

## **VIBCOMBDIAGBELL17: HERRAMIENTA DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

### **Autor:**

Ing. Cástulo Vázquez Núñez, Especialista, Master en Educación Superior, Ingeniero Electromecánico, Profesor Asistente, Aspirante a Investigador, Central Termoeléctrica Máximo Gómez Báez, Esp. A en Diagnostico Vibroacústico, Certificado con 2da categoría, Calle 90 S/N, Boca, Mariel, Artemisa, Cuba, castulo@ctemg.une.cu

### **Resumen**

#### **Vibcombdiaqbell17: herramienta de la Gestión de Mantenimiento Industrial**

El trabajo “*Vibcombdiaqbell17: herramienta de la Gestión de Mantenimiento Industrial*” está dirigido y realizado por los autores, persigue el objetivo de elevar la durabilidad de los rodamientos de los ventiladores de caldera. De un promedio de seis meses en explotación se ha elevado a cuatro años de vida útil, estos logros se han conseguido mediante la aplicación de un conjunto de técnicas: análisis dinámico, lubricación y desgaste que combinan en su empleo de dos niveles y dos técnicas, lo cual determina el momento oportuno para intervenir el equipo, teniendo en cuenta el grado de desgaste y las necesidades de lubricación.

**PALABRAS CLAVES:** Diagnóstico, Desgaste y frecuencias de fallos de rodamiento

### **Abstract**

#### **Vibcombdiaqbell17: tool of the Administration of Industrial Maintenance**

The work “*Vibcombdiaqbell17: tool of the Administration of Industrial Maintenance*” is directed and carried out by the authors, it pursues the objective of elevating the durability of the bearing of the boiler fans. Of an average of six months in exploitation has risen to four years of useful life, these achievements have been gotten by means of the application of a group of technical: dynamic analysis, lubrication and waste that combine in their employment of two levels and two techniques, that which determines the opportune moment to intervene the team, keeping in mind the waste degree and the necessities of lubrication.

**KEY WORDS:** Diagnostic, Wear away, and frequencies the bearing

### **INTRODUCCIÓN:**

La materialización del mantenimiento proactivo en la explotación de los rodamiento en la Central Termoeléctrica “Máximo Gómez” del Mariel ha permitido alargar la vida útil de los rodamiento como

elemento más fallido en el Sistema de Tiro Balanceado y elevar la eficiencia en el trabajo de los equipos rotatorios mediante la introducción de la nueva herramienta *Vibcombdiaqbell17* en el Diagnóstico eficiente, eficaz y seguro de los ventiladores de caldera. En el trabajo se da solución al problema planteado mediante tres niveles de límites de severidad por vibraciones, ruido y temperatura con tres niveles de seguimiento con sus correspondientes acciones regidos por el algoritmo para la lubricación oportuna y cambio de los rodamientos y mediante el empleo de técnicas de Aceleración, Impulso de choque, espectros y envolvente de la aceleración en tres rangos de frecuencias.

### **PROBLEMA:**

Se desconocía como evitar proactivamente la rotura de los ejes de los equipos por empeoramiento drástico de la condición de los rodamientos.

### **SOLUCIÓN:**

Recomendar el cambio proactivo de los rodamientos dentro de la curva **P-F** después del **fallo potencial** en seguimiento en los umbrales del **fallo funcional** cumpliendo las exigencias mínimas de condiciones para el cambio mediante la introducción de la nueva herramienta *Vibcombdiaqbell17* en el diagnóstico eficiente, eficaz y seguro de los ventiladores de caldera.

### **MATERIALES Y METODOS:**

La nueva herramienta *Vibcombdiaqbell17* emplea los siguientes procesos:

#### **1.-Monitoreo de la condición.**

Para el análisis de los datos y la realización del diagnóstico se emplearon las técnicas de:

Medición de datos en un primer nivel de monitoreo que consta de: valores globales (aceleración de vibración, velocidad, desplazamiento, corriente y voltaje (parámetros de proceso), impulso de choque (condición del rodamiento), temperatura y RPM) en la periodicidad establecida en el Manual de Procedimiento del Grupo de Diagnóstico e Índice.

#### ***Límites de severidad por vibraciones.***

Para los ventiladores de caldera como equipos de bajas velocidades [894 rpm] se adecuaron las condiciones de evaluación de la ISO 10816-3 y se determinaron los siguientes límites de severidad por vibraciones.

Fig. 1. Límites de severidad por vibraciones para conjunto motor ventilador de caldera.

Tipo de alarma	RMS Superior			
Nombre	Etiqueta por defecto			
<b>Información de Límites</b>				
		mm/s	Color	Disparador
Alarma	<input checked="" type="checkbox"/>	4,5		... <input type="radio"/>
Advertencia	<input checked="" type="checkbox"/>	2,3		... <input type="radio"/>
Pre-Adv.	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4		... <input type="radio"/>
Eliminar disparador				

#### Límites de severidad por ruido.

Para los ventiladores de caldera como equipos de bajas velocidades el estudio de las normas, y la experiencia acumulada a través de los métodos de la observación científica y el causi- experimento permitió al autor elaborar los siguientes límites de severidad para la evaluación del ruido en los rodamiento.

Fig. 2. Límites de severidad por ruido para rodamiento de baja velocidad

Tipo de Alarma	Superior				
Nombre	Etiqueta por defecto				
<b>Información de Límites</b>					
		Máx (dBsv)	Nivel base	Color	Disparador
Alarma	<input checked="" type="checkbox"/>	30	15		... <input type="radio"/>
Advertencia	<input checked="" type="checkbox"/>	20	10		... <input type="radio"/>
Pre-Adv.	<input checked="" type="checkbox"/>	10	5		... <input type="radio"/>
Eliminar Disparador					

Estos límites son editados por el autor principal de este trabajo para el Software de Bases de Datos del VibxpertII denominado Omnitrend como 3 niveles de severidad.

Fig.3. Límites de severidad por ruido para rodamiento de baja velocidad editados para Omnitrend.

### **Límites de severidad por temperatura.**

Importancia significativa encierra el monitoreo de la temperatura como indicador del estado de la lubricación y directamente al estado de los rodamiento, el motor chino YKK-560-8 posee características de resistencia térmica de aislamiento que permiten trabajar con una temperatura de F [límite =  $145^{\circ}\text{C}$  ( $40^{\circ}\text{C} + 105^{\circ}\text{C}$ ) <  $155^{\circ}\text{C}$ ] y por ello establece para los ventiladores los siguientes límites de severidad por temperatura:

Tabla 1. Límites de severidad para rodamiento por temperatura

Chumaceras	Pre-Advertencia	Advertencia	Alarma
1 LV	$55^{\circ}\text{C}$	$60^{\circ}\text{C}$	$65^{\circ}\text{C}$
2 LC	$55^{\circ}\text{C}$	$60^{\circ}\text{C}$	$65^{\circ}\text{C}$
3 LC	$65^{\circ}\text{C}$	$70^{\circ}\text{C}$	$75^{\circ}\text{C}$
4LR	$65^{\circ}\text{C}$	$70^{\circ}\text{C}$	$75^{\circ}\text{C}$

En los rodamiento el grado de temperatura de advertencia parte desde los  $70^{\circ}\text{C}$  con un grado no tolerable de  $85^{\circ}\text{C}$ , el autor establece el nivel de alarma de  $75^{\circ}\text{C}$  donde se debe tomar todas las medidas para eliminar la amenaza de muy alta temperatura en las chumaceras del pedestal de los rodets de los ventiladores. Ya a partir de los límites de advertencia se registran acciones de comprobar el estado físico y químico de los aceites y grasas en el laboratorio.

### **Sistema de registros y base de datos.**

Al registrar [salvar] la medición, el especialista observa en la pantalla la medición realizada en un gráfico lineal donde se le muestra la tendencia que obliga, en caso de ser alcista, a recurrir a otros niveles de técnicas del “Multimodo” en el VibxpertII especialmente en nivel de “Señales”, específicamente Señales en el Tiempo, Espectros y Envoltentes de la Aceleración, esta última muy importante para determinar el estado de los rodamiento y sus frecuencias de fallos.

## **2.- Guía para el cambio oportuno de los rodamientos.**

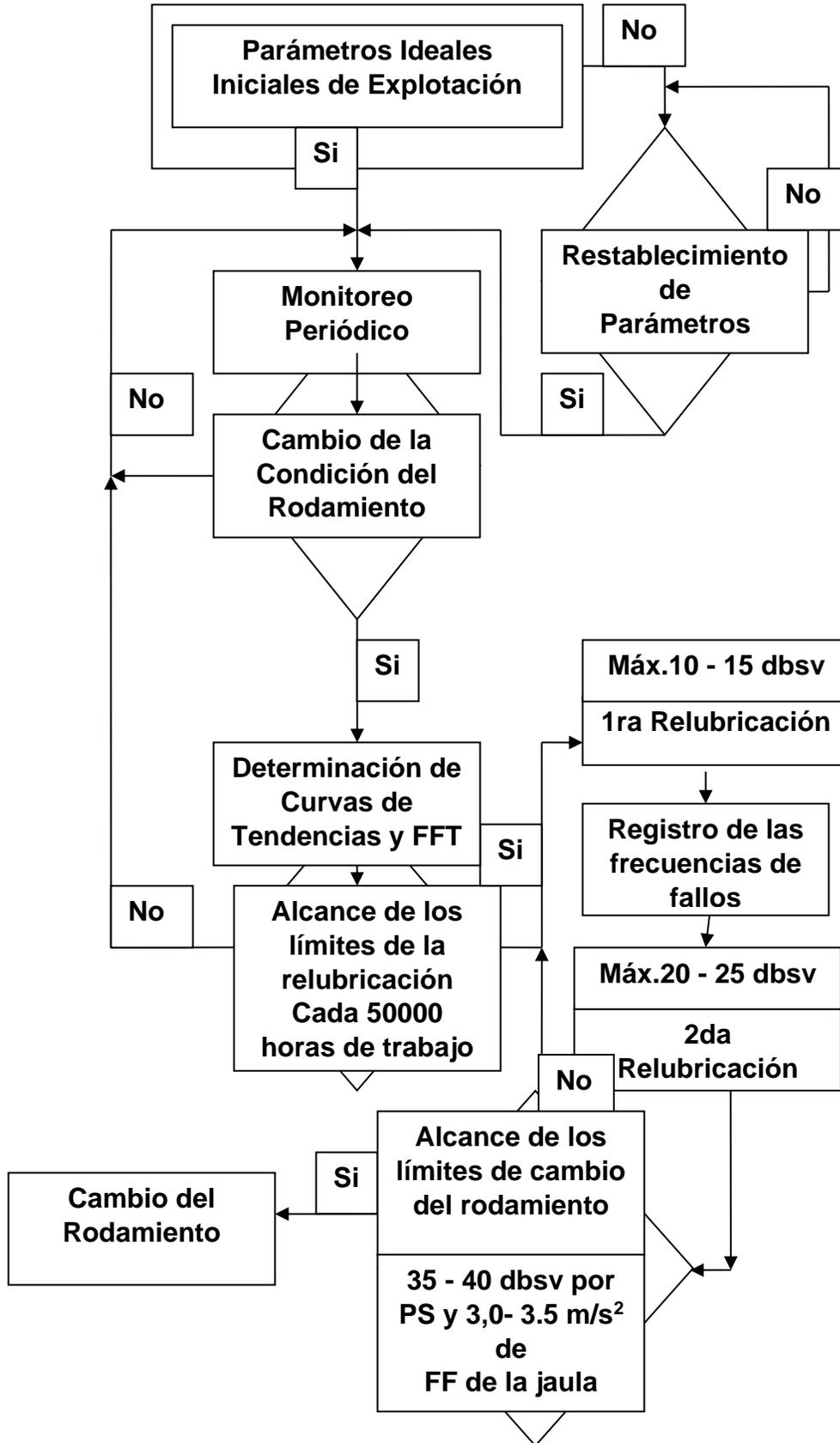
La tabla “Límites para la relubricación y cambio de los rodamientos” es la base del algoritmo.

Tabla 2. Límites para la relubricación y cambio de los rodamientos.

Nomenclaturas		Relubricación						Cambio de rodamiento					
		1ra			2da			Insatisfactorio			No permisible		
Equipos	Rodamientos	GE	BC U	D B	G E	BC U	D B	GE	BCU	DB	G E	BC U	D B
MB de Petró- leo	6317	20	2.0	30	30	2.5	40	45	3.0	<5 5	55	>4. 5	55
	N317	20	2.0	30	30	2.5	40	45	3.0	<5 5	55	>4. 5	55
Motores de Ventiladores	N234 NU 234	15	1.5	15	20	2.0	20	30	2.6	35	45	>4. 0	45
	6034 6234	15	1.5	15	20	2.0	20	30	2.6	35	45	>4. 0	45
Pedestales de Ventiladores	733013	15	1.5	15	20	2.0	20	30	2.6	35	40	>3. 5	40
	UN 332 MI	15	1.5	15	20	2.0	20	30	2.6	35	40	>3. 5	40
MB de A.. Desm.	6311	25	2.3	35	35	2.8	45	50	3.5	55	60	>5. 0	65
	N 311	25	2.3	35	35	2.8	45	50	3.5	55	60	>5. 0	65
MB de A. Transf.	6308	25	2.3	35	35	2.8	45	50	3.5	55	60	>5. 0	65
	N 308	25	2.3	35	35	2.8	45	50	3.5	55	60	>5. 0	65
MB de A. Inc.	6314	25	2.3	35	35	2.8	45	50	3.5	<5 5	60	>5. 0	65
	N314	25	2.3	35	35	2.8	45	50	3.5	<5 5	60	>5. 0	65
MB de A. Proc.	6313	25	2.3	35	35	2.8	45	50	3.5	<5 5	60	>5. 0	65
	N313	25	2.3	35	35	2.8	45	50	3.5	<5 5	60	>5. 0	65

#### Algoritmo de relubricación y cambio de rodamiento.

La Guía contempla el empleo del algoritmo de relubricación y cambio de rodamiento.



Como ejemplos de la oportuna intervención tenemos el caso del VTF A7; VTI B8; VTF B7 y otros como en proceso se encuentra el VTF B5.

### 3.-Caso VTF A7:

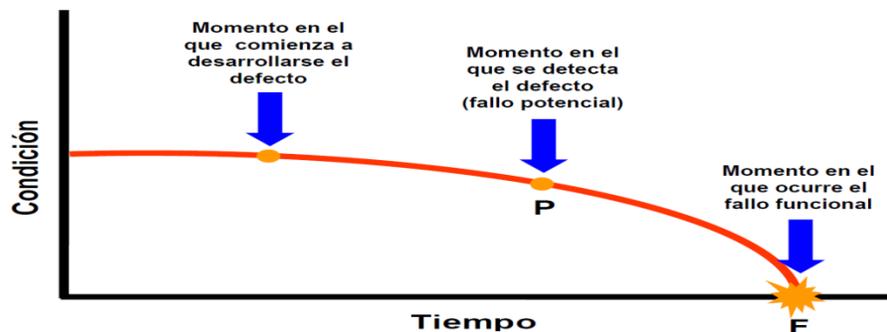
Al bloque 7 se le realiza mantenimiento capital desde Noviembre del 2012 hasta febrero del 2014. Resultados del monitoreo primario:

Tabla 4.- VTF A7 a las 16:35h del 24.12.13

Dirección	Parte del Motor		Parte de la Bomba	
	Chumacera No1	Chumacera No2	Chumacera No3	Chumacera No4
Vertical	1.17	1.55	1.64	1,64
Horizontal.	0.98	1.02	1.44	1,45
Axial	0.96	1.15	1.67	1,41
SP.	0/10	0/12.	-10/10	-10/-7
Temperatura	33	36	60.7	38

Estos parámetros por vibraciones son ideales, al igual los de temperatura, no así los de ruido en los rodamiento del motor que son demasiados altos para unos rodamiento nuevos ya que en el valor Max alcanzan ya valores límites de Pre-advertencia [10 dBsv]. Cuando se alcanzan los valores límites de Pre-advertencia [10 dBsv] en el *Vibcomdiagbell17* se establece profundizar en el monitoreo pasando al segundo nivel [nivel de señales en el tiempo] y utilizar principalmente las técnicas de señales en el tiempo propiamente dicho; espectros de frecuencias y envolventes de aceleración. Al utilizarse la envolvente de la aceleración se comprobó la existencia de frecuencias de fallos (FF) de los rodamientos N234 y 6234. Del rodamiento N234 se detectó la FF del aro exterior con  $0,508 \text{ m/s}^2$  a  $129.90 \text{ Hz}$  en 2do orden y de la velocidad de la jaula con  $0,233 \text{ m/s}^2$  a  $6,50 \text{ Hz}$  en 9no orden. Del rodamiento 6034 hallamos la de la velocidad de los elementos rodantes con  $0,447 \text{ m/s}^2$  a  $55,20 \text{ Hz}$  en 4to orden y la FF de los elementos rodantes con  $0,263 \text{ m/s}^2$  a  $103,90 \text{ Hz}$  en 6to orden, lo que en el *Vibcomdiagbell17* se interpreta como dentro de la curva P-F [0,250-3,0 m/s<sup>2</sup>] y haber rebasado el fallo potencial.

Fig.4.- Curva P-F



El autor de este trabajo se apropia de criterios de varios especialistas elaborando que el proceso de falla de un rodamiento transcurre por nueve (9) etapas:

PRIMERA ETAPA: Primer pico a frecuencias muy altas, difícil de localizar.

SEGUNDA ETAPA: Al aumentar la magnitud de los defectos, se excita la frecuencia natural del sistema.

TERCERA ETAPA: El fallo concreto de un elemento del rodamiento se hace presente con su frecuencia.

CUARTA ETAPA: Aparecen armónicos de la frecuencia de fallo.

QUINTA ETAPA: Debido al incremento de vibraciones empiezan a aparecer bandas laterales. Esta fase es propicia para el cambio del rodamiento.

SEXTA ETAPA: El desgaste debido a la vibración genera unas holguras excesivas que provocan el aumento de los armónicos de la frecuencia de giro.

SEPTIMA ETAPA: Con el deterioro del rodamiento aparecen unos montículos característicos. Estos generan un ruido apreciable por el técnico.

OCTAVA ETAPA: LA situación es prácticamente insostenible y los niveles de vibración alcanzan sus máximos.

NOVENA ETAPA: El rodamiento sufre una rotura que hace parar a la máquina.

Estos pasos son aproximados y varían en función del caso concreto, pero pueden servir de guía para determinar la severidad en el fallo de un rodamiento.

Citando a Ricky Smith, (2017), CMRP, Allied Reliability: “El objetivo es detectar signos tempranos de fracaso aleatorio vigilando los indicadores de la salud para determinar cuando el cojinete fallará utilizando el intervalo P-F. El intervalo P-F es el tiempo entre el descubrimiento de un fracaso potencial (P) y cuando el cojinete ha fallado funcionalmente (F)”.

En el *VibcombdiaBell17* la envolvente de la aceleración permite realizar el cambio de los rodamientos a partir de la 7ma etapa cuando el rodamiento entra en la parte final de la curva P-F siendo un fallo funcional que evita el fallo potencial. Dentro de las FF el *VibcombdiaBell17* determina que la más peligrosa es la FF del elemento jaula dentro de las partes principales del rodamiento. También la curva P-F a utilizar en el análisis de la envolvente es de modo de falla “B”, acentuada en la zona de desgaste. Se veló por la relubricación oportuna de los rodamientos tras 5000 horas de trabajo [alrededor de cada siete (7) meses de trabajo] y en cada cambio de nivel de severidad y seguimiento, utilización por medio del algoritmo de lubricación.

Manteniendo el monitoreo primario mensual de primer nivel en el VibxpertII se refleja en el VTF A7 un alza continuada del impulso de choque mientras las vibraciones no alcanzan el segundo límite; el 16 de Marzo de 2017 el impulso de choque alcanzó un nivel Max de 26 dBsv en el rodamiento 1, apareciendo frecuencias de fallos del rodamiento. El *VibcombdiaBell17* contempla que al alcanzar el segundo nivel del límite de severidad en cualquiera de las tres técnicas primarias fundamentales de monitoreo por condición [vibración; ruido o temperatura] se pasa a un monitoreo de mayor frecuencia [segundo nivel de seguimiento:(quincenal (de 10 dBsv hasta 15 dBsv), semanal (de 16 dBsv hasta 25 dBsv)]. El tercer nivel se alcanza al sobrepasar los 26 dBsv y se pasa al monitoreo diario de la condición del rodamiento.

Ya para esta fecha los valores de la envolvente de la aceleración a 400 Hz en 800 líneas reflejaba la velocidad de la jaula dentro de la curva P-F con  $0,960 \text{ m/s}^2$  a 6,50 Hz en 1er orden por amplitud de las FF dentro de los límites de  $0,250 \text{ m/s}^2$  como límite inferior correspondiente al fallo potencial [nivel de Pre-advertencia] hasta  $3,0 \text{ m/s}^2$  como límite superior correspondiente al fallo funcional [nivel de alarma]. Se relubricaron los rodamientos del motor. Ya en la medición del 21 de Marzo del 2017 la FF de la jaula alcanza  $1,592 \text{ m/s}^2$  [nivel de advertencia] y se propone por el autor la necesidad de prepararse para el cambio del rodamiento No 1 del VTF A7 pues se cumplía en la envolvente las condiciones descritas en la 7ma etapa del deterioro del rodamiento 1. Se recomendó relubricar el rodamiento. En el monitoreo diario del 31 de marzo alcanza un valor máx. de ruido de 37 dBsv y de valor valle de 11 dBsv que sobrepasa el nivel de alarma. Se comprueba el estado de la grasa en los rodamientos y se cambia.

### RESULTADOS:

El 05 de Abril de 2017 en monitoreo diario esperando la ocasión oportuna para el cambio del rodamiento el ruido de valle alcanza los 15 dBsv y el ruido máximo 38 dBsv; la FF de la jaula unos  $3,696 \text{ m/s}^2$  y  $4,187 \text{ m/s}^2$  sobrepasando el valor máx. del nivel de alarma en la curva P-F. Ese nivel de ruido junto a la aparición de las frecuencias de fallos y en especial la de la jaula del rodamiento N234 como preponderante se decide la intervención urgente al VTF A-7 encontrándose la jaula rajada que al liberar la tapa de la cavidad los cilindros cayeron desparramados.

### CONCLUSIONES:

No hace mucho, tal vez hasta el año 2014 el cambio de un rodamiento se regía por el menor ruido, hoy puedo asegurar son las condiciones del sistema las que determina ese cambio ya que la herramienta de Diagnóstico *Vibcomdiagbell17* asegura la oportuna intervención con reserva para el cambio de rodamiento después de agotar casi toda su vida útil en la mejor oportunidad y disponibilidad del sistema eléctrico nacional. El *Vibcomdiagbell17* se erige sobre la experiencia empírica del autor y la conciliación de todos los aportes teóricos del mismo en los últimos 6 años resultado de la mejora continua de su labor como Especialista en Diagnóstico Vibroacústico en la práctica diaria cuyo núcleo lo integran las posibilidades técnicas del equipamiento de Pruftechnik y el dominio creciente que aportan ciencias como la Tribología, los modelos de criticidad y los métodos de análisis de Causa Raíz, Impulsos de Choque, Espectros de Velocidad y Envolventes de Aceleración.

Hoy los rodamientos alargan su vida útil a más de cuatro (4) años lo cual ha permitido los altos resultados productivos en general obtenidos por la Central Eléctrica ratificando la utilidad del *Vibcomdiagbell17* en el logro de la eficacia y eficiencia de la explotación con seguridad de los ventiladores de caldera en la Máximo Gómez Báez.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

**Palomino Marin, Evelio. 2015.** *Envuelto en el dilema de la envolvente. Notas Tecnicas.* 2015.

**Smith, Ricky. 2017.** *Principios básicos sobre cojinetes.* 2017.

**BIBLIOGRAFÍA:**

Berggren, Charles. 1988 . *Diagnosing Fault in Rolling Element Bearings – Part 1. Assesing Bearing Condition.* 1988 .

Entek Scientific Corporation. May, 1988.. *Set Alarm Levels Without Guess Work; Proceedings 12th Annual Meeting* . s.l. : The Vibration Institute, May, 1988.

Kruger, Willian. 2016. *Detectando fallas en rodamientos utilizando metodos de pruebas eléctricas y mecánicas de vibración* . Canada : s.n., 2016.

Lee, Greg. 2017. *Envolvente de la Aceleración.* Ludeca : s.n., 2017.

Ming , Xu. *Spike Energy and its applications” Shock and Vibrations Digest, Vol 27, No. 3.*

Palomino Marin, Evelio. 2015. *Envuelto en el dilema de la envolvente. Notas Tecnicas.* 2015.

Smith, Ricky. 2017. *Principios básicos sobre cojinetes.* 2017.

Tylor, James . 2014. *Determination of Antifriction Bearing Condition by Spectral Analysis”; Sixth Series of Technology Interchange on Machinery Vibration Monitoring and Analysis; The Vibration Institute.*

Vázquez Núñez, Cástulo. 2014. Guía para determinar el cambio de rodamiento, ANIR, Innovación.

Vázquez Núñez, Cástulo. 2017. Cambio proactivo de un rodamiento: Generalización de la Guía. Fórum 2017. CTE Máximo Gómez, Dirección Técnica.

Vázquez Núñez, Cástulo. 2017. Nuevos límites de severidad para motores de ventiladores de la caldera. ALTAE 2017.C Habana, Cuba.