

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
<b>Ejecutor 1</b>		
Nombre (s):	Jhon Helberth	
Apellido (s):	Otálora Martínez	
Código:	20091275025	
E-mail:	jhonotaloram@gmail.com	
Teléfono fijo:	2900019	
Celular:	3134703313 / 3132095449	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	"Descripción y análisis de los diferentes tipos de fallas en rodamientos utilizados en motores eléctricos de baja y media tensión a partir de la técnica de análisis de vibraciones"	
Duración (estimada):	26 semanas	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyectos científicos y comunitarios.	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos industriales	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Educación y comunicación en ciencia y tecnología	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Resistencia de materiales, Dinámica, Tribología, Diseño de elementos de Maquinas, Física de oscilaciones y ondas, Mantenimiento	
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)		
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)		

## TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción.....	4
2	Planteamiento del Problema.....	5
3	Estado del arte.....	6
4	Justificación.....	10
5	Objetivos.....	11
5.1	General.....	11
5.2	Específicos.....	11
6	Marco teórico.....	12
7	Metodología.....	18
8	Cronograma.....	19
9	Presupuestos.....	20
10	Bibliografía.....	23

## INDICE DE FIGURAS

- *Figura 1. Evolución de Vibraciones en un rodamiento de bolas.....12*
- *Figura 2. Espectro de rodamiento Falla pista interior.....16*
- *Figura 3. Espectro Rodamiento Falla pista Exterior.....16*
- *Figura 4. Espectro Rodamiento Elementos Rodantes.....17*
- *Figura 5. Espectro Rodamiento falla Canastilla.....17*

## 1. INTRODUCCION

Casi toda la actividad industrial ha sido condicionada, a menudo de manera revolucionaria, por el acelerado desarrollo de la tecnología. Debido a que es parte central de casi todos los medios de fabricación y operación, la ingeniería resulta afectada de modo único. Se considera que el ingeniero debe tener un conocimiento más amplio de un universo que se ensancha a cada momento.

Una de las áreas de la ingeniería que en el campo industrial ha crecido de manera muy rápida ha sido el mantenimiento, este puede definirse como un conjunto de técnicas y procedimientos orientados a preservar las funciones de los activos industriales, de forma segura, eficiente y confiable, garantizando la integridad de la maquinaria, la seguridad personal, el medio ambiente, la continuidad del proceso productivo y la calidad del producto final. Por lo tanto los ingenieros requieren cada día más conocimientos sobre los mecanismos que componen las maquinas industriales y por ende requieren de herramientas efectivas para reconocer conceptos y de esta manera disminuir fallas de maquinarias antes de daños irreparables y que causan muchos gastos tanto de producción como de reparación de las maquinas.

Dentro de estos conceptos se encuentra el mantenimiento predictivo o basado en condición cuyo objetivo es evaluar el estado del equipo, y sus cambios en el tiempo, sin necesidad de realizar paros, para determinar la condición de la maquina, se evalúa una serie de síntomas que ella emite al exterior, dentro de las técnicas usadas aquí, sobresale el análisis por vibraciones mecánicas, mediante la aplicación de esta técnica a un motor eléctrico, se puede diagnosticar y examinar daños en los elementos mecánicos, como lo son los rodamientos, flexión en el eje, rotura de barras, entre otros, de allí la gran importancia que tiene esta técnica para obtener datos y llevar a una causa raíz de las causas de los problemas con estos elementos.

Con este proyecto se quiere introducir a los futuros ingenieros en cómo funciona esta herramienta, además lo oportuna que es para obtener datos con los que se pueda realizar una posterior análisis a la falla presentada de manera que evitemos que esta ocurra nuevamente.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El análisis de vibraciones es un método muy conocido, en especial, en el mantenimiento de equipos rotativos, como motores, turbinas y bombas, dentro de contexto mundial de manutención es una de las técnicas con mayor avance y de más rápido crecimiento en su nivel de aplicación, esto a partir del avance de las diferentes filosofías de conservación de equipos. Con el propósito de obtener mayores controles esta técnica se basa en el hecho que la mayoría de las partes de la máquina dará un tipo de aviso antes de que fallen. Para percibir los síntomas con que la máquina nos está advirtiendo requiere varias pruebas no destructivas, tal como análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, análisis de vibraciones y medición de temperaturas. El uso de estas técnicas, para determinar el estado de los artefactos dará como resultado dispositivos mucho más eficientes.

Aunque el análisis de vibraciones es una técnica que se usa para detectar fallos, esta tiende a implementarse por empresas con grandes presupuestos debido al costo del equipo necesario, *desafortunadamente se detecta que en la industria que uno de los elementos menos monitoreados y que es causante de muchos paros no programados es el motor eléctrico,<sup>1</sup>* ya que muchas empresas y talleres de reparación de este tipo de equipos cuentan con herramientas básicas de revisión como estetoscopios, con lo que se obtiene muy poca información para realizar un análisis y tomar decisiones, al final, esto se transforma en costosas reparaciones.

Otra dificultad que se encuentra en la bibliografía encontrada, se aborda el tema como herramienta que brinda información para realizar mejores programas de intervención de maquinas, pero esta solo es una parte de lo que se puede desarrollar, un tema muy importante que poco o nada se toca es el de análisis de causa raíz, esto causa que se sub valore la capacidad de esta tremenda arma, el tema no se debe tratar como meras reparaciones, lo importante es detectar que causo la falla y que correctivos se deben tomar para que esta no vuelva a ocurrir.

---

<sup>1</sup> HIDALGO B. Juan C. Análisis de las zonas de falla de Motores Eléctricos. (2010). Recuperado de: [http://www.termogram.com/pdf/nov14\\_10/Paper\\_IEEE\\_Concapan\\_XXI.PDF](http://www.termogram.com/pdf/nov14_10/Paper_IEEE_Concapan_XXI.PDF)

### 3. ESTADO DEL ARTE

*“El análisis de señales de vibración es una de las técnicas más importantes, utilizadas como parte de la monitorización de procesos industriales y diagnóstico de defectos. Su base es extraer la información de las señales en cuestión, sacando a la luz ciertas características dominantes que faciliten el proceso de diagnóstico de defectos.”<sup>2</sup>*, como técnica práctica en la aplicación de monitorización de mantenimiento, esta ha sido una herramienta fundamental que contribuye a los expertos en investigar los fenómenos adyacentes ligados a esta, como nos indica un especialista en el tema *“Las técnicas de análisis de vibraciones para el diagnóstico que más se aplican son extraídas fundamentalmente del campo del procesamiento de señales. Entre estas técnicas destaca el análisis espectral debido a que muchos fenómenos físicos relacionados con las vibraciones, que aparecen debido a desperfectos de las máquinas, presentan propiedades periódicas”<sup>3</sup>*, aquí empieza a intervenir otro aspecto importante implicado en el tema y es referente a procesamientos de señales.

El procesamiento de señales no es más que el procesamiento e interpretación que se realiza a la información suministrada de forma frecuencial, esta interpretación se logra como nos indica otro experto *“El análisis de la forma de onda o de la vibración en el dominio tiempo consiste en extraer información útil para el diagnóstico del gráfico de la amplitud vibratoria versus el tiempo. Resulta ser de gran utilidad cuando para fallas diferentes los espectros son similares.”<sup>4</sup>* Las ondas de las que nos hablan son el resultado de las vibraciones que se hacen notorias cuando existen un desperfecto en el equipo analizado, se establece que estas ondas son captadas o sobresalen de gran manera cuando existe un problema, ya que todo el conjunto de la máquina produce vibraciones pero que estas son propias de su funcionamiento.

Pero aclarando a que se refiere esto de análisis de fase, se podría establecer que cada uno de estos términos son nuevos en personas que utilizan mantenimiento correctivo en las diferentes industrias al respecto no dan la siguiente definición: *“El*

---

<sup>2</sup> LARA CASTRO, Omar. Nuevas Metodologías no invasivas de diagnóstico de defectos incipientes en rodamientos de bola. Pag. 5 (2011). Recuperado de <[http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/2598/1/Tesis\\_O\\_Jose\\_Lara\\_Castro.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/2598/1/Tesis_O_Jose_Lara_Castro.pdf)>

<sup>3</sup> HERNANDEZ MONTERO, Fidel. Enfoques del análisis de envolvente al procesamiento de vibraciones para el diagnóstico de máquinas. Pag.2 (2011). Recuperado de <[http://www.cujae.edu.cu/ediciones/.%5CRevistas%5CMecanica%5CVol-13%5C1-2010%5C04\\_2010\\_%2001\\_31\\_40.pdf](http://www.cujae.edu.cu/ediciones/.%5CRevistas%5CMecanica%5CVol-13%5C1-2010%5C04_2010_%2001_31_40.pdf)>

<sup>4</sup> ESTUPIÑAN, Edgar; SAN MARTIN Cesar. Diseño e implementación de un analizador virtual de vibraciones. Pag. 2 (2011). Recuperado de <<http://www.scielo.cl/pdf/rfacing/v14n1/ART02.pdf>>

*análisis de fase es el estudio de la diferencia de tiempo en que suceden dos acontecimientos relacionados entre sí. Su análisis permite, por ejemplo, conocer la forma de deflexión en operación de una estructura.*<sup>5</sup> Aunque podamos observar en primera instancia la dificultad de entendimiento de las señales causadas por vibraciones, con algo de estudio específico se puede intentar dar conceptos de la procedencia de ciertas acciones registradas en una gráfica ya que como nos dicen *“El análisis de órbitas consiste principalmente en analizar la gráfica de la amplitud de la vibración horizontal  $x(t)$  en función de la vertical  $y(t)$ , para una sola frecuencia a la vez.*<sup>6</sup> Aun se trata de gráficas de 2 dimensiones.

Cuando se obtiene gráficas de frecuencias se empieza a realizar diferentes tipos de análisis uno inicial se explica a continuación *“El análisis de coherencia permite relacionar causa efecto entre dos señales vibratorias, estimando la relación lineal que existe entre dos señales vibratorias. Otras técnicas utilizadas para el análisis de vibraciones son: promedios sincrónicos en el tiempo, demodulación o análisis de envolvente, análisis de transientes, análisis de partidas o paradas, análisis cepstrum, entre otras.”*<sup>7</sup> Cada uno de los análisis iniciales llevan a los investigadores o analistas de valerse de otras tácticas para llegar a una conclusión más profunda de la causa raíz de un posible desperfecto y/o si es un problema recurrente que ha tenido intervención previa, ha sido investigado de manera correcta. A partir de allí se deben especificar ciertos modelos matemáticos que son los que se tomaron en cuenta para lograr interpretar la información obtenida por medio de la experimentación y que ha medida del tiempo se han mejorado o especializado en determinados tipos frecuencias.

A partir del proceso de monitorización en rodamientos se establecen unos pasos para fijar el modo en que se actúa estos son: *“Existen cuatro procedimientos asociados con la monitorización de procesos tradicional: Detección del defecto, identificación del defecto, Diagnóstico del defecto e Intervención. La Detección consiste en determinar si ha ocurrido un defecto en el sistema. Posteriormente, se identifican las variables más relevantes para diagnosticar el defecto. La Diagnóstico consiste en determinar qué tipo de defecto ha ocurrido, y para el caso de rodamientos, se ha realizado tradicionalmente a través de la visualización de frecuencias características del rodamiento (BCF), que dependen de la velocidad de rotación, geometría del rodamiento, y localización del defecto. Por último, la Intervención se basa en corregir el efecto del defecto, y es el procedimiento que cierra el lazo de monitorización de procesos”*<sup>8</sup>

---

<sup>5</sup> LARA CASTRO, Op. Cit., Pag.7

<sup>6</sup> Ibid., Pag.7-8,

<sup>7</sup> Ibid., Pag.10-12,

<sup>8</sup> Ibid., Pag.12,

Ampliando la información de los defectos en los rodamientos, detectados a partir de análisis de vibraciones se tiene el siguiente argumento *“El hecho de que la distribución de cargas varíe conforme los elementos rodantes giren sobre los anillos causa que los rodamientos se comporten como generadores de vibraciones, incluso aunque éstos no tengan ningún defecto. Sin embargo, la presencia de defectos hace que ciertas frecuencias se amplifiquen. Los defectos pueden clasificarse como localizados y distribuidos”*<sup>9</sup> los defectos localizados son aquellos que se presentan por la propagación de fisuras desde las pistas de rodadura esto producto de la fatiga del material, un incremento en las cargas soportadas por el rodamiento o cuando el rodamiento absorbe vibraciones externas favorece el incremento de la velocidad de falla, mientras los defectos distribuidos son causados por contaminación o una inadecuada instalación, causando que a lo largo de la balinera el contacto entre los elementos rodantes y las pistas aumente generando mayores vibraciones e incrementos de temperatura.

Para entender más profundamente como se localizan defectos en los rodamientos se encuentra que *“Una vez tomada la medida se obtienen el valor medio y el valor máximo, cada uno nos ofrece un tipo de información diferente. El contacto metal-metal se produce siempre, incluso en rodamientos nuevos. Si la lubricación fuera perfecta no nos encontraríamos con ningún pulso de choque, cuando la lubricación empieza a fallar el contacto metal-metal aumenta y el valor medio comienza a aumentar. Por lo tanto un valor alto del valor medio nos indica una inadecuada lubricación. Cuando existe un defecto en un elemento, existe un contacto metal-metal periódico, por lo tanto un defecto hará que nos encontremos con pulsos de choque periódicos cuyo valor supera la media. Esto quiere decir que valores máximos muy superiores a la media, nos indican la existencia de fallos localizados en el rodamiento.”*<sup>10</sup>

Se debe manifestar la forma como se toman los datos en campo, ya que esto puede variar la forma como se realiza la interpretación y se obtiene la confiabilidad del equipo, para ello se tiene *“Registro de la respuesta: Se emplean transductores que registran la respuesta del sistema. Principales: acelerómetros, células de carga, galgas extensiométricas, sismógrafos, vibrómetros y medidores de desplazamiento. Además se necesitan equipos acondicionadores y equipos para registrar la señal. Análisis de señal: El analizador de señal se encarga de analizar la señal registrada frente a la excitación. Analizador de señal: Incluido registro y análisis.”*<sup>11</sup> Al realizar la adquisición de datos, se pueden cometer errores si no se realiza de forma adecuada, la forma correcta es tomar datos en cada una de las

---

<sup>9</sup> RODRIGUEZ, Francisco Ros. Estudio de la carga en rodamientos defectuosos. Pag.5 ( 2011).Recuperado de <[http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/10047/1/PFC\\_Francisco\\_Ros\\_Rodriguez.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/10047/1/PFC_Francisco_Ros_Rodriguez.pdf)>

<sup>10</sup> Ibid., Pag.8

<sup>11</sup> UNIVERSIDAD DE CASTILLA. Vibraciones mecánicas. Pag.15 ( 2011). Recuperado de <[http://www.uclm.es/area/imecanica/AsignaturasWEB/Vibraciones\\_Mecanicas/Material\\_didactico/Tema05\\_1.pdf](http://www.uclm.es/area/imecanica/AsignaturasWEB/Vibraciones_Mecanicas/Material_didactico/Tema05_1.pdf)>



direcciones de los ejes coordenados con ello se garantiza no dejar escapar situaciones que lleven al operador del equipo a tener dudas con respecto a un diagnóstico y como se ha nombrado varias veces, el éxito de estas técnicas es la confiabilidad.

Se tiene varias formas de explicar cómo se traducen las señales análogas en digitales aquí está una *“Los SAD (sistemas de adquisición de datos) constituyen la interfaz entre el mundo análogo y el digital. Las etapas fundamentales para un instrumento basado en SAD y ellas son: etapa transductora, de acondicionamiento, de adquisición y etapa de registro y procesamiento de información.*

*Los transductores son los encargados de medir los fenómenos físicos y proveer una señal eléctrica que pueda ser interpretada por un sistema de adquisición, de acuerdo a la relación entrada/salida que tenga el transductor (sensibilidad). Los transductores más comúnmente utilizados para la medición de vibraciones son los acelerómetros piezoeléctricos, además de los velocímetros sísmicos o electrodinámicos y los sensores de desplazamiento sin contacto. Algunos transductores requieren de un acondicionamiento especial, como suministro de voltaje, disminución de impedancia, aislamiento y amplificación.”<sup>12</sup>.*

Se puede establecer en este punto que las técnicas y la adquisición de datos en el monitoreo por condición no son tareas económicas, muchos otros investigadores parten de allí para desarrollar nuevas técnicas lamentablemente han tenido dificultades como se puede encontrar en textos de auditorías *“Por medio de los SAD, se pueden desarrollar instrumentos analizadores de vibración de más bajo costo que un analizador comercial. Sin embargo, algunas de las limitantes que han restringido el uso de estos instrumentos en las empresas industriales son, por una parte, el desconocimiento certero de su confiabilidad y, por otra, su comportamiento en un medio ambiente industrial, que en muchos casos puede ser agresivo (polvo, humedad, altura, componentes químicos, etc.)”<sup>13</sup>*

---

<sup>12</sup> LARA CASTRO, Op. Cit., Pag.15

<sup>13</sup> Ibid., Pag.17,

#### 4. JUSTIFICACION

La importancia del método de Análisis por Vibraciones Mecánicas, sustentado en los avances de la moderna tecnología de medición y en el análisis dinámico temporal y frecuencial de señales, y utilizado como herramienta del mantenimiento predictivo, permite hoy en día, detectar con gran precisión desde desgastes en rodamientos, hasta qué diente de un reductor de engranajes está dañado. El alcance atribuido al mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas está supeditado a la mayor rentabilidad, seguridad y precisión en el diagnóstico.

Frecuentemente ocurre que al personal del departamento de mantenimiento, especializado y dedicado completamente a las intervenciones tradicionales, se le asigna una tarea adicional: la medida de las vibraciones, de la que en la mayoría de los casos desconoce sus fundamentos y utilidad práctica final. Esto provoca que el mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas, quede reducido a una inspección rutinaria más y, a que su eficacia no pueda ser evaluada.

Por otro lado, se tienen los casos de empresas donde se dispone de instrumentación suficiente para realizar estas tareas, e incluso máquinas monitoreadas ininterrumpidamente para las que la operatividad del método es nula. Esto es, se hacen inversiones que están totalmente subutilizadas.

La línea más conveniente para salvar las situaciones negativas arriba descritas y poder situar al departamento técnico o de mantenimiento, según el caso, a la altura de las nuevas tecnologías en cuanto a su asimilación correcta y eficiente, consiste en:

- ✓ formación adecuada del personal especializado, que se le va a asignar esta tarea.

Es por ello que se decide realizar un documento que contenga información suficiente que demuestre como iniciar el proceso de aplicación de la técnica de análisis de vibraciones, que pasos seguir para la consecución de los datos y como utilizarla para realizar un análisis de causas raíz de las diferentes fallas encontradas, con esto se crea un documento inédito que reúne no solo el estudio de los datos, sino como utilizarlos para que la solución sea de forma permanente.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 General:

“Elaborar un documento de referencia en el que se describan y analicen los diferentes tipos de fallas que se presentan en rodamientos utilizados en motores eléctricos de baja y media tensión a partir de la técnica de análisis de vibraciones”.

### 5.2 Específicos:

- 5.2.1 Describir el modelo utilizado, en la implementación de análisis de vibraciones en rodamientos de motores eléctricos en operación, a partir de mediciones realizadas en instalaciones industriales.
- 5.2.2 Describir el correcto procedimiento para la obtención del espectro de vibración a través de colector de datos FAG DETECT III.
- 5.2.3 Identificar y definir los espectros de vibración característicos, de acuerdo al tipo de falla mecánica, a partir de filtración de señales complejas.
- 5.2.4 Exponer el método de análisis de causa raíz de los diferentes tipos de fallas, comúnmente presentados en rodamientos instalados en motores eléctricos, con base en los datos obtenidos del espectro de vibración, el modo como se presenta la falla y las evidencias físicas encontradas

## 6. MARCO TEORICO

### **DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

*El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una maquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.*

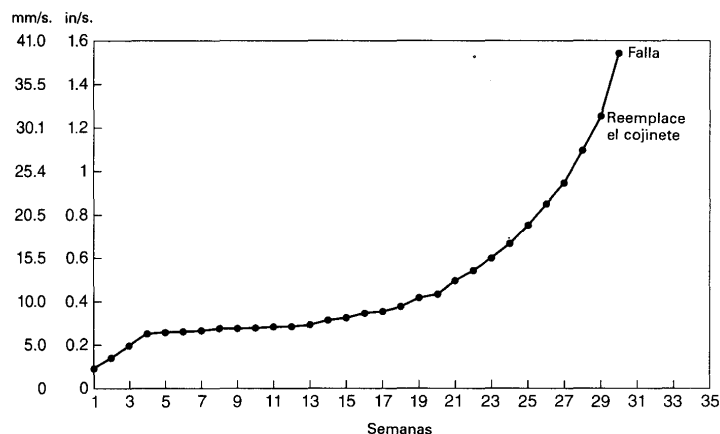
### **ORGANIZACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

*Esta técnica supone la medición de diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida del componente. Algunos ejemplos de dichos parámetros son los siguientes:*

- *Vibración de cojinetes*
- *Temperatura de las conexiones eléctricas*
- *Resistencia del aislamiento de la bobina de un motor*

*El uso del mantenimiento predictivo consiste en establecer, en primer lugar, una perspectiva histórica de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente. Esto se logra mediante la toma de lecturas (por ejemplo la vibración de un cojinete) en intervalos periódicos hasta que el componente falle. La figura muestra una*

*Figura 1. Evolución de Vibraciones en un rodamiento de bolas*



.Fuente: WHITE Glen, (2010), Introducción al Fenómeno Vibración, Ázima DLI, Introducción al Análisis de Vibraciones, Pag. 16, Woburn, MA 01801 U.S.A

*Curva típica que resulta de graficar la variable (vibración) contra el tiempo. Como la curva lo sugiere, deberán reemplazarse los cojinetes subsecuentes cuando la vibración alcance 1,25 in/seg (31,75 mm/seg). Los fabricantes de instrumentos y software para el mantenimiento predictivo pueden recomendar rangos y valores*

*para reemplazar los componentes de la mayoría de los equipos, esto hace que el análisis histórico sea innecesario en la mayoría de las aplicaciones.<sup>14</sup>*

*Que es Vibración?*

*En su forma más sencilla, una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. La Posición de equilibrio es la a la que llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero. Este tipo de vibración se llama vibración de cuerpo entero, lo que quiere decir que todas las partes del cuerpo se mueven juntas en la misma dirección en cualquier momento.*

*El movimiento vibratorio de un cuerpo entero se puede describir completamente Como una combinación de movimientos individuales de 6 tipos diferentes. Esos son traslaciones en las tres direcciones ortogonales x, y, y z, y rotaciones alrededor de los ejes x, y, y z. Cualquier movimiento complejo que el cuerpo pueda presentar se puede descomponer en una combinación de esos seis movimientos. De un tal cuerpo se dice que posee seis grados de libertad.*

*Supongamos que a un objeto se le impide el movimiento en cualquiera dirección excepto una. Por ejemplo un péndulo de un reloj solamente se puede mover en un plano. Por eso, se le dice que es un sistema con un grado único de libertad. Otro ejemplo de un sistema con un grado único de libertad es un elevador que se mueve hacia arriba y hacia abajo en el cubo del elevador.*

*La vibración de un objeto es causada por una fuerza de excitación. Esta fuerza se Puede aplicar externamente al objeto o puede tener su origen a dentro del objeto. Más adelante veremos que la proporción (frecuencia) y la magnitud de la vibración De un objeto dado, están completamente determinados por la fuerza de excitación,*

*Su dirección y frecuencia. Esa es la razón porque un análisis de vibración puede determinar las fuerzas de excitación actuando en una máquina. Esas fuerzas dependen del estado de la máquina, y el conocimiento de sus características e interacciones permite de diagnosticar un problema de la máquina.*

*Resumen de Unidades de Amplitud*

*En el sistema inglés de medición, el desplazamiento se mide generalmente en mils (milésimos de pulgada), y el valor pico a pico se usa por convención.*

*La velocidad generalmente se mide en pulgadas por segundo y la convención es de usar el valor pico o el valor RPC. Lo más común es de usar el valor pico, no porque sea mejor, pero debida a una larga tradición.*

*La aceleración se mide generalmente en Gs. 1 G es la aceleración debida a la gravedad en la superficie de la tierra. El G en realidad no es una unidad de*

---

<sup>14</sup> WHITE Glen, (2010), Introducción al Fenómeno Vibración, Ázima DLI, Introducción al Análisis de Vibraciones, 16,19,22: Woburn, MA 01801 U.S.A

*aceleración--es sencillamente una cantidad de aceleración a que estamos sometidos como habitantes de la tierra.*

*A veces la aceleración se mide en pulgadas por segundo por segundo (pulgadas/seg<sup>2</sup>) o m/seg<sup>2</sup>, que son unidades verdaderas. Un G es igual a 386 pulgadas / seg<sup>2</sup> o 9. 81m/seg<sup>2</sup>.<sup>15</sup>*

#### *Demodulación de Amplitud Aplicada al Análisis de Rodamientos*

*En rodamientos una u otra forma de modulación de amplitud ocurre cuando los impactos causados por pequeñas grietas en los anillos de rodamientos con elementos rodantes causan resonancia en los mismos anillos. Las frecuencias de resonancias de los anillos son por lo general muy altas, por lo general entre 2 KHz y 10 KHz.*

*Las resonancias tienen una alta amortiguación, debido al montaje físico del rodamiento, y eso quiere decir que el rodamiento producirá una serie de "pings" muy cortos al ritmo de las bolas pasando la falla. Cada ping está en la frecuencia de resonancia y los pings están a la distancia del periodo de la frecuencia de paso de bolas.*

*Si se lleva a cabo un análisis de la señal de vibración que corresponde a la forma de onda que se enseña aquí, habrá muy poca amplitud en la frecuencia fundamental y un grupo extenso de armónicos, de bajo nivel de la frecuencia de paso de bolas.*

*Este se debe al hecho que los impulsos causados por las bolas encontrando la grieta, son muy breves en el tiempo, y contienen muy poca energía. Tampoco los armónicos son muy enérgicos. El ruido aleatorio en el espectro tiene una tendencia de inundarlas, y eso hace difícil encontrarlos especialmente en los primeros estados de una falla de rodamiento que se esta desarrollando.*

*Las formas de onda que enseñamos aquí están idealizadas y no son verdaderamente representativas de datos recopilados de una máquina rotativa. La firma de vibración de la máquina siempre contiene ruido de banda ancha junto con todas las frecuencias forzadas y los armónicos etc. de procesos internos. Pero la firma todavía tendrá en ella las señales que discutimos aquí, aunque puede ser que no sean visibles.*

*Un procedimiento para la extracción de una parte importante de la señal de vibración se conoce como la demodulación de amplitud. A continuación lo describimos.*

*Si examinamos la forma de onda producida por el rodamiento se ve que se parece a una modulación de amplitud. El tono de alta frecuencia de la resonancia del*

---

<sup>14</sup> Ibid., Pag.10,.

*rodamiento está modulado por los impactos de las bolas contra la grieta del anillo exterior. Si se pasa esta señal de tiempo a través de un rectificador a diodo, o detector, los picos negativos se convierten en picos positivos.*

*La forma de onda se ha vuelto unilateral, como a continuación lo señalamos.*

*Si pasamos la señal a través del filtro de bajo paso, se quita la oscilación, debido a la resonancia y solo se queda el envolvente de la señal.*

*La señal envolvente tiene una proporción de repetición, que es igual a la frecuencia del paso de bolas, pero tiene mucha más energía en la frecuencia fundamental, ya que los pulsos son más anchos o más largos en duración. Este proceso de rectificación y filtrado en realidad es una demodulación de amplitud y es exactamente el mismo proceso que se usa en receptores radio AM para recuperar la información contenida en la onda cargadora, modulada.*

*A la señal de modulada se le puede hacer un análisis de frecuencias y la frecuencia de paso de bolas será el componente más grande en el espectro. Como lo mencionamos antes, las señales que enseñamos aquí son idealizadas y son muy bajas de nivel.*

*Por lo general son enterados en ruido. Pero la señal que se de modula es la frecuencia de la resonancia del rodamiento de alta frecuencia y esta se puede separar de la firma de vibración de la máquina de banda ancha por filtración. En muchos casos, un filtro sencillo, bipolar de paso alto, sintonizado a 2 KHz es adecuado para extraer el componente de resonancia modulado.*

*La filtración de la señal que será de modulada es extremadamente benéfica, porque quita todo el ruido de baja frecuencia, y los componentes espectrales que tiendan a esconder los tonos de rodamientos generados por pequeños defectos.*

*El espectro demodulado no contiene ningún ruido contaminante, y eso resulta en un mejoramiento importante de la proporción señal ruido. Eso es la ventaja más importante de la demodulación de amplitud, como herramienta de diagnóstico de máquina.<sup>16</sup>*

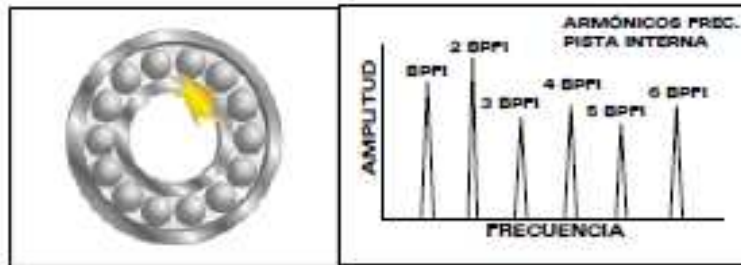
*Fallas en rodamientos:*

*FALLA EN PISTA INTERNA: Agrietamiento o desastilla miento del material en la pista interna, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.*

*Figura 2. Espectro de rodamiento Falla pista interior.*

---

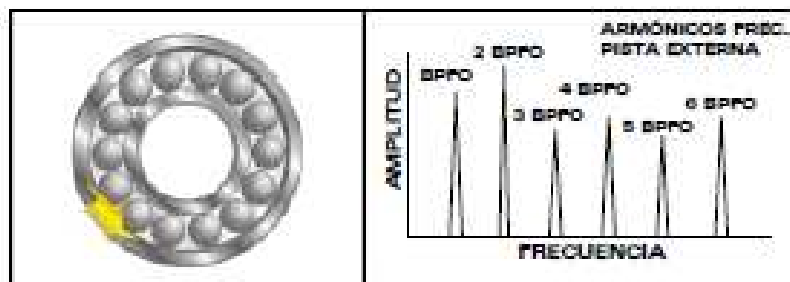
<sup>16</sup> HERNANDEZ MONTERO, Atxa, (2007), Aplicación de técnicas clásicas y avanzadas de procesamiento de vibraciones al diagnóstico de cojinetes. Análisis experimental, *Ingeniería Mecánica*, 1 (2007) 71-82, Recuperado el 02 de abril 2012 de la base de datos Dialnet



Fuente: A-MAQ, Enero 2005, Tutorial de vibraciones para Mantenimiento Mecánico, Pag. 4  
Recuperado el 02 de abril 2012, [www.a-maq.com](http://www.a-maq.com)

Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de la pista interna, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 KHz. El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento. Nota: Generalmente la medida más confiable es en dirección de la carga.

Figura 3. Espectro Rodamiento Falla pista Exterior



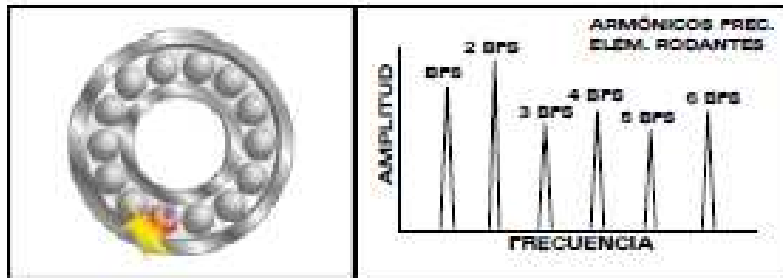
Fuente: A-MAQ, Enero 2005, Tutorial de vibraciones para Mantenimiento Mecánico, Pag. 6  
Recuperado el 02 de abril 2012, [www.a-maq.com](http://www.a-maq.com)

**FALLA EN PISTA INTERNA:** Agrietamiento o desastillamiento del material en la pista interna, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.

Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de la pista interna, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 KHz. El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento. Nota: Generalmente la medida más confiable es en dirección de la carga.

Figura 4. Espectro Rodamiento Elementos Rodantes



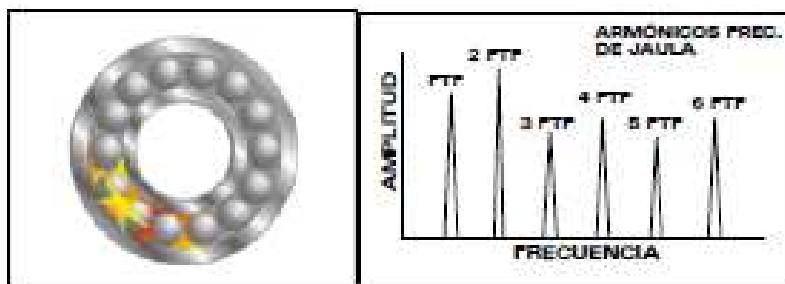


Fuente: A-MAQ, Enero 2005, Tutorial de vibraciones para Mantenimiento Mecánico, Pag .8  
 Recuperado el 02 de abril 2012, www.a-maq.com

**FALLA EN ELEMENTOS RODANTES:** Agrietamiento o desastilla miento del material en los elementos rodantes, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.

Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de los elementos rodantes, en dirección radial. Además el contacto metal – metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 KHz El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento. Nota: Generalmente la medida más confiable es en dirección de la carga.

Figura 5. Espectro Rodamiento falla Canastilla



Fuente: A-MAQ, Enero 2005, Tutorial de vibraciones para Mantenimiento Mecánico, Pag. 9  
 Recuperado el 02 de abril 2012, www.a-maq.com

**DETERIORO DE JAULA:** Deformación de la jaula, caja o cubierta que mantiene en su posición a los elementos rodantes. Se produce una serie de armónicos de la frecuencia de la jaula siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS de la frecuencia de falla en jaula, en dirección radial o axial. El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Revise la posible causa que está dando origen a la falla.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> A-MAQ, Enero 2005, Tutorial de vibraciones para Mantenimiento Mecánico, Recuperado el 02 de abril 2012, www.a-maq.com

## 7. METODOLOGIA

Se dividirá el desarrollo del proyecto de acuerdo a unas etapas que se describirán a continuación:

### Etapas I: Revisión Bibliográfica.

En esta primera etapa se recopilación de toda aquella información relacionada con el tema, así como la revisión de la documentación escrita que sustentaron las bases teóricas de este ante-proyecto de investigación. Para llevar a cabo esta etapa, se extraerá, revisara y analizara lo que se considere información relevante y pertinente en relación al proyecto, se utilizaran fuentes documentales como libros especializados, tesis de grado, revistas y publicaciones técnicas, páginas de Internet, manuales de fabricantes, entre otros.

### Etapas II: Evaluación de la información obtenida

En esta etapa se procederá a organizar, evaluar y procesar toda la información obtenida, allí se identificará de manera más concisa el tipo de fallas más comunes presentadas en los rodamientos de motores eléctricos, las consecuencias que estos traen, además se establecerá el tipo motores a los cuales se les realizara la toma de datos.

### Etapas III: Recolección de datos

En esta etapa se realiza la toma de muestras a la mayor cantidad de motores en servicio, con defectos, recién reparados, etc. De modo que se tenga suficiente información para realizar los análisis de falla respectivos.

### Etapas IV: Análisis de muestras obtenidas

En esta etapa se analizaran cada uno de los espectros de vibración obtenidos, así como la información adicional indispensable para realizar la descripción de los tipos de falla detectados, la forma como estos ocurrieron, las consecuencias que produjeron, y demás elementos necesarios que permitan generar informes de falla, así como los resultados de las mediciones posteriores a las correcciones de las fallas.

### Etapas V: Elaboración de la monografía y presentación de resultados.

De acuerdo a la puesta en marcha de todas y cada una de las actividades diseñadas en las etapas anteriores y siguiendo los procedimientos establecidos para el análisis de la información. Los resultados arrojados por este estudio se plasmaran en un reporte detallado y posteriormente entregados al director del proyecto para su aprobación y coordinación de carrera de manera que se asignen jurados para la exposición de la temática tratada.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- ✓ LARA CASTRO, Omar. Nuevas Metodologías no invasivas de diagnóstico de defectos incipientes en rodamientos de bola. (Consultado el 13 feb. 2011). Disponible en <[http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/2598/1/Tesis\\_O\\_Jose\\_Lara\\_Castro.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/2598/1/Tesis_O_Jose_Lara_Castro.pdf)
- ✓ HERNANDEZ MONTERO, Fidel. Enfoques del análisis de envolvente al procesamiento de vibraciones para el diagnóstico de máquinas. (Consultado el 13 feb. 2011) Disponible en [http://www.cujae.edu.cu/ediciones/.%5CRevistas%5CMecanica%5CVol-13%5C1-2010%5C04\\_2010\\_%2001\\_31\\_40.pdf](http://www.cujae.edu.cu/ediciones/.%5CRevistas%5CMecanica%5CVol-13%5C1-2010%5C04_2010_%2001_31_40.pdf)
- ✓ ESTUPIÑAN, Edgar; SAN MARTIN Cesar. Diseño e implementación de un analizador virtual de vibraciones. (consultado el 13 mar 2011). Disponible en <http://www.scielo.cl/pdf/rfacing/v14n1/ART02.pdf>
- ✓ RODRIGUEZ, Francisco Ros. Estudio de la carga en rodamientos defectuosos. (Consultado el 12 feb. 2011). Disponible en [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/10047/1/PFC\\_Francisco\\_Ros\\_Rodriguez.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/10047/1/PFC_Francisco_Ros_Rodriguez.pdf)
- ✓ UNIVERSIDAD DE CASTILLA. Vibraciones mecánicas. (Consultado 12 feb. 2011). Disponible en [http://www.uclm.es/area/imecanica/AsignaturasWEB/Vibraciones\\_Mecanicas/Material\\_didactico/Tema05\\_1.pdf](http://www.uclm.es/area/imecanica/AsignaturasWEB/Vibraciones_Mecanicas/Material_didactico/Tema05_1.pdf)
- ✓ WHITE Glen, (2010), Introducción al Fenómeno Vibración, Ázima DLI, Introducción al Análisis de Vibraciones, 16,19,22: Woburn, MA 01801 U.S.A
- ✓ HERNANDEZ MONTERO, Atxa, (2007), Aplicación de técnicas clásicas y avanzadas de procesamiento de vibraciones al diagnóstico de cojinetes. Análisis experimental, *Ingeniería Mecánica*, 1 (2007) 71-82, Recuperado el 02 de abril 2012 de la base de datos Dialnet.
- ✓ A-MAQ, Enero 2005, Tutorial de vibraciones para Mantenimiento Mecánico, Recuperado el 02 de abril 2012, [www.a-maq.com](http://www.a-maq.com)

## RESUMEN

Con este proyecto, el autor presenta ante los lectores, el planteamiento de una investigación de tipo analítica que describe la aplicación de la técnica análisis de vibraciones de muy amplio uso en la filosofía de mantenimiento RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad), esta describe los pasos necesarios para aplicar de este método a motores eléctricos, además como se visualizan los espectros de vibración de los diferentes tipos de falla de los rodamientos usados en los propios motores, junto con esta descripción se realizara una descripción de lo que se conoce como “análisis de causa raíz”, esto es la utilización de la información recopilada en los espectros de vibración y su estudio de manera que se pueda determinar por que sucedió un determinado tipo de falla y que se debe hacer para que no se repita.