

METODOLOGÍA PARA DIAGNOSTICAR FALLAS LOCALIZADAS EN EQUIPOS DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO¹

A METHODOLOGY FOR DIAGNOSTIC OF LOCALIZED FAULTS IN EQUIPMENT FOR THE ACTIVATED CARBON PRODUCTION LINE

Lisandro Vargas Henríquez* Saúl Mejía Ruiz**, Cesar Vásquez Caballis**

Resumen

En este artículo se presenta una metodología para detectar y diagnosticar fallas, basada en el análisis de las señales de vibraciones generadas por las máquinas rotativas de una línea de producción de carbón activado. El diseño de esta metodología se fundamenta principalmente en: 1. Evaluar la necesidad de la implementación determinando los equipos que son considerados críticos dentro de la línea de producción a través del método de los criterios ponderados. 2. Realiza un reconocimiento de los equipos e identificar los puntos donde se debe ubicar el sensor de medición para captar las vibraciones. 3. Finalmente se realiza la recolección, análisis y evaluación de los espectros obtenidos en el equipo de vibración mecánica. Esta metodología le permite a la gerencia de mantenimiento tener el control de las máquinas y de los programas de mantenimiento.

Palabras claves: Análisis de vibraciones; Criterios ponderados; Diagnostico de fallas; Mantenimiento.

Abstract

In this paper we present a methodology to fault detect and diagnose, based on the analysis of vibration signals generated by rotating machines in a activated carbon production line. The design of this methodology is based on: 1. Assess the need for determining implementation teams are considered critical in the production line by the method of weighted averages. 2. Makes recognition of equipment and identify where you should place the measuring sensor to capture the vibrations. 3. We carried out the collection, analysis and evaluation of the spectra obtained in the mechanical vibration equipment. This methodology allows maintenance management have control of machines and maintenance programs.

Keywords: Vibration analysis; Weighted averages; Fault diagnosis; Maintenance.

¹ Proyecto: Selección e instalación de un sistema de adquisición de datos para el estudio del fenómeno de vibraciones mecánicas en máquinas rotativas. Investigador principal, Lisandro Vargas Henríquez, Universidad del Atlántico, Ingeniería Mecánica.

* Candidato a Doctor en Ciencia y Tecnología de los Materiales. Magister en Materiales y Procesos de Manufactura, Universidad Nacional de Colombia, lisandrovargas@uniatlantico.edu.co

* Ingeniero Mecánico, Universidad del Atlántico.

1. Introducción

Dentro del proceso de globalización por el que pasa Colombia, en donde las exigencias de calidad en la producción y la necesidad de las empresas de ser más competitivas en el ámbito internacional, han hecho que el mantenimiento predictivo mediante el análisis de vibraciones tenga una gran importancia debido a que permite eliminar pérdidas en los equipos, cero averías, cero defectos y el logro de la eficiencia en los equipos.

Varias empresas del sector de producción de carbón activado están presentando fallas en sus equipos, las cuales ocasionan paradas no programadas, que generan un impacto negativo en la productividad. El simple hecho de dejar que un componente llegue hasta su punto de ruptura puede traer como consecuencia fallas catastróficas que podrían aumentar la severidad producida a los equipos. Algunos ejemplos específicos de esta situación, son los encontrados en el molino de bauxita el cual presenta rotura frecuente del acople flexible, rotura de uno de los cuatro pernos que sujeta el reductor y fallas en los rodamientos de los ventiladores de tiro forzado de los hornos. Tomando como base esta problemática, la búsqueda del mejoramiento continuo y unificación de criterios para la implementación de nuevas técnicas de mantenimiento, surgió la necesidad de diseñar una metodología basada en el análisis de vibraciones para diagnosticar fallas en los equipos críticos de la planta. Es así como el análisis de vibraciones se convierte dentro de un Programa de Mantenimiento Predictivo (PMP), en la herramienta más completa a la hora de monitorear el estado de los componentes de las máquinas en búsqueda del incremento de su confiabilidad.

2. Metodología para Detectar y Diagnosticar Fallas

La implementación de la metodología basada en el análisis de vibraciones para detectar y diagnosticar fallas sugerida en este estudio comprende los siguientes pasos.

A. Cálculo de Criticidad de los Equipos

El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Existen varios métodos para estimar la criticidad de los equipos, estos son diseñados acorde a las necesidades de cada empresa. Desde esa óptica existe una gran diversidad de herramientas de criticidad, según las oportunidades y las necesidades de la organización; la metodología que se propone es el método de los Criterios Ponderados que es una herramienta de priorización bastante sencilla que genera resultados semicuantitativos, basados en la teoría de riesgo, que tiene en cuenta aspectos, económicos, técnicos, de inspección, personal, materiales y disponibilidad de planta.

La criticidad está dada en términos de la frecuencia de la falla y de la consecuencia (magnitud del daño), es decir: [1]

$$\text{Criticidad total} = \text{Frecuencia de falla} * \text{Consecuencia} \quad \text{Ec (1)}$$

La frecuencia de la falla es el número de fallas en un tiempo determinado y la consecuencia es función del costo, por lo tanto:

$$\text{Consecuencia} = [(IO * F) + CM + I_{SAH}] \quad \text{Ec (2)}$$

donde: IO es el impacto operacional

F es la flexibilidad

CM es el costo del mantenimiento

I_{SAH} es el Impacto en seguridad, ambiente e higiene

Los factores ponderados de los criterios al ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de Criticidas

FRECUENCIA DE FALLAS:		COSTO DE MANTENIMIENTO:	
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a \$20000	2
Promedio 1 - 2 fallas/año	3	Inferior a \$20000	1
Buenas 0,5 – 1 fallas/año	2		
Excelente menores a 0,5 fallas/año	1		
IMPACTO OPERACIONAL:		IMPACTO EN S.A.H:	
Perdida de todo el despacho	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7	Afecta el ambiente/instalaciones	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones o producción	1		
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL:		Provoca daños menores (ambiente – seguridad)	
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4	No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1
Hay opción de repuesto compartido/almacén	2		
Función de repuesto disponible	1		

Fuente: Figueroa 2005 [2]

Estos factores son evaluados en reuniones de trabajo con la participación de la gerencia de producción y el departamento de mantenimiento, el cual está conformado por el ingeniero de confiabilidad, el supervisor de mantenimiento, el supervisor de producción, los operadores de planta, el técnico mecánico, el técnico electrónico y el supervisor de seguridad y ambiente. Una vez que se evaluaron en consenso cada uno de los factores presentados en la tabla 1, se introduce en la fórmula de criticidad total, y se obtiene el valor de la criticidad (máximo valor de criticidad que se puede obtener a partir de los factores ponderados evaluados).

Para obtener el valor de criticidad de cada sistema se toma los valores totales individuales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencia, se ubican en la matriz

de riesgos que permite jerarquizar los sistemas en tres áreas: Sistemas No Crítico (NC), Sistema Semi-crítico (SC) y Sistema Crítico (C) [10]. (Figura 1).

Figura 1. Matriz de riesgo. **Fuente:** Figueroa 2005 [2].

MATRIZ DE RIESGO						
PROBABILIDAD	4	SC	SC	C	C	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	C	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
		10	20	30	40	50
	CONSECUENCIA					

■ CRÍTICO
■ SEMI-CRÍTICO
■ NO CRÍTICO

Fuente: Elaboración de los autores

A continuación se realiza el procedimiento para el ventilador de tiro forzado del horno 1.

Tabla 2. Equipo seleccionado

Equipo	Frec. Falla	Impac. Oper.	Flex. Oper.	Cos. Mtto.	Impac. Sha	Consec.	Critic. Total	Riesgo
Ventilador Tiro Forzado	4	10	2	1	8	29	116	C

Fuente: Elaboración de los autores

B. Selección de Equipos que Requieren Sistemas de Detección y Diagnostico de Fallas

Se define el nivel de criticidad de cada uno de los equipos que forman la línea de producción de carbón activado y se clasifican de acuerdo a las bandas de criticidad. Los equipos que requieren diagnóstico de fallas son los que poseen alta criticidad, debido que al fallar producen un impacto económico y los de mediana criticidad producen un impacto en la calidad de la producción [3].

Tabla 3. Equipos críticos dentro de la planta de carbón activado

No.	EQUIPO	CRITICIDAD TOTAL
1	Ventilador tiro forzado horno 1	116
2	Ventilador tiro inducido horno 1	96
3	Ventilador tiro forzado horno 2	92
4	Ventilador tiro inducido horno 2	96
5	Ventilador tiro forzado horno 3	128
6	Ventilador tiro inducido horno 3	96
7	Molino de bolas	176
8	Molino de bauxita	112

Fuente: Elaboración de los autores

Se crean las hojas de vida de las maquinas que no las tengan para determinar el estado actual en que se encuentran los equipos. Para el caso del ventilador de tiro forzado horno 1, la hoja de vida creada la podemos observar en la tabla IV.

Tabla 4. Hoja de vida del ventilador de tiro forzado horno 1.

EQUIPO: Ventilador de tiro forzado horno 1				
MARCA; Siemens		RESPONSABLE DE MANTENIMIENTO: Ing. Diego miral		
CODIGO ACTIVO FIJO VTF 001		SIGNIFICADO		
MANUALES:	PLANOS:		REPUESTOS:	
Si: X	No:	Si:	No: X	Si: X
ESTADO TÉCNICO		MALO	REGULAR	BUENO
Estado del anclaje			X	
Estado de la carcaza				X
Estado del motor eléctrico			X	
Estado de la acometida y conexiones eléctricas				X
Estado del tablero de control y protecciones eléctricas				X
Estado de las bandas de transmisión		X		
Estado de las poleas			X	
Estado de prisioneros		X		
Estado de los lubricantes				X
Estado de rodamientos		X		
Estado de aspas y/o alabes		X		
Estado de cojinetes de deslizamiento		X		
Conclusiones: el equipo se encuentra en regulares condiciones				

Fuente: Elaboración de los autores

C. Reconocimiento de los equipos Criticos

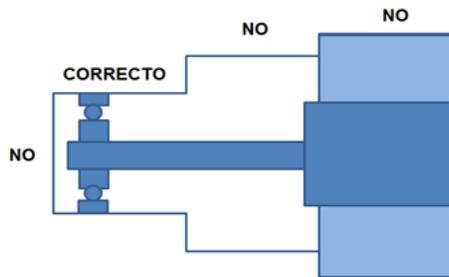
Una vez determinadas los niveles de criticidad, se debe realizar un reconocimiento en físico de los equipos (características dinámicas) esto implica conocer el tipo de montaje, observar si la base es rígida o flexible, conocer la potencia y las rpm de trabajo, inspeccionar el montaje del rotor ya que el eje puede estar soportado en ambos extremos o puede tener disposición en cantiléver, linealidad, ruido, entre otros. Todo lo anterior con el fin de escoger la norma técnica que recoge las condiciones de dicha máquina. [4]

D. Ubicación de los Puntos de Prueba

Teniendo en cuenta los puntos de apoyo de dicha máquina y la geometría de la misma, se establecieron los puntos de medición. En general, es deseable colocar el transductor de prueba lo más cerca posible del rodamiento, con metal sólido entre el rodamiento y el sensor. Se debe evitar la colocación en las gorras de rodamientos, ya

que son hechas de metal delgado y conducen muy poco la energía de vibración. Si es posible habrá que seleccionar los lugares de ubicación de tal manera que no haya juntas entre metal y metal, entre el rodamiento y el sensor. La junta entre la campana y el Carter del estator de un motor es un ejemplo de esto. Cárceres de ventiladores y las extremidades de motores se deben evitar [5].

Figura 2. Ubicación de acelerómetros.



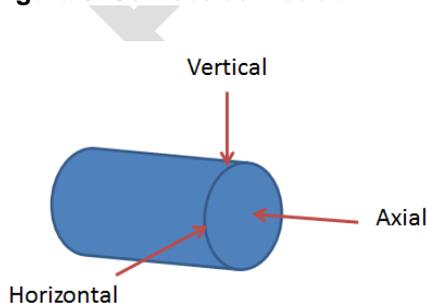
Fuente: White 2010, [5]

Para motores de menos de 50 HP un punto de prueba es adecuado, pero para motores de más de 50 HP cada rodamiento debería tener su propio punto de prueba. En las máquinas sensibles a los daños en los rodamientos y en las que los problemas de rodamientos se deberían detectar lo más temprano posible, cada rodamiento debería tener su propio punto de prueba.

Orientación de los Sensores de Vibración. En cualquier programa de monitoreo de máquinas, el hecho que los datos sean recopilados de manera exactamente igual cada vez que se hace una medición es extremadamente importante. Eso para asegurar que los datos se pueden repetir y que se pueda establecer una tendencia en el tiempo. Por esa razón no se recomienda el uso de transductores manuales. Los datos, los más confiables se recopilan cuando el transductor está montado con botón en la superficie de la máquina.

Para ayudar en la determinación de problemas de máquinas es muy útil obtener datos de vibración de cada punto de medición en las direcciones: Axial, paralela a la flecha, Vertical, es la dirección desde el transductor hacia el centro de la flecha y Horizontal es 90 grados del sentido vertical. [5]

Figura 3. Sentidos de medición.



Fuente: White 2010, [5]

La figura 4 muestra las seis orientaciones del sensor para una máquina original:

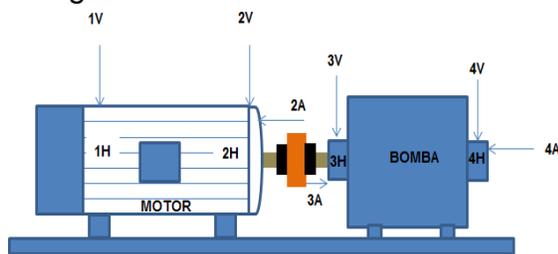
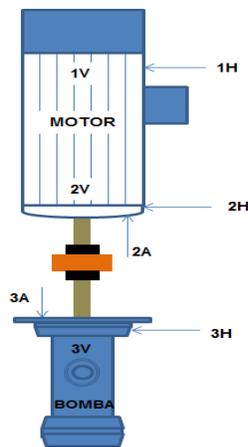


Figura 4. Puntos de medición en equipos con disposición horizontal. **Fuente:** White 2010, [5]

En el caso de máquinas como bombas que tengan disposición vertical como se muestra en la figura 5, se considera el sentido horizontal el lado de la bornera y el sentido vertical a 90° del sentido horizontal. El sentido axial se ubica paralelo a la flecha de la máquina.

Figura 5. Puntos de medición en equipos con disposición vertical.



Fuente: White 2010, [5]

En la figura 6, se muestra los puntos de ubicación del sensor de medición para la captación de las vibraciones en el ventilador de tiro forzado del horno 1.

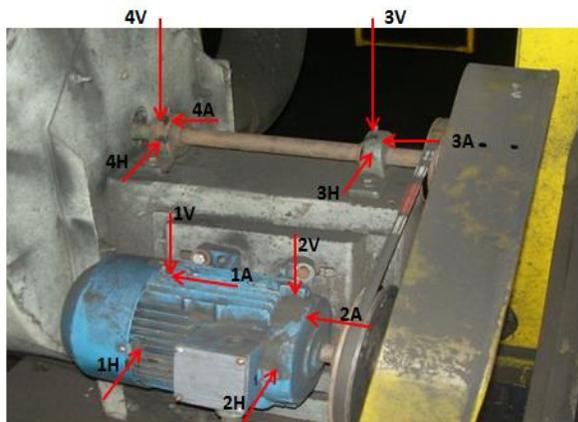


Figura 6. Puntos de medición del Ventilador Tiro Forzado Horno 1.

E. Recolección de los Datos

Una vez ubicados claramente los puntos donde se deben realizar las mediciones, se procede a medir las vibraciones de las máquinas, y como resultado de esta se obtuvieron los espectros, los cuales son la principal fuente sobre el estado funcional y operativo de la máquina. A continuación se muestra el espectro del Ventilador Tiro Forzado Horno 1:

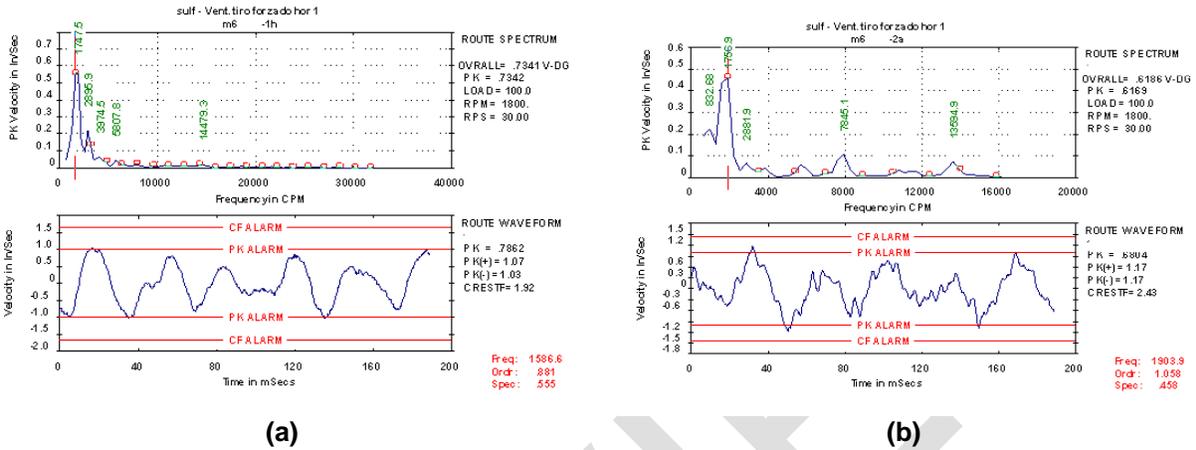


Figura 7. Ventilador Tiro Forzado Horno 1, (a) Espectro 1H, (b) Espectro 2A. Fuente: Elaboración de los autores

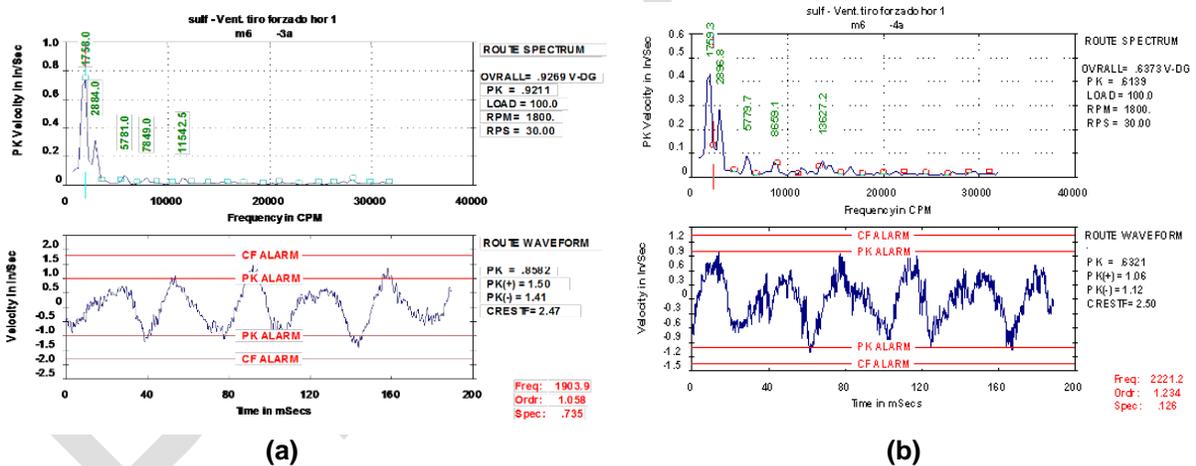


Figura 8. Ventilador Tiro Forzado Horno 1, (a) Espectro 3A, (b) Espectro 4A. Fuente: Elaboración de los autores

Al momento de la recolección de datos se tuvieron en cuenta: ruidos anormales, temperatura de los rodamientos, nivel de vibración excesivo al tacto, eventos inusuales en la operación de la máquina, fugas de vapor o fluidos aparentes, comentarios hechos por el operador del equipo en cuanto a las normalidades e irregularidades que ésta presente y fueron descargados los datos en la computadora que cuenta con el software master trend para el análisis.

Con base en lo anterior y con ayuda de los niveles de vibración permisibles descritos en la norma ISO 10816-3 (tabla 5), se procedió a analizar y evaluar los espectros obtenidos en cada punto, de tal modo que se determine con exactitud la falla presentada en cada equipo. Cabe resaltar que para realizar un diagnóstico confiable, al momento de la evaluación se tuvieron en cuenta los datos técnicos obtenidos en la evaluación previa de cada máquina. Como no se contaba con datos históricos de la máquina, se debió realizar el análisis solo con ayuda de la norma que aplica la máquina inspeccionada acompañada de la Tabla Charlotte D (carta de diagnóstico de vibraciones) mostrada en la tabla 6 [6] [7].

Tabla 5. Niveles de vibración permisible

Velocidad	in/s rms mm/s rms		Niveles de vibración permisible									
	10-1000 Hz r > 600 rpm	2-1000 Hz r > 120 rpm	Base	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	
0,43	11		D									
0,28	7,1		C									
0,18	4,5		B									
0,14	3,5		B									
0,11	2,8		B									
0,09	2,3		B									
0,06	1,4		A									
0,03	0,71		A									
Tipo de máquina			Bombas > 15 kW flujo radial, axial o mixto				Tamaño medio 15 kW < P ≤ 300 kW		Grandes máquinas 300 kW < P < 50 MW			
Grupo			Motor integrado		Motor separado		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H			
Grupo			Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1			

A Máquina nueva o reacondicionada	C La máquina no puede operar un tiempo prolongado
B La máquina puede operar indefinidamente	D La vibración está provocando daños

Fuente: Norma ISO 10816

Tabla 6. Lista ilustrada de diagnóstico de vibraciones

FUENTE DEL PROBLEMA	ESPECTRO TÍPICO	RELACIÓN DE FASE	OBSERVACIONES
Desbalanceo A. Desbalanceo Estático	1X RADIAL		El Desbalanceo Estático ocurre en fase y estático. La amplitud debido al desbalanceo aumenta por el cuadrado de la velocidad incrementada estando por debajo de la primera crítica del rotor (un incremento de velocidad de 3X = una vibración a 9X mayor) 1X RPM siempre estará presente y por lo general domina el espectro. Puede ser corregido colocando un solo peso de corrección de balanceo en un plano en el Centro de Gravedad del Rotor (CG). Una diferencia de fase aproximadamente de 90° debe existir entre los Horizontales OBS/S, así como entre los Verticales OBS/S. Usualmente también ocurre una diferencia de fase aproximadamente de 90° entre las lecturas de Fase Horizontal y Vertical en cada rodamiento del rotor desbalanceado (30°).
B. Desbalanceo de Par de Fuerzas	1X RADIAL		Un Desbalanceo de Par de Fuerzas resulta en un desfase de 180° del movimiento en el mismo eje. 1X RPM siempre está presente y normalmente domina el espectro. La amplitud varía por el cuadrado de la velocidad incrementada por debajo de la primera velocidad crítica del rotor. Puede causar una alta vibración axial así como radial. La corrección requiere la colocación de los pesos de balanceo en al menos 2 planos. Note que debe existir una diferencia aproximada de 180° entre las Horizontales OBS/S así como entre las Verticales OBS/S. También usualmente ocurre una diferencia aproximada de 90° entre las lecturas Horizontal y Vertical en cada rodamiento (30°).
C. Desbalanceo Dinámico	1X RADIAL		El Desbalanceo Dinámico es el tipo de desbalanceo que se corrige más comúnmente y es una combinación de Desbalanceo estático y de par de fuerzas. 1X RPM domina el espectro y realmente necesita una corrección en 2 planos. Aquí la diferencia de fase Radial entre los rodamientos externos e internos puede estar en cualquier lugar del rango entre 0° y 180°. Sin embargo, la diferencia de fase Horizontal debe cuadrar usualmente con la diferencia de fase Vertical, cuando se comparan las mediciones de los rodamientos externos e internos (30°). Si el desbalanceo predomina una diferencia de fase de 90° resulta entre las lecturas Horizontal y Vertical de cada rodamiento (30°).
D. Desbalanceo de Rotor en Voladizo	1X AXIAL & RADIAL		El Desbalanceo de Rotor en Voladizo causa un alto 100RPM en las direcciones Axial y Radial. Las lecturas Axiales tienden a estar en fase mientras que las lecturas de Fase Radial pueden estar invertidas. Sin embargo, las diferencias de Fase Horizontal usualmente cuadrarán con las diferencias de fase Vertical en el rotor desbalanceado (30°). Los Rotores en Voladizo tienen desbalanceos Estáticos y de Par de Fuerzas, cada uno de los cuales requiere una corrección. Así, los pesos de corrección casi siempre tendrán que ser colocados en dos planos para contrarrestar ambos desbalanceos, el estático y el de par de fuerzas.
Rotor Excéntrico	1X FAN RADIAL 1X MOTOR		La excentricidad ocurre cuando el centro de rotación está fuera de la línea de centro geométrico de una polea, engranaje, rodamiento, armadura del motor, etc. La vibración mayor ocurre a 100RPM del componente excéntrico en una dirección a través de la línea que une el centro de ambos rotores. Comparativamente, las lecturas de Fase Horizontal y Vertical usualmente difieren 0° a 180° (cada una de las cuales indica el movimiento en línea recta). El primer balanceo en rotor excéntrico resulta en reducir la vibración en un dirección radial pero incrementarla en la otra (dependiendo de la cantidad de excentricidad).

Fuente: García 2011, [6].

F. Elaboración del Informe

Finalmente se elabora y se entrega un informe general de cada máquina, donde se plasman los datos técnicos de la misma, los valores de las vibraciones, sus espectros más representativos, diagnóstico, condición según norma técnica de soporte y los trabajos correctivos a realizar.

3. Resultados

Posterior a la revisión de los espectros, se procede a detallar el diagnóstico de los equipos, las causas que generan las irregularidades presentes y finalmente las recomendaciones.

Es importante considerar que a cada modo de falla, le corresponde una acción de control de riesgo, en este caso de mantenimiento, es decir, las fallas calificadas de alta criticidad se deben analizar con mayor detalle a fin de identificar la mejor estrategia de mantenimiento.

Los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología nos permiten diseñar y definir las acciones a implementar en el plan de mantenimiento en la planta y tener un entendimiento claro del proceso, así como la forma en los equipos puede fallar [8] [9].

En la tabla 7 se muestra el resultado para el Ventilador Tiro Forzado Horno 1.

Tabla 7. Análisis de resultados de vibración para el ventilador de tiro forzado horno 1

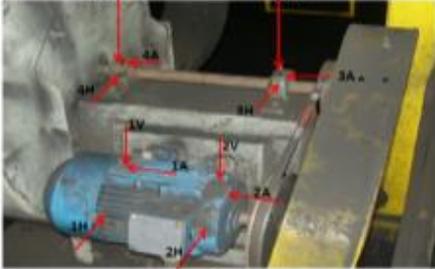
PUNTO	DIAGNOSTICO	CAUSA	RECOMENDACIONES
1	La condición vibracional presente en este punto del equipo es inaceptable debido a que el valor de velocidad de la vibración es de 0,734 In/seg. La frecuencia manifestada en el espectro es de 1800 cpm, lo que equivale a la 1X e indica que el equipo presenta problemas de desbalance en este punto.	Acumulación de polvo en las aspas del ventilador del motor o desprendimiento de una de ellas.	Desacoplar del ventilador para verificar desbalance estático y proceder con balanceo dinámico a motor. Continuar con el seguimiento vibracional.
2	La condición vibracional presente en este punto del equipo es inaceptable debido a que el valor de velocidad de la vibración es de 0,619 In/seg. La frecuencia manifestada en el espectro es la de 1800 cpm lo que equivale a la 1X e indica que el equipo presenta problemas de desbalance en este punto.	Descompensación de la polea conductora del movimiento por desgaste del material.	Desacoplar del ventilador para verificar desbalance estático y proceder con balanceo dinámico a motor. Continuar con el seguimiento vibracional.
3	Los valores de aceleración en este punto están en el rango de tolerable siendo el más elevado 1,711 G-srpm. Además de lo anterior, también se manifiestan elevadas amplitudes a bajas frecuencias,	Descompensación de la polea conducida debido al desgaste del material. Los niveles tolerables de fricción son por la falta de	Lubricar rodamientos, desacoplar del motor para verificar desbalance estático y proceder con balanceo dinámico a ventilador. Continuar con

	siendo la predominante la 1X rpm, indicando problemas de desbalance en este punto.	lubricación al rodamiento.	el seguimiento vibracional.
4	Los valores de aceleración en este punto están en el rango de inaceptable, siendo el más elevado de 3,750 G-s. Además de los anterior, se manifiestan elevadas amplitudes a bajas frecuencias siendo la predominante 1X rpm, indicando problemas de desbalance en este punto.	Descompensación de ventilador en sus aspas por desgaste del material o acumulación de polvo o material contaminante. Los niveles inaceptables de fricción son por la falta de lubricación al rodamiento.	Cambiar rodamientos, desacoplar del motor para verificar desbalance estático y proceder con balanceo dinámico a ventilador y continuar con el seguimiento vibracional.

Fuente: Elaboración de los autores

Debido que el Departamento de Mantenimiento necesita conocer los problemas puntuales de cada equipo al cual se le efectuó dicho análisis de vibraciones, es menester entregar un informe donde se plasme con claridad los problemas que se encontraron y sus debidas recomendaciones.

Por tal razón se ha elaborado un formato de informe para la descripción de los problemas encontrados y las respectivas medidas a tomar.

EQUIPO					VENTILADOR TIRO FORZADO HORNO 1				
					Potencia				
					estación				
					Marca motor		Siemens		
					Fecha de medición		03/11/2017		
					Condición vibracional		Inaceptable		
					Máximo nivel de vibraciones (In/seg)		0,927		
					Máximo nivel de vibraciones (g-s)		0,855		
					Diagnostico				
Abbreviated Last Measurement									
Punto	Vel (In/seg)			Ace (G-s)		Inaceptable condición de vibraciones. Se manifiesta la 1X rpm de la velocidad de giro del conjunto evidenciando desbalance. También se puede evidenciar alta fricción en los rodamientos			
1H	0,734	0,718	0,047	0,058					
1V	0,527	0,500	0,045	0,134					
2H	0,500	0,472	0,042	0,137					
2V	0,580	0,566	0,023	0,101					
2A	0,619	0,594	0,099	0,069					

3H	0,37 2	0,336	0,109	1,711	Recomendaciones Cambiar rodamientos del ventilador y balancear dinámicamente al ventilador					
3V	0.70 4	0,679	0,123	1,258						
3A	0,92 7	0,895	0,133	0,855						
4H	0,30 0	0,268	0,059	2,969						
4V	0,33 6	0,294	0,086	3,750						
4A	0,63 7	0,566	0,163	1,539						
Fecha de medición	Nivel Vib. (In/seg)	Condición	Desbalance en motor	Desbalance conducido	desalineación	Holgura	Cambiar rodamientos	Lubricación	Eje dobla	
03/12/2017	0,927	Inaceptable		X			X			

<p style="text-align: center;">Punto 1H</p>	<p style="text-align: center;">Punto 3A</p>
--	--

Figura 11. Reporte de vibraciones del ventilador de tiro forzado horno 1.

Fuente: Elaboración de los autores

4. Conclusiones

En este artículo se propuso una metodología para diagnosticar fallas localizadas en equipos de una línea de producción. Esta metodología facilitara la implementación del Mantenimiento Preventivo y a la vez disminuirá las paradas de planta no programadas causadas por las fallas. Es una metodología simple que nos permite de una forma clara entender cómo opera un sistema pero sobre todo la forma como falla.

La aplicación del método de criterios ponderado fue de gran ayuda en la labor de seguimiento vibracional realizado en esta línea de producción ya que se logró determinar

el número de equipos críticos dentro de la planta, al tiempo que con la información suministrada por los operarios de dichas máquinas, la inspección visual del equipo, se logró la creación de la hoja de vida de los equipos para consignar en ellos los datos más relevantes de las máquinas.

Se ilustro al Departamento de Mantenimiento respecto al uso e importancia de las técnicas de mantenimiento predictivo, destacando en este caso el Análisis de Vibraciones Mecánicas mediante el cual se diagnosticaron fallas en los equipos críticos, los cuales manifestaban un aparente estado funcional perfecto, pero que debido a su modo de operación han llegado al punto de desbalancearse dinámicamente causando daños constantes en rodamientos y en sus estructuras de soporte.

Para la planeación del mantenimiento basado en un análisis de falla por medio de las vibraciones mecánica, es necesario tener en cuenta que ahora el plan es en función de los modos de falla de los equipos y no necesariamente del equipo mismo.

Por otra parte, cabe resaltar la importancia y el uso de otras técnicas como el Análisis Termográfico a la hora de completar o respaldar un diagnóstico hecho a través de Análisis de Vibraciones Mecánicas, pues en estas se muestran tendencias y variaciones de temperatura que pueden repercutir en el funcionamiento de los equipos.

5. Referencias Bibliográficas

- [1] R. Tarantino, F. Szigeti and E. Colina E. (2000, jun). Generalized Luenberger observer-based fault-detection filter design: an industrial application. *Control Engineering Practice*. Vol 8 Issue 6. pp. 656-671.
- [2] S. Figeroa, C. Parra y A. Crespo. (2005, ene). Modelo Integral para Optimizar la Confiabilidad en Instalaciones Petroleras. *Revista Ingeniería y Gestión del Mantenimiento*. N° 39. pp.36-43. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/modelo-integral-para-optimizar-la-confiabilidad-en-instalaciones-petroleras>
- [3] S. Aranguren y R. Tarantino. (2004, Jun). Sistemas para la Detección y Diagnostico de Fallas: Implantación Industrial. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*. Vol 1 N°3. pp 85-90. Disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/01_general/revista_3/13102011/12.pdf
- [4] C. San Martin, E. Estupiñan and D. San Martin. (2010, oct). A Methodology for the Detection and Diagnostic of Localized Faults in Gears and Rolling Bearings Systems. *Revista Chilena de Ingeniería*. Vol 18 N°1. pp 44-52. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v18n1/art06.pdf>.
- [5] White Glen. *Introducción al Análisis de Vibraciones*. Editorial Azima DLI. Ed N° 1. Woburn-USA. 2010.
- [6] W. Garcia Gonzalez. "Análisis Causa Raíz Mediante Vibraciones a Compresor Aerzen de Tornillo". Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Universidad Veracruzana-Campus Coatzacoalcos, Veracruz. Mexico. 2011.
- [7] R. González Carvajal. "Implementación del Mantenimiento Predictivo Basado en el Análisis de Vibración en los Compresores de Tornillo de una Empresa Procesadora y Enlatadora de Productos del Mar". Trabajo de grado Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente. Barcelona. España. 2009.
- [8] S. Aranguren Zambrano y R. Tarantino Alvarado. (2009, nov). Metodología y Tecnologías de Detección y Diagnostico de Fallas Aplicadas a Procesos Industriales. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*. Vol 1 N°13. pp 106-116. Disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/03_v13_18/revista_13/04112011/14.pdf

[9] L. Casteñeda Heredia, J. Restrepo Ochoa, C. Zuluaga Giraldo, E. Builes Moreno y E. Rueda Muñoz. (2003, feb). Implementación de un Programa para el Análisis de Vibraciones Libres en Ejes, por medio de Elementos Finitos para el Sistema Vibrafin". *Revista Universidad de EAFIT*, N°29. Pp 51-62. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/922/827>

[10] D. Barros Chaparro, G. Valencia Ochoa y L. Vargas Henríquez. (2014, jun). Implementación del RCM II en Planta de Producción de Lingotes de Plomo. *Scientia et Technica*. Año XIX, Vol 19, No 1. Universidad Tecnológica de Pereira. Pág. 200 – 208.

PREVIEW