2018			07/03/2018			A-3-1			07/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		97	1.33	72	84	HORIZONTAL		6	.39	.72	37			
VERTICAL		81	1.47	75	57	VERTICAL		68	.88	.84	28			
TEMPERATURA		34	53	26	27	TEMPERATURA		39	34	31	32			
						Kw								
A-3-2			07/03/2018			07/03/2018			A-12			07/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		1.74	1.17			HORIZONTAL		83	.32	1.57	.26			
VERTICAL		72	82			VERTICAL		1.54	43	.97	1.32			
TEMPERATURA		34	30			TEMPERATURA		39	42	36	37			
						Kw								
A-5			08/03/2018			08/03/2018			A-2			08/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		1.81	.97			HORIZONTAL		1.96	.9	1.13	.82			
VERTICAL		4	1.93			VERTICAL		1.01	1.38	1.05	1.01			
TEMPERATURA		34	39			TEMPERATURA		39	41	38	34			
						Kw								
A-1			08/03/2018			08/03/2018			08/03/2018			08/03/2018		
		A	B	A	B									
HORIZONTAL		89	.51	.97	44									
VERTICAL		85	.72	.94	56									
TEMPERATURA		35	47	39	38									

MESA DE FORMACIÓN														
1786 R.P.M.						1786								
			10 Kw						105 Kw					
RODILLO DE PECHO		10/03/2018		10/03/2018		RODILLO GUIADOR TELA N°7		10/03/2018		10/03/2018				
		E	F	E	F			E	F	E	F			
HORIZONTAL		.26	.34			HORIZONTAL		.74						
VERTICAL		.32	.57			VERTICAL		.54						
AXIAL		.22	.45			AXIAL		.64						
TEMPERATURA		30	29			TEMPERATURA		31	29					
1786 R.P.M.						1786 R.P.M.								
RODILLO GUIADOR DE TELA			10/03/2018			105 Kw			RODILLO GUIADOR TELA			10/03/2018		
N°6		E		F		N°5		E		F				
HORIZONTAL			1.37			HORIZONTAL			.61					
VERTICAL			.59			VERTICAL			.47					
AXIAL			1.26			AXIAL			.77					
TEMPERATURA		32	29			TEMPERATURA		30	26					

1786 R.P.M.						1786 R.P.M.					
			105 Kw						Kw		
1° RODILLO TENSOR TELA N°3		E		F		RODILLO GUIADOR TELA N°2		E		F	
		E		F				E		F	
HORIZONTAL			.75			HORIZONTAL			.89		
VERTICAL			1.09			VERTICAL			.62		
AXIAL			1.61			AXIAL			1.02		
TEMPERATURA		29	26			TEMPERATURA		28	26		

CALDERAS														
						Kw								
CALDERA N°4			01/03/2018			01/03/2018			CALDERA N°5			01/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		0.21	0.002	0.11	0.002	HORIZONTAL		0.014	0.001	0.06	0.001			
VERTICAL		0.12	0.002	0.28	0.002	VERTICAL		0.006	0.001	0.020	0.001			
TEMPERATURA						TEMPERATURA								
						Kw								
CALDERA N°6			01/03/2018			01/03/2018			CALDERA N°7			01/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		0.007	0.001	0.09	0.001	HORIZONTAL		0.015	0.001	0.007	0.001			
VERTICAL		0.023	0.001	0.015	0.001	VERTICAL		0.007	0.001	0.007	0.001			
TEMPERATURA						TEMPERATURA								

Tabla 1 Registro de datos de diferentes áreas

De manera similar se registraron tablas para el resto de la maquinaria y equipos.

Este trabajo se desarrolló registrando las mediciones de todos los equipos con los que cuenta la planta. Al ser los primeros resultados se tendrán que realizar nuevas mediciones para detectar si existe alguna variación en las mismas y de ser así realizar un análisis de causa raíz para determinar el origen de la falla para prevenir que esta se presente.

### Conclusiones

Se entregó un reporte al Ingeniero encargado de Mantenimiento ya que él es el responsable de todas las áreas y proyectos que conforman el área de Mantenimiento, en el mismo se dio a conocer la importancia y beneficio principalmente para prevenir fallas en los equipos, a los cuales se realizó un análisis de vibraciones ya que los rodamientos son elementos importantes en la máquina y cuyo fallo puede dar problemas graves, por eso es necesario tener un cuidado especial con ellos. Pueden fallar por errores en el montaje, lubricación inadecuada, defectos internos en la fabricación, corriente eléctrica, desalineación, rodamiento no preparado para la carga que soporta, etc. Por tanto, el análisis de vibraciones es una técnica capaz de encontrar fallos en máquinas, anticipándose a la avería.

Las ventajas de realizar este tipo de mantenimiento son la desaparición de fallos repentinos en los equipos estudiados y conocimiento del estado de la máquina en cada momento. Así se disminuyen los costes económicos por reparaciones imprevistas, pero en el proceso de producción, cambios de elementos que todavía pueden seguir funcionando, aumento de la eficiencia y disminución de costos por paros en el funcionamiento, además de todo esto, ayuda a mejorar el mantenimiento preventivo a realizar en la fábrica. Detrás de todo esto las ventajas que ofrece este estudio son sobre todo de tipo económico, de seguridad frente a averías repentinas, identificación de causas de vibraciones, interpretación de datos.

Una vez obtenidos los datos de vibraciones de una forma metódica y precisa de una máquina donde se ha detectado un problema, es necesario identificar cuál ha sido su causa y así buscar la forma y momento de reparación más eficiente, es decir, que elimine el fallo y su costo económico sea el mínimo posible.

Un defecto puede localizarse al comparar las amplitudes de las vibraciones tomadas. Normalmente una máquina que funciona correctamente tiene valores que suelen seguir una línea con tendencia ligeramente ascendente o constante. Cuando en algún momento los valores aumentan o la tendencia asciende de una forma inesperada, se puede pensar en la presencia de algún problema.

Generalmente la máxima amplitud de vibración se da en los puntos donde se localiza el problema, aunque muchas veces la vibración es transmitida a otros puntos de la máquina aunque en ellos no se encuentre la falla. El análisis de las gráficas puede indicar el tipo de defecto existente, pero muy pocas veces aparecen problemas únicos y por tanto espectros donde se refleje un defecto claramente. La experiencia y el conocimiento de la máquina son dos factores fundamentales a la hora de identificar la causa que produce una vibración importante.

### Referencias

DigivibeMX M30 (2018), Análisis de Vibraciones y Herramientas Predictivas Recuperado de <http://www.erbessd-instruments.com/esp/digivibemx/m30/overview.php>

Energiza (2018), Análisis de Vibraciones una Tecnología Clave del Mantenimiento Predictivo, Recuperado de <http://www.energiza.org/mantenimiento-de-plantas/19-mantenimiento-de-plantas/516-analisis-de-vibraciones-una-tecnologia-clave-del-man-tenimiento-predictivo>

Olarte C. William, Botero A. Marcela, Cañón A. Benhur (Agosto 2010), Técnicas de Mantenimiento Predictivo Utilizadas en la Industria. *Scientia et Technica*. Año XVI, No 45, 223-226. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4546591.pdf>

Palomino Marín Evelio. (1997). *La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnostico de Máquinas Rotatorias*. La Habana Cuba, Centro de Estudios Innovación y Mantenimiento.

Penkova Vassileva María. (Octubr 2007). Mantenimiento y Análisis de Vibraciones. *Ciencia y Sociedad*, Vol. XXXII, No 4, 668-678. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/870/87032407.pdf>

SKF (2018), Simplificación del Monitoreo de Máquinas. Recuperado de <http://www.skf.com/mx/products/condition-monitoring/basic-condition-monitoring-products/vibration-measurement-tools/index.html>