



# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

## INFORME FINAL DE RESIDENCIA PROFESIONAL

“Procedimientos e instrucciones generales para la implementación del mantenimiento predictivo en la COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L.”

**TEMA:**

Procedimientos e instrucciones generales para la implementación del mantenimiento predictivo en la COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L

**ALUMNO:**

SANCHEZ MARTINEZ DAVID

**NUMERO DE CONTROL:** 121020020

**EMPRESA:**

COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L

**ESPECIALIDAD:**

ING. MECANICA

**ASESOR EXTERNO:**

SR. JOSE ATONIO AYALA AYALA

**ASESOR INTERNO:**

Ing. Rutilo Morales Álvarez

**REVISO Y APROBO**

---

**SR. JOSE ANTONIO AYALA AYALA**

**ENCARGADO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO PREDICTO  
MECANICO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a la COOPERATIVA LA CRUZ AZUL por bríndame su ayuda y su experiencia de trabajo, agradecer al sr. Emilio Toscano Mijangos, sr. José Antonio Ayala Ayala y sr. Luis Álvarez por otorgarme su confianza y por compartir sus conocimientos en el tema, más que nada por brindar su amistad en ese tiempo transcurrido en la empresa. Agradezco al Ing. Rutilo Morales por su aporte Fundamental en la revisión de este documento.

## **DEDICATORIA**

Esta residencia profesional va dedicada con mucho cariño, para todos aquellos que hicieron posible el culminar esta etapa de mi vida. Primeramente, le doy gracias a Dios, por darme fortaleza en los momentos críticos de mis estudios. A mi mamá Guadalupe Martínez Meléndez, por ese ejemplo de fidelidad ante la adversidad y por soportarme cada segundo en esta vida. A mi padre Víctor Sánchez Cortes por ser un gran padre y amigo al a vez, gracias por corregirme siempre sin ti este logro no sería posible, aunque ya no estés con nosotros te llevamos dentro de nuestros corazones.

Agradecer también a quienes me ayudaron a concluir con esta meta a mi abuela Lourdes Cortes Castañeda y a mi tía la profesora Piedad Sánchez Cortes con mucho cariño no sé qué sería mi vida sin ustedes gracias por todo.

A mi hermano Aurelio por la confianza y apoyo que me brindaron durante mi carrera, tíos y primos, por su ayuda y apoyo. A mis amigos....., son muchos pero a todos les agradezco su apoyo.

A mi madre y hermano estas últimas palabras dedicadas desde el corazón: Ahora pondré en práctica mis conocimientos, el lugar que en mi mente ocuparon los libros y pensamientos que no valían la pena, ahora será de ustedes, esto por todo el tiempo que les robe pensando solo en mí.

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la implementación de un manual para el departamento mantenimiento predictivo basado en procedimientos e instrucciones, con la finalidad de preparar al personal, Para el cumplimiento de tal objetivo, se realizaron investigaciones sobre el mantenimiento industria, vibraciones mecánicas y observación de las actividades del departamento en toda la planta, al igual que se recopiló la información técnica de los equipos , se identificaron las rutas en que serán realizadas las mediciones, se verificaron la existencia de los equipos en ruta, como también se analizaron el funcionamiento del equipo de medición y software de recolección de datos, se definieron las instrucciones de trabajo, todo esto con la finalidad de satisfacer la necesidad del departamento.



## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento al igual que otras ciencias de la ingeniería, ha evolucionado a gran escala con el paso del tiempo, este cambio ha traído nuevas técnicas que se han adaptado al ritmo de vida de las empresas de clase mundial. Entre las nuevas técnicas se encuentra el mantenimiento predictivo por análisis de vibración, que es un proceso de seguimiento de los niveles vibraciones de los equipos, para determinar el estado de los componentes de las máquinas y detectar fallas potenciales e incipientes, que puedan afectar el proceso de producción. En la actualidad es una herramienta muy usada para el mantenimiento de equipos y acompañado de otras técnicas predictivas resulta muy confiable.

El trabajo que se describe a continuación contiene investigaciones sobre el mantenimiento industrial, vibraciones mecánicas, y se describen las actividades realizadas por el departamento, para capacitar al personal con la finalidad de establecer los parámetros para la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo eficaz, en base a procedimientos e instrucciones de trabajo con la finalidad de satisfacer la necesidad del departamento de mantenimiento predictivo

## Índice

Capítulo 1: Caracterización del proyecto y dimensionamiento del problema. ....	10
Justificación.....	10
Objetivos .....	10
Objetivo general .....	10
Objetivos específicos. ....	10
Capítulo 2: Generalidades de la empresa .....	11
2.1 Localización de la empresa .....	11
2.2 Historia de la empresa.....	14
2.3 Cronología.....	15
2.4 Filosofía.....	16
2.5 Elementos de la Identidad Cooperativa Cruz Azul .....	17
2.6 Símbolos de la Identidad Cooperativa Cruz Azul .....	17
2.7 Cooperativismo .....	18
2.7.1 Consideraciones generales y antecedentes históricos.....	18
2.7.2.- Origen de la bandera del cooperativismo.....	18
2.7.3.- Nueva bandera del cooperativismo.....	20
2.7.4.- Significado del símbolo del cooperativismo .....	20
2.7.5.- Día Mundial del Cooperativismo .....	21
2.7.6.- Núcleo Cooperativo.....	22
2.8 Proceso de fabricación del cemento .....	22
2.8.1. Extracción de los yacimientos .....	22
2.8.2 Materias primas.....	23
2.8.3 Trituración .....	25
2.8.4 Prehomogeneización.....	26
2.8.5 Molienda del polvo crudo .....	26
2.8.6 Homogeneización del polvo de crudo .....	27
2.8.7 Calcinación.....	28
2.8.8 Almacenamiento de clínker. ....	29
2.8.9 Transformación del clínker en cemento .....	29
2.9 Control de calidad .....	30
2.10 Control químico .....	31
2.11 Control físico .....	31
2.12 Envase y embarque .....	32
2.12.1 Envase 1 .....	32
2.12.2 Envase 2 .....	32
2.12.3 Embarque.....	33
2.13 Calidad.....	34
Capítulo 3: Fundamento teórico .....	35
3. Evolución del mantenimiento .....	35
3.1 Mantenimiento correctivo .....	35
3.2 Mantenimiento preventivo. ....	35
3.3 mantenimiento predictivo. ....	36
3.4 Mantenimiento proactivo .....	37
3.5 Modelo ideal basado en la condición .....	38

3.6 Decisiones en la condición de monitoreo .....	39
3.6.1 ¿Qué es vibración? .....	40
3.6.2 ¿Que causa la vibración?.....	40
3.6.3 ¿Porque medir la vibración? .....	40
3.6.4 ¿Que mide realmente el transductor? .....	41
3.6.5 ¿Cuáles son las características de la vibración que medimos? .....	41
3.7 normas .....	41
3.7.1 ¿Que son normas?.....	41
3.7.2 Normas de numeración de rodamientos (posición) .....	41
3.7.3 Normas comunes para numerar rodamientos en máquinas que tienen más de dos rodamientos. ....	42
3.7.4 Normas comunes de nombramiento de dirección. ....	44
3.8 Características de la vibración .....	46
3.8.1 Amplitud. ....	46
3.8.2 velocidad .....	47
3.8.3 Aceleración .....	48
3.9 Características de la vibración frecuencia.....	48
3.10 Características de la vibración fase.....	51
3.10.1 Análisis de fase simple .....	52
3.11 Transductores .....	53
3.11.1 Acelerómetros. ....	53
3.11.2 Velocímetros .....	54
3.11.3 Transductores piezoeléctricos de velocidad.....	55
3.11.4 Transductores de desplazamiento .....	56
3.12 Introducción al reconocimiento de problemas .....	57
3.12.1 Desbalance .....	57
3.12.2 Desbalance estático .....	57
3.12.3 Desbalance producido por par de fuerzas. ....	58
3.12.4 Desbalance cuasi-estático. ....	60
3.12.5 Desbalance dinámico. ....	61
3.12.6 Características de los rotores desbalanceados.....	62
3.13 Desalineación.....	63
3.13.1 Desalineación Angular. ....	63
3.13.2 Desalineación paralela .....	64
3.13.3 Desalineación del rodamiento en su eje.....	65
3.14 Rotores excéntricos.....	65
3.15 Soltura mecánica (perdida mecánica) .....	66
3.15.1 Efectos .....	67
3.15.2 Eje doblado .....	68
3.16 Daño en rodamientos .....	68
3.17 Resonancia .....	70
3.18 Frecuencia natural.....	70
3.19 Velocidad crítica .....	71
3.20 Métodos para determinar la presencia de resonancia.....	71
3.21 Problemas en motores eléctricos. ....	72



3.22 Problemas de transmisión por bandas .....	73
Capítulo 4: Introducción a SKF Aptitude Analyst for SKF Microlog Analyzer .....	74
4. ¿Qué es Aptitude Analyst for SKF Microlog Analyzer? .....	74
4.1 Como realizar un informe de monitoreo .....	76
4.2 Como analizar los puntos de monitoreo .....	79
4.3 Como cargar las rutas de monitoreo al microlog analyzer mediante el SKF @ptitude Analyst .....	83
4.4 Como eliminar rutas de monitoreo del Microlog Analyzer mediante el skf @ptitude Analyzer .....	85
4.5 Como cargar los datos de monitoreo del Microlog Analyzer al skf @ptitude Analyzer .....	86
4.6 SKF Microlog CMXA 75 .....	88
Capítulo 5: instrucciones de trabajo .....	89
5. Instrucciones de trabajo para el departamento de mantenimiento predictivo mecánico.....	89
5.1 Reportes de equipos fuera de operación .....	90
5.1.1 MP-01 RUTA 1 .....	90
MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO .....	90
5.1.2 MP-01 RUTA 2 .....	91
MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO .....	91
5.1.3 MP-01 RUTA 3 .....	93
MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO .....	93
5.1.4 MP-01 RUTA .....	94
MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO .....	94
5.2 Reporte de equipo critico .....	96
MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO .....	96
Conclusión y recomendaciones .....	97
Anexos .....	99
Referencias bibliográficas .....	103
Cronograma de actividades .....	104

## Índice de figuras

Figura 2. 1 De la Planta Industrial LA COOPERATIVA “LA CRUZ AZUL”, S.C.L de Lagunas, Oaxaca .....	11
Figura 2. 2 Se muestra la localización de la planta en un mapa del estado de Oaxaca. ....	12
Figura 2. 3 Se muestra un mapa de la región del Istmo en donde se muestra las poblaciones colindantes a Lagunas. ....	13
Figura 2. 4 Bandera del cooperativismo .....	20
Figura 2. 5 Símbolo del cooperativismo .....	21
Figura 2. 6 Proceso general de fabricación del cemento .....	23
Figura 2. 7 Materias primas.....	25
Figura 2. 8 Trituración .....	25
Figura 2. 9 Prehomogeneización .....	26
Figura 2. 10 Molienda de polvo de Crudo .....	27
Figura 2. 11 Homogeneización del Polvo de Crudo .....	27
Figura 2. 12 Calcinación.....	28
Figura 2. 13 Almacenamiento de Clínter .....	29
Figura 2. 14 Transformación del clínter en cemento.....	30
Figura 2. 15 Envase y embarque .....	33
Figura 2. 16 Cemento Cruz Azul .....	34
Figura 3. 1 Normas de numeración de rodamientos (posición).....	42
Figura 3. 2 Normas comunes para numerar rodamientos en máquinas que tienen más de dos rodamientos.....	43
Figura 3. 3 Dirección radial .....	45
Figura 3. 4 Dirección axial.....	45
Figura 3. 5 Reglas en equipo en vertical .....	46
Figura 3. 6 Acelerómetro .....	53
Figura 3. 7 Velocímetro .....	55
Figura 3. 8 Transductor de desplazamiento .....	56
Figura 3. 9 Desbalance estático .....	57
Figura 3. 10 Espectro desbalance estático .....	58
Figura 3. 11 Desbalance producido por par de fuerzas.....	59
Figura 3. 12 Espectro de desbalance por par de fuerza.....	60
Figura 3. 13 Desbalance cuasi-estático .....	60
Figura 3. 14 Desbalance dinámico.....	61
Figura 3. 15 Compensación de desbalance dinámico.....	62
Figura 3. 16 desalineamiento .....	64
Figura 3. 17 Desalineación paralela .....	64

## **Capítulo 1: Caracterización del proyecto y dimensionamiento del problema.**

### **Justificación**

En la empresa COOPERATIVA “LA CRUZ AZUL”, S.C.L. se maneja el mantenimiento predictivo, en el cual se hace un recorrido de monitoreo a los equipos por medio de 4 rutas las cuales se supervisan todos días, con equipo de alta tecnología como es el SKF Microlog CMXA 75 para medir las vibraciones de los motores y chumaceras, también se utiliza el pirómetro para temperatura de los motores al igual que lámparas estroboscópicas para la velocidad de los motores.

Observando la necesidad del departamento de mantenimiento predictivo optamos por elaborar un manual para el seguimiento de los procedimientos e instrucciones que se deben llevar a cabo por el personal, en donde se busca que el personal tenga el conocimiento teórico necesario para permanecer en el departamento.

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

Coadyuvar para que el departamento de mantenimiento predictivo, tenga un personal alta mente calificado para desempeñar las actividades que se realizan, al igual que evitar los tiempos muertos para cubrir las necesidades del departamento.

#### **Objetivos específicos.**

- Evitar pérdidas de paro imprevisto por falta de conocimiento
- Reducir los costos por averías mediante la preparación del personal.
- Obtener una mayor seguridad en las actividades.
- Describir el funcionamiento del software SKF Aptitude Analyst
- Describir el funcionamiento del dispositivo Como medir los diferentes equipos en las rutas de monitoreo utilizando SKF Microlog CMXA 75
- Verificación de existencia de los equipos en las rutas de monitoreo
- Conocer el estado actual del departamento, para definir las instrucciones de trabajo

## Capítulo 2: Generalidades de la empresa

### 2.1 Localización de la empresa

LA COOPERATIVA “LA CRUZ AZUL”, S.C.L. está situada en la población de Lagunas, municipio de El Barrio de la Soledad, distrito de Juchitán de Zaragoza, en el estado de Oaxaca, localizada a 30 minutos de la ciudad de Matías Romero entre las coordenadas 16° 47” Latitud norte y 95° 03” longitud oeste.

El predio colinda con zona urbana encontrándose inmediatamente la colonia Cruz Azul hacia el lado poniente como se muestra en la figura 2.1.

El predio pertenece a La Cruz Azul y en él existen áreas de acceso, estacionamiento, comedor industrial, servicio, médico y áreas verdes, además de las instalaciones industriales y los edificios administrativos.

### Fotografía de la Planta Industrial Lagunas, Oaxaca



Figura 2. 1 De la Planta Industrial LA COOPERATIVA “LA CRUZ AZUL”, S.C.L de Lagunas, Oaxaca

Las principales vías que comunican a Lagunas con el exterior son: Las líneas de ferrocarril del Istmo, que une los puertos de Coatzacoalcos en el Golfo y Salina Cruz en el Pacífico. Las estaciones más próximas a Lagunas son: la de Almoloya al sur y Matías Romero al norte.

La carretera Transístmica o 185 que enlaza los puertos de Coatzacoalcos en el Golfo y Salina Cruz en el Pacífico, permite el acceso rápido a Lagunas a través de una carretera

secundaria asfaltada que entronca en el kilómetro 205 +800 y cuya longitud es aproximada a los 6 kilómetros para obtener un mejor panorama de donde está ubicada la empresa tenemos la figura 2.2 y 2.3.

El clima es cálido y húmedo, el potencial sísmico es latente ya que se encuentra en una zona sísmica, los vientos son tanto del norte como del sur con intensidad, con ríos a su cercanía de los cuales se toma para el suministro de agua de la planta y consumo de los habitantes de las colonias aledañas.

La planta cuenta con sistemas de trituración de materias primas patios de almacenamiento y dosificación, molinos para harina cruda y cemento, silos homogeneizadores, hornos de calcinación, departamento de envase y embarque, red de suministro de aire y de suministro de agua. Fue certificada con la norma ISO 9002 el 29 de octubre de 1999.

### **Mapa del estado de Oaxaca.**

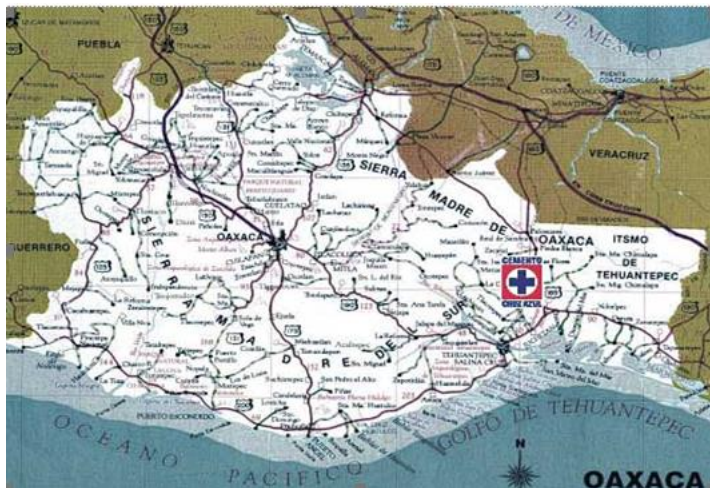


Figura 2. 2 Se muestra la localización de la planta en un mapa del estado de Oaxaca.



## Mapa de la región.

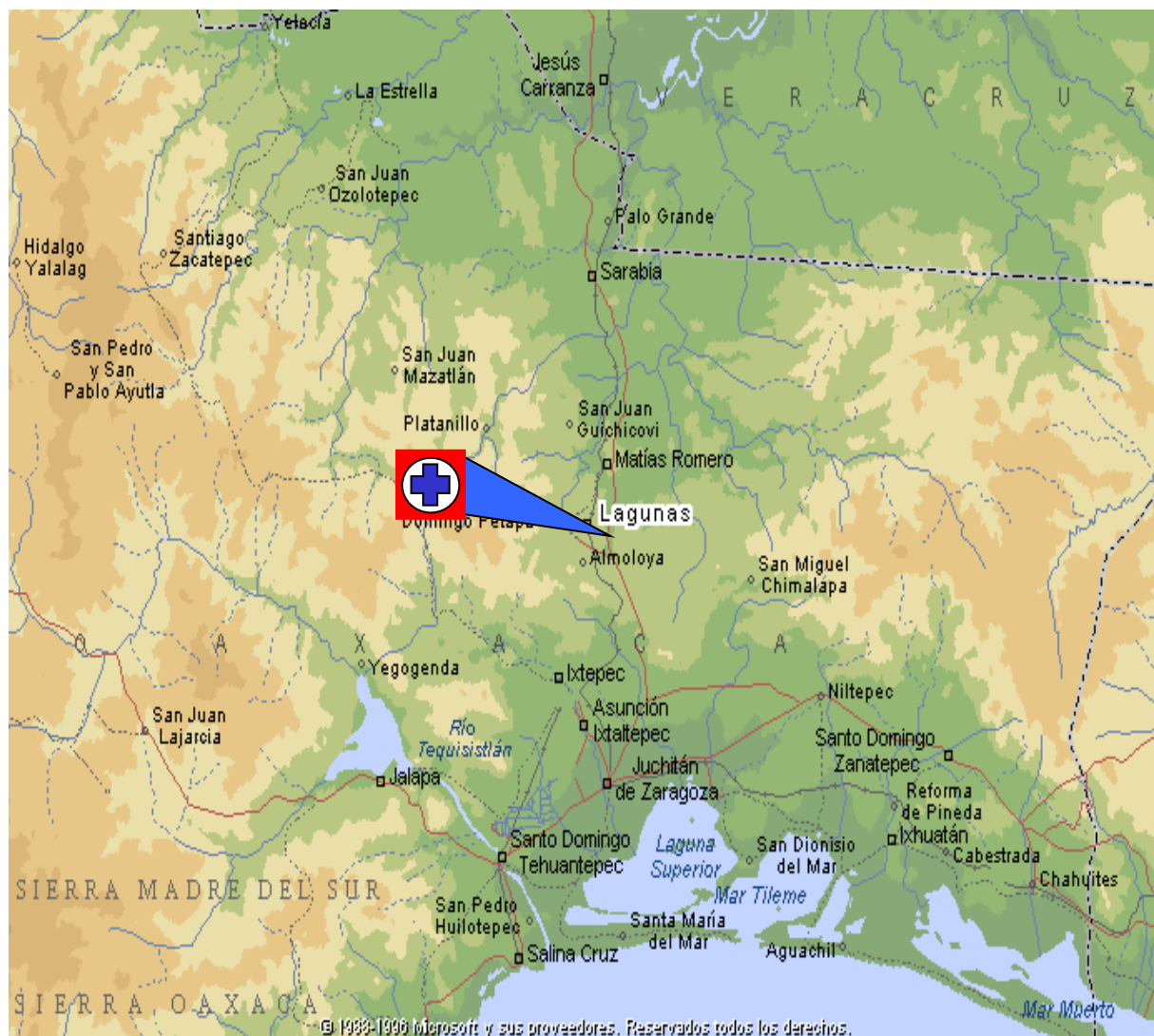


Figura 2. 3 Se muestra un mapa de la región del Istmo en donde se muestra las poblaciones colindantes a Lagunas.

El personal está distribuido en siete áreas las cuales están comprendidas por producción, administración, recursos humanos, nuevos proyectos, almacén, suministros y mantenimiento, esta última, a su vez está dividida en departamentos o jefaturas: eléctrica, civil, electrónica, control de mantenimiento y mecánica, dentro de la cual se manejan especialidades como: maquinas herramientas, parlería y soldadura, mecánica automotriz, mantenimiento preventivo (mecánica de campo) y mantenimiento predictivo

La empresa cuenta actualmente con tres plantas manufactureras de cemento en ciudad Cooperativa Cruz Azul Hidalgo, Lagunas Oaxaca y Tepezalá Aguascalientes.



## 2.2 Historia de la empresa.



**"Comenzar al ras del suelo, resistir heroicamente con la solidaridad del pueblo y la propia dignidad. Subir, alcanzar la cima para compartir los frutos de este esfuerzo común."**

### **2 noviembre 1931 - 1981**

La historia, cuando se escribe, se convierte en testimonio formal, y pocas, muy pocas veces, nos acordamos de que representa años de vida humana.

Pero asumir la historia como propia es hacer nuestros los hechos cotidianos y en la medida en que los vamos incorporando a la memoria, se convierten en memoria histórica. Es decir, para tener historia hay que tener memoria.

La ausencia de memoria histórica provoca desesperanza y confusión, porque nos deja sin referentes, sin paradigmas, sin ejemplos que seguir.

Trabajar día a día, con empeño y convicción ha sido la línea histórica de La Cruz Azul desde sus orígenes. La comunidad Cruz Azul ha tenido siempre un proyecto ético, fundado sobre la verdad, la dignidad y el trabajo, con un sistema de principios y valores sociales que le han dado sentido a su hacer; revisar nuestra historia nos trae el horizonte al presente: recuperar nuestra tradición, fortalecer nuestra identidad cooperativista; cuidar los factores que nos brindaron la oportunidad de superarnos, preservar nuestra forma de vida para encarar el mañana con confianza en el futuro y en nosotros.

## 2.3 Cronología

**1881.** Se construye la fábrica La Cruz Azul, por el inglés Henry Gibbon en una parte de la antigua hacienda de Jasso, en el Estado de Hidalgo.

**1918.** Se reanuda la operación de La Cruz Azul, suspendida durante los años de la lucha armada.

**1931.** La Tolteca compra la Cruz Azul (marzo), fijándose como fecha de entrega el 15 de octubre los Accionistas deciden cerrar la Cruz Azul y operar sólo con la Tolteca los trabajadores inician los trámites legales para conservar su fuente de trabajo y la lucha intensa por la subsistencia en noviembre, la Cruz Azul es puesta en manos de los trabajadores.

**1932.** Se vuelven a encender los hornos, en febrero, dirigidos, administrados y operados por los trabajadores los accionistas de la Tolteca, continúan los trámites legales para recuperar la fábrica se emite la ley de expropiación por causa de utilidad pública el 21 de mayo el gobernador del estado de Hidalgo, Bartolomé Vargas Lugo, decreta la expropiación de la Cruz Azul, adjudicándosela a los trabajadores.

**1940.** Se aprueba, en asamblea general el proyecto de construcción de una fábrica de cemento en la región del Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca (Lagunas, Oax).

**1947.** Se crea en Lagunas, Oax. un centro de educación básica.

**1953.** Reestructuración socio-económica de la cooperativa y consolidación de la comunidad.

**1958.** Se inaugura el horno número 4 de la planta de Hidalgo.

**1962.** Se formó el núcleo cooperativo, con la creación de la Cooperativa.

**1964.** Se instala el horno 6, en la planta de Hidalgo.

**1968.** Se inaugura la Escuela Secundaria "Patria", en Lagunas, Oaxaca.

Se inician las operaciones del horno número 3 en Lagunas, Oaxaca. Se crea el centro de investigación agropecuaria en Guigubá, Lagunas, Oaxaca.

**1973.** Se inicia la construcción del horno número 4 en Lagunas, Oaxaca.

**1976.** Transformación administrativa estratégica.

**1981.** Se inaugura la sección de consumo de Lagunas, Oaxaca.

**1982.** Se inaugura el horno número 4 en Lagunas, Oaxaca.

**1991.** Se crea la prestadora de servicios profesionales Grupo Azul. Se construye la planta de tratamiento de aguas residuales en Guigubá en Lagunas, Oaxaca.

**1995.** Se inicia el programa permanente de identidad cooperativa Cruz Azul: Tradición para el mañana.

**1996.** Se inician las operaciones del centro comercial Matías Romero, en Lagunas, Oaxaca.

**1997.** Se instala la envasadora rotativa Haver & Boeker, el sistema de aspiración Hi-Vac y la red de drenaje de la fábrica a planta de tratamiento de aguas residuales en Lagunas, Oaxaca.

1999. Entra en operación la ampliación del departamento de envase y embarque No. 2 en Lagunas, Oaxaca. Da inicio el proyecto desarrollo informático Cruz Azul **2000.** En su primera etapa con la implementación del módulo financiero y comercial del ERP JDEdwards.

**2001.** La Cooperativa La Cruz Azul cumple 70 años.

**2002.** Se implementa la nueva versión del ERP de JDEdwards denominada ONE World XE.

**2003.** Se libera con éxito el servicio video conferencia entre plantas de Cruz Azul, Hgo., y Lagunas, Oaxaca, y oficinas corporativas en la CD. De México. 50 Aniversario de la reestructuración socioeconómica de la cooperativa.

**2004.** Se monta el analizador de caliza en la banda 1-A, en la planta de cemento de la Cruz Azul, en lagunas Oaxaca.

**2005.** En marzo se pone en marcha el analizador de caliza.

## **2.4 Filosofía.**

Tener una identidad común es llegar a tener las mismas creencias, propósitos, deseos, etc. que los otros miembros de tu grupo social.

Los elementos de la identidad de cualquier comunidad humana son:

- Cultura
- Lengua
- Historia
- Contrato Social

Esta cualidad de coincidir en idénticas apreciaciones y propósitos es difícil de alcanzar de una manera impuesta, normalmente, es la consecuencia de vivir y ser educado con base en una tradición cultural común.

El mejor constructor de identidades sociales es el discurso compartido: hablar de las mismas cosas y utilizar los mismos términos. Por ello es importante aprovechar esta oportunidad para ponernos de acuerdo en el significado de las palabras que expresan nuestra realidad.

Para que haya identidad común entre todos los habitantes de una comunidad, se necesitó generar elementos que los motivara a considerarse iguales, a asumirse como idénticos, a procurar apreciar los mismos valores, a creer en los mismos principios, y a perseguir la consecución de un propósito común.

Los elementos de identidad cooperativa, pese a las diferencias culturales, regionales o de preparación profesional, son los mismos para todos los cooperativistas y todos los cooperativistas lo pueden reconocer:

- Historia
- Principios
- Valores
- Características

También los símbolos de la identidad cooperativa son comunes:

- Bandera
- Himno
- Emblema

Los valores cooperativistas son aquellos comportamientos que todos los cooperativistas apreciamos, y que están basados en los siguientes principios:

- Independencia
- Libertad
- Solidaridad
- Igualdad
- Reciprocidad
- Ayuda mutua
- Justicia

## **2.5 Elementos de la Identidad Cooperativa Cruz Azul**

- Mexicanidad
- Misión
- Principios
- Valores
- Historia
- Marco legal
- Cultura
- Tradiciones
- Forma de vida
- Educación
- Regiones

## **2.6 Símbolos de la Identidad Cooperativa Cruz Azul**

Representan su historia y su práctica cooperativa y son:

- El Emblema
- La Bandera
- El Himno

También son elementos de la identidad cooperativa Cruz Azul los elementos de la identidad nacional, ya que todos los asociados somos mexicanos:

- **El lenguaje o lengua.**

El español es el idioma oficial y se supone que todos los mexicanos compartimos su uso, aunque hay regiones indígenas donde no se habla español.

- **La cultura.**

Aquí nos referimos únicamente a los aspectos culturales compartidos, es decir, aquellos que gracias a la igualdad de programas académicos, la SEP puede garantizar para todos los mexicanos, al margen de sus diferencias.

- **La historia.**

En este punto pasa un poco como con el anterior. Es decir, nos referimos a la historia oficial, que fundamentalmente parte de la independencia y llega hasta la revolución; todos los mexicanos sabemos quién fue Hidalgo y quién fue Zapata, etc.

- **La forma de gobierno.**

En realidad, aquí deberíamos decir la Constitución, porque es la constitución la que determina nuestra forma de gobierno y no podríamos cambiarla sin cambiar la Constitución Nacional.

Afortunadamente, en México hay muchas regiones donde viven grupos sociales que conservan las costumbres, tradiciones y forma de vida de sus antepasados, porque estas tradiciones culturales enriquecen la identidad.

## **2.7 Cooperativismo**

### **2.7.1 Consideraciones generales y antecedentes históricos**

El Cooperativismo, a lo largo de su historia, ha sido considerado y definido de múltiples formas: como doctrina política, modo producción, entre otras. Sin embargo, actualmente, a partir de la revisión de su historia, se puede afirmar que el cooperativismo es un plan económico que forma parte importante de la vida de muchos estados.

El Cooperativismo ataca uno de los conceptos en que se asientan las políticas individualistas, ya que trata de sustituir el incentivo de lucro individual por el concepto del servicio colectivo, sin que esto impida la adopción del cooperativismo tanto en programas socialistas como en las democracias liberales.

En otras palabras, el Cooperativismo está en contra del desenfreno de las prácticas mercantiles y enseña a sumar esfuerzos en favor de beneficios comunes.

Dentro del movimiento cooperativo mundial destaca el nombre de Roberto Owen, a quien se considera como precursor del cooperativismo contemporáneo.

Entre las primeras cooperativas que se formaron, la más importante es la de obreros textiles de Rochdale (Inglaterra), creada en 1844.

### **2.7.2.- Origen de la bandera del cooperativismo**

Por años, varios movimientos nacionales trataron de registrar la bandera del arco iris como propia y buscaron el apoyo de la Alianza Cooperativa Internacional a fin de hallar

argumentos que comprobaran que la bandera era un símbolo distintivo del movimiento cooperativo.

No obstante, fue hasta el año de 1923 en la ciudad de Gante, Bélgica, cuando el comité ejecutivo de la Alianza Cooperativa Internacional (ACI) por primera vez convino en que la alianza debía tener una bandera que representara los siete colores del espectro solar. La primera propuesta fue presentada en el año 1896 por L. Bernardot, delegado del Familisterio de Guisa, en el segundo Congreso de la ACI celebrado en París.

La iniciativa no tuvo trascendencia en aquel momento, pero la idea había de ser recogida por el gran cooperador francés Charles Gide, quien en un pasaje de su disertación titulada "las doce virtudes de la cooperación" escribió "la cooperación abrirá el camino hacia la abolición no solamente de los conflictos económicos y comerciales, sino también los de la naturaleza política o militar. Ese era el propósito de los economistas de la escuela liberal de Manchester. Aquellos economistas habían proclamado el reino de la libertad del intercambio, que tenía lógicamente que conducir a la paz. Pero una y otra están más lejos que nunca...i y bien! otra escuela, originaria también de las cercanías de Manchester, es la que ahora alienta el mismo sueño: el de unir a todos los hombres de buena voluntad a través del mundo. Allí donde los grandes hombres de negocios han fracasado, los humildes trabajadores de Rochdale triunfarán. La ACI, su hija recién nacida, tendrá la bandera de los siete colores del espectro, significando, como la de los Falansterianos, la diversidad en la unidad. Y en lugar de las águilas, los leones, y los leopardos, y de toda esa colección de bestias salvajes que sirven de emblemas a los pretendidos Estados 'civilizados', la bandera de la Alianza llevará como un escudo de armas dos manos entrelazadas".

Aunque el Sr. Gide durante treinta años hizo más que ningún otro por perpetuar esta idea, tuvo cuidado de señalar que la concepción original de una bandera con los colores del arco iris, había emanado del precursor de la cooperación en Francia, Charles Fourier, quien la había adoptado para su comunidad ideal, el Falansterio, como símbolo de la unidad en la diversidad. Después de la muerte de Fourier en 1837, se mantuvo año tras año la tradición del emblema del arco iris, cada vez que sus discípulos se reunían.

La bandera (figura 2.4) consta de los siguientes colores: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo y violeta en bandas horizontales. Los colores del arco iris en la bandera de la Cooperación simbolizan los ideales y objetivos de paz universal, la unidad que supera las diferencias políticas, económicas, sociales, raciales o religiosas; la esperanza de humanidad en un mundo mejor, donde reine la libertad, la dignidad personal, la justicia, social y la solidaridad.





Figura 2. 4 Bandera del cooperativismo

### **2.7.3.- Nueva bandera del cooperativismo**

El Consejo de Administración de la ACI en su reunión efectuada en la ciudad de Roma en abril del 2001 acordó cambiar la bandera del cooperativismo. El motivo de dicha decisión fue promover y consolidar claramente la imagen cooperativa ya que esta misma bandera era utilizada por algunos grupos no-cooperativos, lo cual causaba confusión en varios países a nivel mundial. La bandera que sustituye a la tradicional del arco iris es de color blanco y lleva impreso el logotipo de la ACI en el centro, del cual emergen palomas de la paz lo que rescata el concepto inicial del señor Charles Gide y representa a su vez la unidad de los diversos miembros de la ACI. Dicho diseño surge con motivo del Centenario de la ACI en el año 1995. El Arco Iris consta de seis colores y la sigla "ACI" está impresa en el séptimo color el violeta.

### **2.7.4.- Significado del símbolo del cooperativismo**

En la figura 2.5 los pinos representan la vida, al ser dos, simbolizan la hermandad, la unión, la solidaridad y la necesidad de un trabajo conjunto. Fue por eso que el movimiento los adoptó como símbolo oficial, luego de su creación en el año 1920, siendo en la actualidad el estandarte más representativo del cooperativismo.



Figura 2. 5 Símbolo del cooperativismo

El color de los pinos es el verde oscuro, el color de las plantas de las hojas donde está el principio vital de la naturaleza. El fondo del círculo es de color oro, simbolizando el sol fuente de luz y vida.

**El pino:** El árbol del pino, se consideraba en la antigüedad como símbolo de inmortalidad y de fecundidad, era respetado por su capacidad de supervivencia en las tierras menos féculdas y la sorprendente capacidad de multiplicación.

**El círculo:** EL representa la vida eterna, porque un horizonte final, además representa la idea del mundo, reflejando así la idea de universalidad.

**El verde:** El color verde oscuro se asemeja al color de la clorofila. donde nace el principio vital de la naturaleza.

**El amarillo:** El amarillo-oro representa el sol, fuente permanente de energía, calor y vida.

**El emblema:** Un círculo que abraza dos árboles de pino, indican la unión del movimiento, la inmortalidad de sus principios, es la fecundidad de sus seguidores. Todo esto marca en la trayectoria ascendente de los árboles de pino para los que se proyectan en lo alto, intentando crecer cada vez más.

### 2.7.5.- Día Mundial del Cooperativismo

El primer sábado de julio de cada año se celebra el Día Internacional de la Cooperación. Ello rige desde 1923, cuando fuera recomendado por la A.C.I. "para celebrar y propagar la cooperación y demostrar al mundo entero la solidaridad de los cooperadores y la eficacia de sus organizaciones, como medio de emancipación económica y prenda de paz mundial".

La ACI lo define como una fiesta anual para celebrar y propagar la cooperación y demostrar al mundo entero la solidaridad de los cooperadores y la eficacia de sus organizaciones como medio de emancipación económica y prenda de una paz mundial.

## 2.7.6.- Núcleo Cooperativo

Las cooperativas que forman el Núcleo Cooperativo han logrado una consolidación importante durante los últimos años. Cada una funciona de forma independiente y tiene sus propios órganos de gestión, aunque están vinculadas entre sí por las actividades que llevan a cabo alrededor de la producción de cemento y por la asistencia mutua, elemento clave para el desarrollo cooperativista. Más de 5000 familias dependen del **Núcleo Cooperativo Cruz Azul** y a todas son extensivos buena parte de los servicios sociales que otorga la Cooperativa a sus miembros.

**"La Cruz Azul es un ejemplo de desarrollo industrial y social"** es la expresión que mejor integra los comentarios que sobre la Cooperativa han hecho todas las autoridades nacionales y estatales que han visitado sus instalaciones con motivo de alguna ceremonia especial o por interés particular en el complejo industrial.

Lo cierto es que **La Cruz Azul** no ha dejado de causar asombro como fuente de desarrollo y progreso, pues además del crecimiento mismo de la Cooperativa, ésta siempre ha hecho extensivo su progreso a las regiones en donde se ubican sus plantas.

## 2.8 Proceso de fabricación del cemento

### 2.8.1. Extracción de los yacimientos

Cuando la caliza ya ha sido fragmentada y separada de la cantera por medio de explosivos, es transportada por medio camiones pesados "fuera de carretera" llamados "yucles" hasta la primera etapa del proceso de elaboración que es la trituración primaria, en este caso se llama trituración primaria Krupp.

Este equipo consta de una tolva en forma de cono invertida y troncada, en cuyo centro sienta un pilón pesado acanalado, gira lentamente con un movimiento excéntrico que aprieta la roca con tal fuerza que una roca de 80 cm de diámetro la rompe reduciéndola a fragmentos de un tamaño máximo de 20 cm de diámetro.

Esta máquina tiene una capacidad de diseño de 750 ton/hr , siguiendo la línea de proceso, el material triturado por este equipo es transportado por bandas hasta la otra sección llamada trituración secundaria y terciaria. Este departamento está dividido en dos sistemas. Cada sistema tiene una capacidad de 350 ton/hr

El equipo para trituración secundaria es un quebrador con un rotor de aproximadamente 80 cm de diámetro y 1.30 m de ancho de hierro sólido y pesado, que presenta salientes metálicas endurecidas que impactan al material que es llevado a ellos por medio de una banda transportadora hasta una tolva donde es recibido por un transportador de barras helicoidales que es realmente el que alimenta al impactor secundario. Este impactor

recibe el material que viene de la “Krupp” de un tamaño máximo de 20 cm., y lo tritura hasta dejarlo de tamaño entre 7.5 cm. y 2.0 cm. Su producto es llevado mediante otra banda hasta unas cribas vibratorias donde se seleccionan los tamaños de tal manera que el que tenga 2.0 cm. que es el tamaño adecuado para su manejo, se envía hasta otra sección de la planta llamada patio de prehomogeneización de caliza. La roca que no reúna esos requisitos se regresa hasta el impactor terciario que es un impactor con tres juegos de martillos de 5 piezas cada uno y 60 kg de peso por pieza, con capacidad de 125 a 150 toneladas por hora, donde el material se deja a 2.0 cm. y es enviado directamente al patio de prehomogeneización de caliza.

Adjunto a estas dos trituradoras se encuentra la trituradora de pizarra, arena y materiales abrasivos que funcionan de manera similar a las anteriores, para comprender mejor el proceso general observamos la figura 2.6 que va desde materia prima asta envases y embarques.

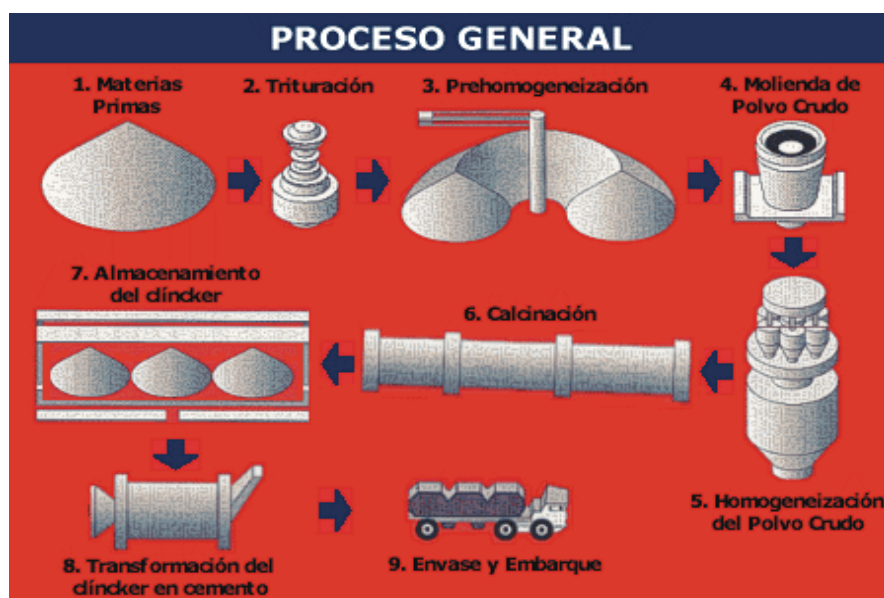


Figura 2. 6 Proceso general de fabricación del cemento

## 2.8.2 Materias primas

La caliza y la pizarra son materias primas (figura 2.7) se obtienen de canteras cercanas a las fábricas. Las canteras son propiedad de la cooperativa. El caolín es una arcilla con alto contenido de alúmina que se utiliza para la fabricación del cemento blanco.

- **Caliza**

Se encuentra en las capas superficiales de muchos cerros y montañas, en depósitos de profundidad variable, Los hay de más de 200 metros. Para la fabricación de cemento se sacan volúmenes muy grandes porque la caliza representa el 80% de las materias primas

que forman el clínker. Por eso conviene que esté cerca de la planta; de no ser así el costo del cemento se elevaría demasiado por razón del acarreo.

Primero se explora el cerro para conocer el volumen y saber el grado de pureza del material que se va a explotar. El análisis químico permite conocer la calidad de una cantera de caliza. Se considera buena la que tiene carbonato de calcio en un 95% o más. Abajo de 90% ocasiona problemas.

Debido a su dureza se extrae de las canteras con el empleo de explosivos. Una voladura puede producir de 30 a 100 mil toneladas de materia prima

- **Pizarra**

Se les llama "pizarra" a las arcillas constituidas principalmente por óxidos de silicio de un 45 a 65%, por óxidos de aluminio de 10 a 15%, por óxidos de fierro de 6 a 12% y por cantidades variables de óxido de calcio de 4 a 10%. Es también la principal fuente de álcalis. La pizarra representa aproximadamente un 15% de la materia prima que formará el clínker. Como estos minerales son relativamente suaves, el sistema de extracción es similar al de la caliza, sólo que la barrenación es de menor diámetro y más espaciada, además requiere explosivos con menor potencia.

Debido a que la composición de éstos varía de un punto a otro de la corteza terrestre, es necesario asegurar la disponibilidad de las cantidades suficientes de cada material.

- **Sílice**

Eventualmente se agregan arenas sílicas que contienen de 75% a 90% de sílice, para obtener el óxido de silicio requerido en la mezcla cruda. La Cruz Azul posee jales de sílice en Tlapujahua, Mich. Los jales son un desecho de las minas, rico en óxido de silicio.

- **Hematita**

Al material que aporta mineral de fierro se le llama 'hematita', aunque pueden ser diversos minerales de fierro o escoria de laminación. La hematita contiene entre 75 y 90% de óxido férrico. Con estos minerales se controla el contenido de óxido férrico de la mezcla. La hematita constituye entre el 1 y 2% de la mezcla cruda.

- **Caolín**

El caolín es una arcilla con alto contenido de alúmina que se utiliza para la fabricación del cemento blanco. La Cruz Azul emplea caolín de varios yacimientos, los principales son: El Carbonero, Ver., al norte del Edo. de Hidalgo, de El Carmen, Hgo. y del yacimiento Villa de Reyes, en S.L.P.



Figura 2. 7 Materias primas

### 2.8.3 Trituración

Todo material necesita reducirse al tamaño de  $\frac{3}{4}$ ", para que pueda alimentar a los molinos, de manera que es preciso triturar las grandes rocas resultantes de las voladuras de caliza, la figura 2.8 describe el proceso general de la trituración.



Figura 2. 8 Trituración



## 2.8.4 Prehomogeneización

De los patios de prehomogeneización (figura 2.9) los minerales son transportados por medio de sistemas de bandas, y descargados a tolvas, las cuales alimentan a los poidómetros para dosificar los materiales.

Los poidómetros son mecanismos que tienen una banda giratoria bajo la cual hay una báscula electrónica. Si cae poco material, la velocidad de la banda aumenta y viceversa. Una vez triturada, prehomogeneizada y dosificada, las materias primas alimentan a los molinos de crudo.

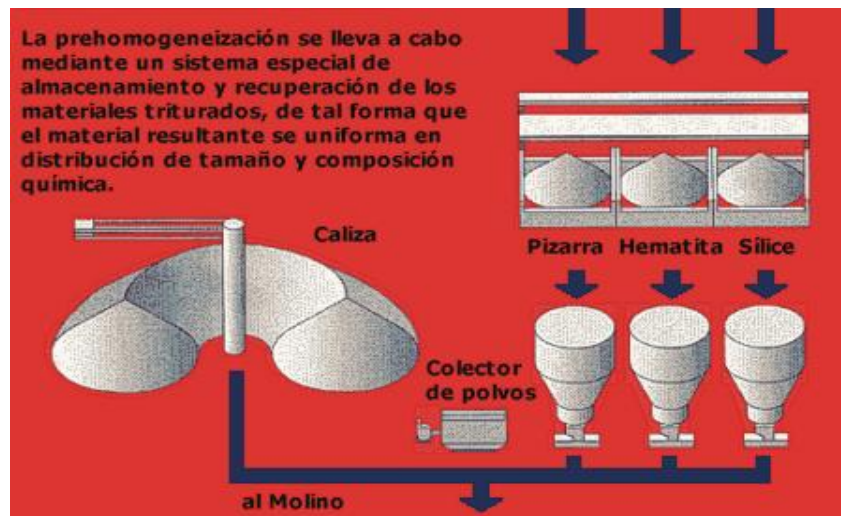


Figura 2. 9 Prehomogeneización

## 2.8.5 Molienda del polvo crudo

El resultado del análisis indica si es preciso ajustar la dosificación y la finura, ya que la mezcla cruda necesariamente debe conservar cierta relación entre los óxidos de silicio, aluminio, hierro y calcio.

Se lleva un estricto control químico, además, las partículas de caliza no deben ser mayores de 125 micras y las de cuarzo no deben medir más de 45 micras para garantizar una operación normal del horno. Si la mezcla de polvo crudo no fuera uniforme, la operación del horno sería inestable y tendería a enfriarse o a calentarse demasiado, lo que obligaría a ajustar la velocidad o el flujo de combustible, para comprender más el proceso de molienda de polvo crudo hacemos referencia a la figura 2.10



Figura 2. 10 Molienda de polvo de Crudo

### 2.8.6 Homogeneización del polvo de crudo

El producto de molienda (figura 2.11) se lleva a un silo homogeneizador, donde un sistema neumático mezcla el material para mejorar su uniformidad, y lo deposita en los silos de almacenamiento. De los silos sale a una tolva de nivel constante que lo transporta a la parte más alta de la unidad de calcinación



Figura 2. 11 Homogeneización del Polvo de Crudo

## 2.8.7 Calcinación

Los cambios físicos y químicos son graduales. Cuando el polvo crudo entra a la cuarta zona del horno cambia su composición química en una suma de compuestos que se llama clínker.

La palabra clínker procede del inglés y significa 'escoria'. Se define clínker como el producto artificial obtenido por la sinterización de los crudos correspondientes, es decir, por la calcinación (figura 2.12) y sinterización de los mismos a la temperatura y durante el tiempo necesario, y por enfriamiento adecuado, a fin de que dichos productos tengan la composición química y la constitución mineralógica requerida. Los crudos de clínker Pórtland son mezclas suficientemente finas, homogéneas y adecuadamente dosificadas a partir de materias primas que contienen cal ( $\text{CaO}$ ), sílice ( $\text{SiO}_2$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y pequeñas cantidades de compuestos minoritarios, los cuales se clinkerizan.

El producto de la calcinación debe tener una composición química predeterminedada. No debe haber exceso de cal porque aparecería como cal libre en el cemento y hacer un concreto produciría expansiones y grietas. Sería un cemento insano. Es importante, por ende, evitar la cal libre mediante la correcta dosificación de las materias primas y una clinkerización a la temperatura adecuada, ( $1450^\circ\text{C}$ ).

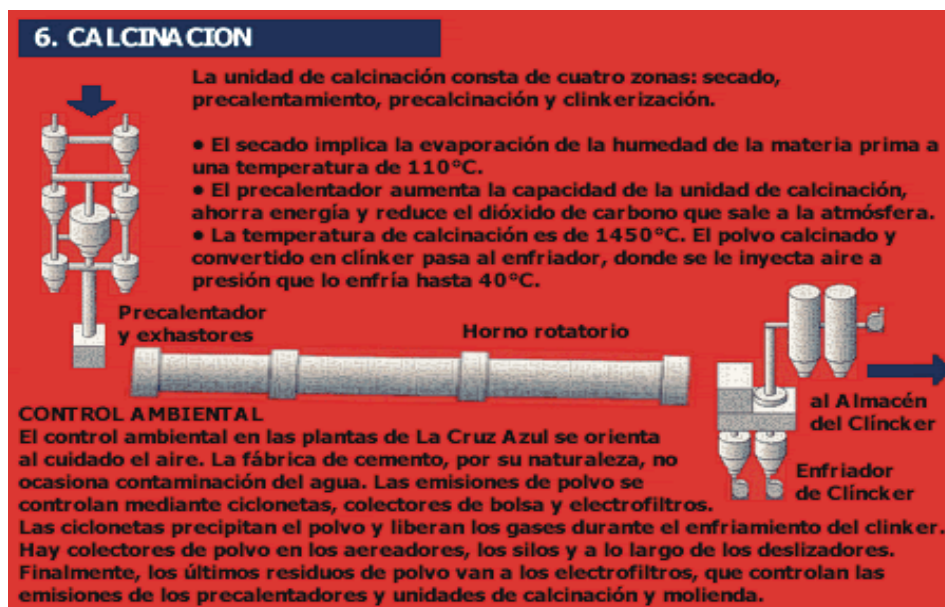


Figura 2. 12 Calcinación

### 1.8.8 Almacenamiento de clínker.

El Clínker frío se almacena (figura 2.13) a cubierto, de donde se conduce a la molienda final en la combinación con yeso, puzolana, caliza y otros aditivos, según el tipo de cemento que se pretende obtener

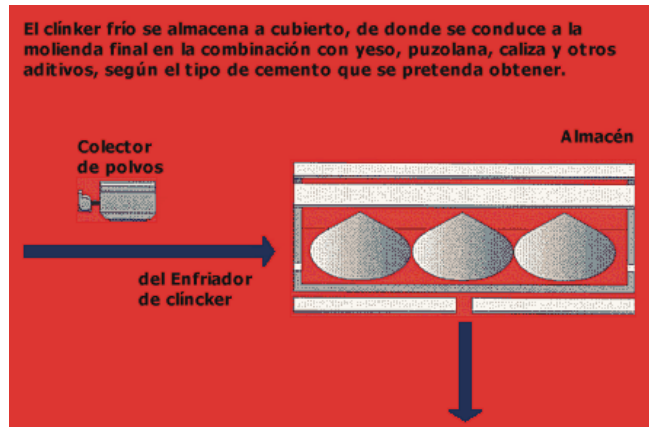


Figura 2. 13 Almacenamiento de Clínker

### 1.8.9 Transformación del clínker en cemento

Para producir cemento se parte del clínker (figura 2.14). Al material proveniente de la pulverización del clínker se le agrega yeso sin calcinar, así como otros materiales que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento y obtener uno de los tipos de cemento que se refieren a la Norma Mexicana.

El yeso que se mezcla funciona como retardador del fraguado. La combinación de clínker y yeso alcanza una proporción óptima. Es decir, para obtener un cemento con mayor resistencia se requiere agregar el yeso necesario solamente. Cierta relación de clínker y yeso ofrecen una resistencia inicial un día después de fraguar. Para mejorar resistencia a los 28 días la proporción debe ser otra.



Figura 2. 14 Transformación del clínker en cemento.

- **Yeso**

El yeso que usa La Cruz Azul es el sulfato de calcio dihidratado. Es decir, un yeso natural, porque también hay yesos sintéticos (proveniente como subproducto de un proceso). Regula la hidratación y el fraguado del cemento mediante una reacción con el aluminato tricálcico. Al formar el sulfoaluminato tricálcico, la mezcla se va hidratando poco a poco y además acelera la hidratación del silicato tricálcico.

El yeso para hacer cemento necesita ser muy puro. La Cruz Azul lo consigue con valores que oscilan entre 80 y 90% de pureza. Se suministra de los estados de Morelos y de Puebla, donde hay yacimientos enormes.

- **Puzolana**

Hay puzolanas naturales y artificiales, hechas a base de arcillas activadas. La puzolana natural es un material volcánico. Se utiliza en la elaboración del cemento por la contribución a las resistencias mecánicas y al ataque de agentes agresivos del medio; aunque la puzolana por sí sola no tiene propiedades hidráulicas, combina su contenido de sílice con la cal que libera el cemento al hidratarse, para formar compuestos con propiedades hidráulicas.

## 2.9 Control de calidad

En la fabricación de cemento se lleva un riguroso control de calidad. Para tal efecto La Cruz Azul cuenta con un laboratorio con equipo de alta tecnología. Se trata de instrumentos aplicables a las distintas fases del proceso, desde la materia prima en los yacimientos, los productos intermedios y los diferentes tipos de cemento que son elaborados.

## 2.10 Control químico

Mezcla cruda. Para efectuar el control químico de la mezcla cruda la planta cuenta con un equipo de espectrometría de Rayos X automático.

Para cumplir con las necesidades de control y particularmente para conocer la composición con la exactitud y rapidez que se requiere, se toman muestras cada hora en las unidades de molienda de crudo. En función de éstas se modifican las proporciones de caliza, pizarra, sílice y Hematita, Clínter. Para evaluar la calidad del clínter también se emplea el análisis por Rayos X. A partir de su composición química se calculan los compuestos potenciales, como silicatos y aluminatos de calcio.

## 2.11 Control físico

Las pruebas de resistencia a la compresión, sanidad y tiempos de fraguado inicial y final, se realizan diariamente. Durante la molienda de cemento, cada hora se toma una muestra para la determinación del **blaine**, que provee un valor de la finura del cemento. Esta prueba tiene como unidades de medida  $\text{cm}^2/\text{g}$ . Los cementos Tipo II modificado (CPO 30 R) y Tipo II con Puzolana (CPP 30 R) alcanzan finuras del orden de los 3,500 a 4,500  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

Se cuenta con otros equipos e instrumentos empleados para el control como los tamices para medir la finura; prensa, para medir la resistencia a la compresión; balanzas; reactivos químicos para análisis y elaboración de estándares.

Otros equipos como Emisión de Plasma y Absorción Atómica se utilizan como apoyo en la elaboración de estándares.



## **2.12 Envase y embarque**

### **2.12.1 Envase 1**

En este departamento se envasan y embarcan diferentes tipos de cemento como son: Tipo II, Tipo II con Puzolana, Blanco, Clase "G" ensacado y a granel.

El cemento mortero es envasado y únicamente se embarca.

Para esto se cuenta con silos de almacenamiento, tres con capacidad de 1,000 toneladas cada uno y tres con capacidad de 500 toneladas cada uno.

El cemento se extrae de los silos mediante un sistema de aireación, que a través de unos transportadores, deslizadores y elevadores hace llegar el cemento a dos envasadoras flux rotatorias combinadas para pesar y envasar los diferentes tipos de cemento, teniendo una capacidad para 2,400 sacos por hora igual a 120 toneladas. Las envasadoras reciben el cemento de un recipiente de alimentación colocada sobre la misma. Estas envasadoras constan de 12 mecanismos de llenado cada una para sacos de 50 kg., los sacos se introducen a mano en cada uno de los mecanismos durante una sola rotación se llenan y se descargan automáticamente.

El llenado de los sacos se realiza en cuatro fases que son, llenado preliminar, ventilación, llenado definitivo y descarga.

El peso de las bolsas es verificado físicamente en periodos para controlar el peso neto. Cuando las bolsas se desprenden automáticamente de las boquillas de llenado llegan a un disco giratorio para amortiguar la descarga, depositándolas en una serie de bandas transportadoras para hacerlas llegar a los camiones a través de unos cargadores telescópicos, donde tres personas por cada punto de carga estiban los sacos, así mismo cuando se cargan los furgones.

Las capacidades de los camiones son de: 10, 20, 30 y 40 toneladas y de los furgones 50, 60 y 70 toneladas.

En el departamento de cemento blanco se cuenta con dos ensacadoras St-Regis de tres sistemas de llenado y con capacidad para 35 toneladas por hora cada una, este cemento también se carga en camiones y furgones.

Para exportación se carga en furgones y en tolvas graneleras de FF-CC, se envían en pallets y en contenedores flexibles.

### **2.12.2 Envase 2**

En este departamento se envasa y se embarca en camiones, furgones y granel, (en camiones y en tolvas de FF-CC) para esto se cuenta con un silo de almacenamiento con capacidad para 18,000 toneladas de cemento tipo II.

La extracción del cemento en este silo es controlada a través de un tablero electrónico que consta de un tablero mímico y un tablero de apoyo con teclas numéricas para seleccionar los grupos de los sistemas, ya que los motores arrancan automáticamente en secuencia programada, cuenta también con un sistema de aireación y aire de choque para la extracción.

El cemento es transportado del silo a las envasadoras a través de deslizadores y elevadores depositándolo en un recipiente de alimentación colocada sobre la misma.

Las dos envasadoras constan de 12 mecanismos de llenado cada una para sacos de 50 kg. Los sacos se introducen manualmente en cada uno de los mecanismos durante una sola rotación, se llenan y descarga automáticamente.

Las envasadoras son rotatorias y combinadas para pesar y envasar el cemento, teniendo una capacidad de 120 toneladas (2400 sacos) por hora. El llenado de los sacos se realiza en cuatro fases, llenado preliminar, ventilación, llenado definitivo y descarga, el peso de las bolsas es verificado por periodos para control del peso neto.

Las bolsas se desprenden de las boquillas de llenado automáticamente, depositándose en un disco giratorio para amortiguar la descarga. Posteriormente son depositadas en una serie de bandas transportadoras que a su vez las hace llegar a los cargadores automáticos (Autopac's).

El Autopac es un equipo automatizado para la carga de los camiones, su sistema es electrónico, cuenta con un tablero electrónico para programar la cantidad de estibas, está diseñado para formar capas traslapadas de 10 sacos cada capa a una altura de 9 capas o más y 10 filas de longitud, con una capacidad para 2,300 sacos por hora.

La carga a granel en camiones y tolvas de FF-CC se hace en áreas separadas con su propio control de llenado (figura 2.15).

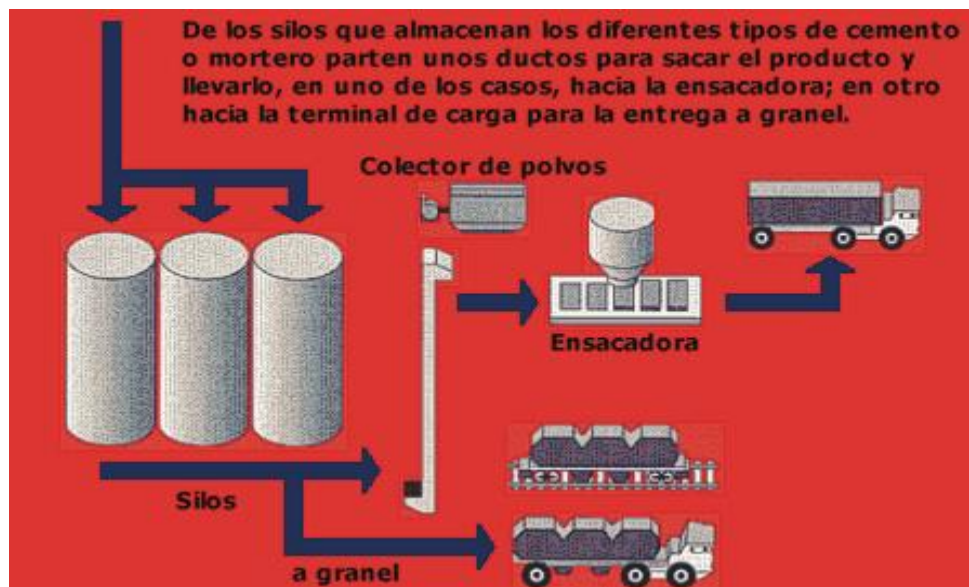


Figura 2. 15 Envase y embarque

### 2.12.3 Embarque

El transporte se realiza generalmente por carretera, por medio de camiones y de tráilers. Las plataformas de estos vehículos reciben la carga de bultos mediante estibadoras

automáticas, Paletizadoras Beumer y Autopac, que operan en la Planta de Cruz Azul, Hgo en Lagunas, Oax., y 2 Paletizadoras Beumer en Tepezalá, Ags.

El cemento a granel se distribuye en tráilers equipados de contenedores especiales que se presurizan para descargar el cemento, o bien, se envía por ferrocarril desde la planta de Lagunas, Oaxaca.

## 2.13 Calidad

La búsqueda permanente de la calidad en todos nuestros productos y servicios es parte de nuestra misión. Nuestro lema "*Sólo producimos calidad*", es parte de la filosofía de todos nosotros en Cruz Azul.

El cumplir con normas nacionales e internacionales y ser los líderes en calidad en el mercado es nuestro compromiso, por lo que el nombre de Cruz Azul es sinónimo de calidad.



Figura 2. 16 Cemento Cruz Azul

## Capítulo 3: Fundamento teórico

### 3. Evolución del mantenimiento

CORRECTIVO → PREVENTIVO → PREDICTIVO → PROACTIVO

Todos enfocados a la MAXIMA PRODUCTIVIDAD.

#### 3.1 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento sólo es lógico para plantas con un gran número de máquinas similares y que son baratas, fáciles y rápidas de reparar o reemplazar.

La disponibilidad y los períodos de mantenimiento son imposibles de predecir, así como el estado general de la maquinaria.

#### 3.2 Mantenimiento preventivo

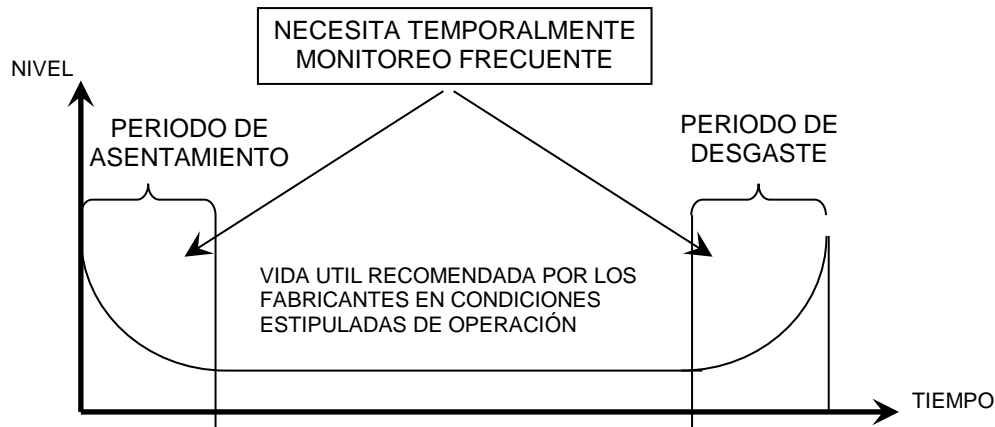
La idea básica de este tipo de mantenimiento es que se puede estimar estadísticamente el tiempo de vida del equipo. De esta manera pueden ser convenientemente reemplazados o intervenidos periódicamente antes de que fallen.

Un estudio reciente en una compañía de aviación comercial reveló que la probabilidad de falla de un equipo se incrementa después de una intervención periódica atribuyendo esto a dos causas principalmente:

- Refacciones defectuosas.
- Procedimientos de mantenimiento inadecuados.

Para obtener una mejor ideas sobre el mantenimiento predictivo podemos observar la siguiente grafica

## VIDA ÚTIL TÍPICA DE LA MAQUINARIA



SE MONITOREA:  
ARRANQUE DE PLANTA  
POST-INSTALACIÓN  
POST-MANTENIMIENTO P

MONITOREO DE FIN DE CICLO DE VIDA  
MONITOREO INTENSIVO DE  
MAQUINARIA EN DETERIORO

### 3.3 mantenimiento predictivo

En este tipo de mantenimiento se emplean pruebas periódicas no destructivas basadas en el hecho de que la mayoría de la maquinaria muestra algún tipo de advertencia antes de fallar. Estas pruebas se enfocan en tendencias específicas para evaluar el estado real del funcionamiento de la maquinaria. Entre las técnicas más comunes se encuentran el análisis de aceite, la ferrografía, ultrasonido, análisis de vibraciones y de corriente. De estas técnicas, al análisis de vibraciones proporciona la mayor cantidad de información del estado general de la maquinaria.

El mantenimiento predictivo:

- Se anticipa a la falla, dando la oportunidad de planear el mantenimiento.
- Disminuye los paros no planeados o correctivos.
- Reduce el desperdicio por mantenimiento innecesario.
- Facilita la planeación del almacén de refacciones.
- Mejor aprovechamiento de los recursos humanos.
- Requiere de personal, equipo y tecnología especializados.

El monitoreo y análisis de vibraciones nos permite identificar problemas en las máquinas como son:

- Desalineación y desbalance.

- Flexiones permanentes.
- Fisuras.
- Rozamiento.
- Piezas sueltas de rotores.
- Deterioro o defectos en rodamientos, sellos y engranes.
- Resonancias y vibraciones transmitidas.
- Desequilibrio o vibración en cimentaciones, estructuras y soportes.
- Vibración inducida por flujo.
- Problemas de motores eléctricos.
- Problemas de lubricación.

### **3.4 Mantenimiento proactivo**

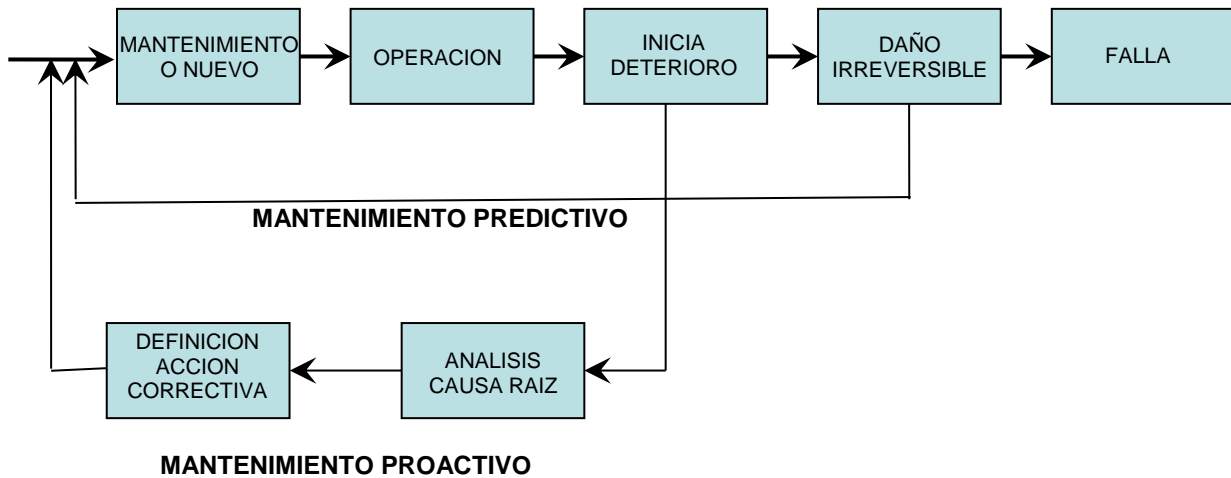
En este tipo de mantenimiento se busca y corrige la causa o proceso que produce fallas en los equipos. Las dos causas-raíz más comunes de falla en los equipos son la desalineación y el desbalance. La apropiada alineación, un correcto balanceo y la verificación de los resultados con el análisis de vibración, puede alargar sustancialmente la vida de la maquinaria industrial.

La aplicación de este tipo de mantenimiento conlleva la mejora continua.

En mantenimiento proactivo:

- Se analiza la causa raíz de las fallas y se mejora la confiabilidad del equipo a través de acciones de precisión dirigidas a evitar la falla.
- Permite ampliar el período entre paros planeados.
- Minimiza los paros no planeados o correctivos.
- Extiende la vida del equipo.
- Reduce el costo del mantenimiento.
- Requiere de personal, equipo y tecnología especializados para el monitoreo, así como del conocimiento sobre la ingeniería de la maquinaria.

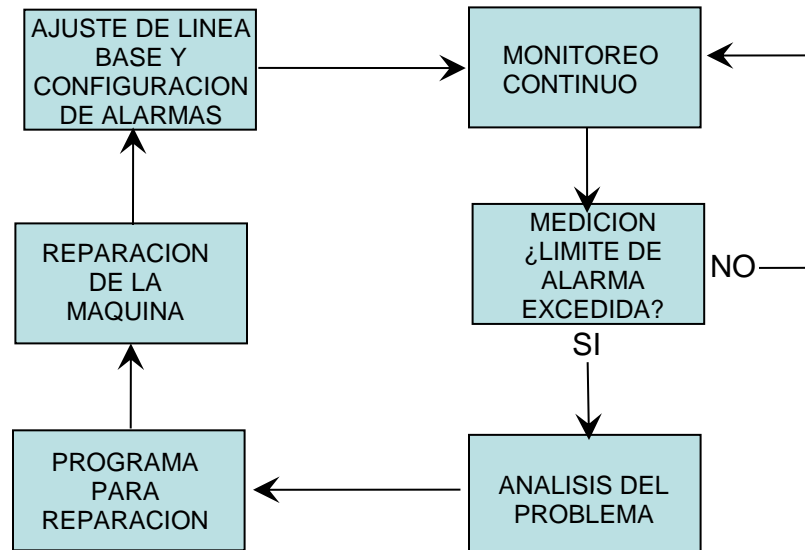




### 3.5 Modelo ideal basado en la condición

- Identificar un problema potencial.
- Verificar el problema -diagnóstico y análisis.
- Identificar causa raíz (de requerirlo)
- Ordenar actividad correctiva para solucionar el problema y dirigir la causa raíz.
- Verificar la corrección y ajustar los límites de aceptación ya sea hacia arriba o hacia abajo.

## CICLO DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION DE LA MAQUINARIA



### 3.6 Decisiones en la condición de monitoreo

Que maquinas se van a monitorear y establecer la clasificación:

Critica:

- Maquinaria principal, indispensable, sin repuesto.
- Mantenimiento altamente costoso.
- Alto impacto a la salida de producción.
- Progreso rápido hacia falla catastrófica.
- Falla crítica causa alto riesgo de la seguridad.

Importante:

- Máquinas con repuesto, pero mantenimiento costoso.
- Mediano impacto a la producción.
- Permite programar la reparación a corto plazo.
- No pone en riesgo la seguridad.

Estándar:

- Maquinaria con repuesto, de bajo costo.
- No impacta en la producción.
- Reemplazable al 100%.

### **3.6.1 ¿Qué es vibración?**

Es un movimiento repetitivo, periódico que puede ser trepidatorio, oscilatorio o combinado a partir del punto de reposo de una máquina.

Vibración es un movimiento de vaivén de una estructura que puede ser referida también como un movimiento cíclico

### **3.6.2 ¿Que causa la vibración?**

La vibración puede ser causada por varios factores, entre ellos:

Imperfecciones de la maquinaria en diseño, armado, manufactura, operación, instalación o mantenimiento.

Algunos problemas comunes de las máquinas que generan vibración mecánica como desalineamiento, desbalance, poleas y bandas gastadas, defectos en rodamientos, fuerzas hidráulicas, fuerzas aerodinámicas, fuerzas de reacción, fuerzas recíprocas, ejes torcidos, fricción, problemas de engranes, defectos en alojamientos, problemas eléctricos.

Algunos problemas comunes que amplifican la vibración, pero no son la causa, son la resonancia y los aflojamientos o soldaduras mecánicas.

### **3.6.3 ¿Porque medir la vibración?**

1.- Para evaluar la condición de la máquina, principalmente los rodamientos. Mediante la ejecución efectiva de esta tarea podemos eliminar fallas catastróficas debido a la degradación de los componentes.

2.- Para hallar la causa o causas raíz de cualquier vibración excesiva. Con la realización efectiva de esta tarea, podemos extender la vida útil de los rodamientos y componentes sometidos a tensiones y esfuerzos de fatiga que causan el síntoma de vibración excesiva.

Debe entenderse que las fallas ocurridas a corto plazo (por ejemplo, la pérdida de lubricación, la fractura súbita de un componente, etc.) no son protegidos por cualquier programa que sólo colecciona los datos periódicamente. El tiempo entre el síntoma y la falla en estos casos - qué es raro - puede tomar sólo minutos (en los casos extremos), horas, días o semanas. Por ejemplo, muchos programas son basados en la colección mensual de los datos. Cualquier evento que ocurre durante ese intervalo del mes puede causar la falla antes de la próxima colección de los datos. Ésta no es una falla del programa o la tecnología, es como colocar un tenedor dentro de una máquina y destruirla. Las buenas noticias son que la inmensa mayoría de las fallas potenciales no entrarán en esta categoría y se prestan ellas mismas a ser detectados, monitoreadas y corregidas a través de un programa de vibraciones bien ejecutado.

### **3.6.4 ¿Que mide realmente el transductor?**

Los rodamientos que vibran realizan un movimiento de forma elíptica. Entonces un transductor montado en dirección vertical solo “leerá” el desplazamiento vertical y uno montado en dirección horizontal solo detectará el movimiento horizontal.

### **3.6.5 ¿Cuáles son las características de la vibración que medimos?**

Amplitud: La amplitud nos dice que cantidad de movimiento ocurre.

Frecuencia: La frecuencia nos dice que tan a menudo el movimiento ocurre (cuantos ciclos en un período de tiempo, segundo o minuto).

Fase: La fase nos dice en qué dirección se da el movimiento (relativo a otros puntos de la máquina en un momento dado).

## **3.7 normas**

### **3.7.1 ¿Que son normas?**

Normas son estándares que se ponen o adoptan, que aplican a cada maquina y a todo un programa. Estas normas simplifican el entrenamiento de personal nuevo y aseguran que todos los involucrados en un programa utilicen un mismo lenguaje. Hay tres normas básicas que deben ponerse por lo menos, ellas son:

- Numeración de rodamientos (posiciones)
- Nombramiento de las posiciones
- Definición de la dirección

### **3.7.2 Normas de numeración de rodamientos (posición)**

Muchos programas usan números para identificar los rodamientos, otros usan letras. De una o de otra forma, la manera más común de iniciar la numeración (o denominación con letras), es comenzando en el lado posterior del elemento conductor (motor, turbina, etc.) este rodamiento será denotado como posición 1 o A

Siguiendo la línea de transmisión de manera lógica, el siguiente rodamiento será posición 2 o B. este rodamiento estará en el extremo de transmisión o acoplamiento del elemento conductor

Continuando la línea lógica de transmisión, el rodamiento 3 o C se encontrará seguramente en el elemento conducido, en el extremo cercano al acoplamiento. En una máquina típica de cuatro rodamientos, el último rodamiento es 4 o D y se encuentra en el último apoyo del equipo conducido. La siguiente figura 3.1 muestra un típico ventilador de cuatro rodamientos con transmisión por bandas con sus rodamientos numerados.

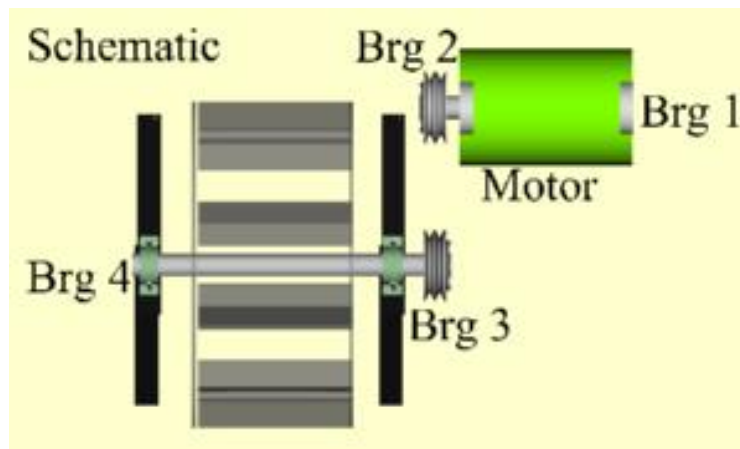


Figura 3. 1 Normas de numeración de rodamientos (posición)

### 3.7.3 Normas comunes para numerar rodamientos en máquinas que tienen más de dos rodamientos.

La imagen de la derecha (que no muestra los rodamientos 1 y 2 que corresponden al motor) muestra una norma típica de numeración para componentes de más de dos rodamientos. Comienza basándose en el seguimiento de la línea de transmisión de manera lógica. Una cosa importante es usar una norma simple y progresiva y apearse consistentemente. Se pueden usar normas de otras personas o crearlas uno mismo, que tengan sentido para usted y sus máquinas. La caja de engranes de la figura 3.2 es de doble reducción (tiene dos pares de engranes en contacto) y tiene tres flechas con velocidades diferentes: la flecha de entrada o alta velocidad, la flecha intermedia apoyada entre los rodamientos 5 y 6 y la flecha de salida o baja velocidad y dos frecuencias de paso de engranes.

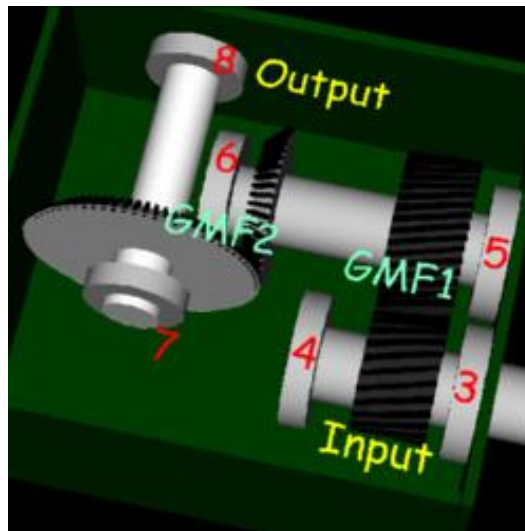


Figura 3. 2 Normas comunes para numerar rodamientos en máquinas que tienen más de dos rodamientos

Aunque la numeración de rodamientos es (y debe ser) el identificador primario de la posición de la lectura, se usan a menudo también los nombres para los rodamientos. Hay una variedad de nombres comunes usada por nombrar las posiciones de rodamientos diferentes subsecuentemente - varios para cada posición, de hecho - una lista de los más comunes se pone aquí adelante. No hay ninguno bueno o malo - el único aspecto importante es la consistencia en su uso.

#### Posición 1.

- Parte posterior del motor.
- Lado opuesto a la transmisión del motor
- Lado opuesto a la flecha del motor

#### Posición 2.

- Parte anterior del motor.
- Lado transmisión del motor
- Lado flecha del motor

#### Posición 3.

- Rodamiento interior de x (será el ventilador, bomba, etc. dependiendo que componente es conducido).
- Rodamiento lado transmisión
- Rodamiento lado flecha

#### Posición 4.

- Rodamiento exterior de x



- Rodamiento opuesto a la transmisión
- Rodamiento opuesto al lado flecha.

Usted puede tener aplicaciones que no entran en la categoría de las máquinas de 4 rodamientos pulcramente. Las líneas de transmisión largas con docenas de rodamientos, cajas de engranajes como el mostrado en la página anterior, las máquinas de muchas etapas, etc. pueda cada uno requieran su propia y única solución para la denominación de rodamientos. En el caso de una línea de transmisión larga, el rodamiento puede nombrarse para coincidir con la parte del equipo a lo largo de esa línea en la que el rodamiento está más cerca. Recíprocamente, usted puede decidir confiar en los números de la posición estrictamente en ese caso y no usar el nombre de la posición en absoluto. Pueden usarse nombres como "flecha intermedia". No hay ninguna, norma universal de la denominación que aplicará a todas las configuraciones de la máquina. Recuerde el objetivo: la consistencia es la clave.

### **3.7.4 Normas comunes de nombramiento de dirección.**

Las normas de dirección son también de suma importancia para establecer y usar. Una norma simple y común de asegurar que quien siempre colecta los datos, este consiente de colocar el transductor en la posición y dirección correcta. También el analista si es diferente que el técnico que colecta los datos, puede analizar los datos con confianza. Esta norma es el corazón de uno de los aspectos más importantes de un programa de vibración a respetabilidad de las lecturas de una colección de datos a la siguiente (qué tan buena es una tendencia sin buena respetabilidad). Es importante ir mano con mano con la importancia de asegurar que la posición exacta del transductor sea claramente marcada. La norma empieza con una estricta regla:

La dirección axial es siempre, siempre, siempre paralela al eje geométrico de la flecha. Comencemos con máquinas horizontales, acopladas directamente. Estas máquinas son las más simples de definir.

1. Dirección axial (Figura 3.4): Va a lo largo del eje de la flecha de la máquina. Es paralela a la flecha y a la tierra.
2. Dirección vertical (Figura 3.3): Las líneas cortas posibles conectando la flecha de la máquina en la base de la máquina.
3. Dirección horizontal (Figura 3.3): Una línea perpendicular al eje de la máquina que va exactamente paralela a la tierra.

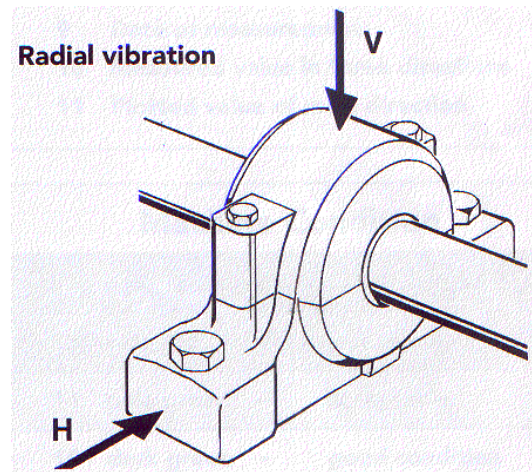


Figura 3. 3 Dirección radial

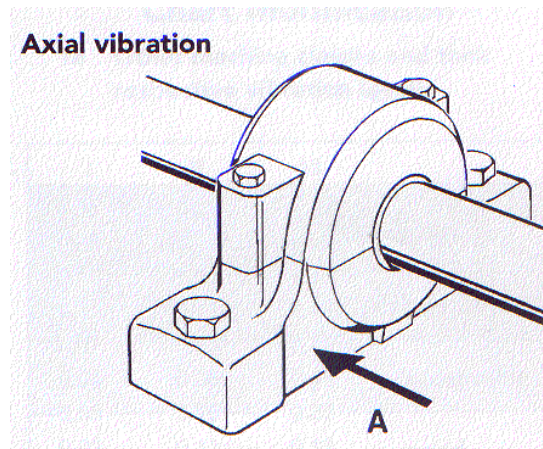


Figura 3. 4 Dirección axial

La transmisión por bandas puede ser orientada en cualquier dirección y por lo tanto requiere una norma de dirección. La norma mostrada aquí, ha sido adoptada por algunas razones muy simples que ayudan a ilustrar no solo la utilidad como la importancia de las normas en general.

Razón No. 1: Las fuerzas de reacción de las bandas son dirigidas usualmente paralelas a las bandas.

Razón No. 2: Para capturar estas vibraciones relacionadas a las bandas y separar las frecuencias estrechamente emparejadas, las lecturas de alta resolución son definidas en la base de datos paralelos a las bandas. Detalles de este aspecto –resolución del espectro- son cubiertos en la sección “Espectros”.

Razón No. 3: Para hacer más fácil ambas tareas, crear la base de datos y analizar los datos colectados, las lecturas de alta resolución son tomadas siempre horizontalmente.

Por estas razones, una norma usada para definir “paralelo a las bandas” es la posición horizontal. Por defecto, eso deja a la medida tomada perpendicular a las bandas definida como vertical. La adopción de estas normas simplifica la colección y el análisis, un objetivo declarado de usar normas.

Las máquinas verticales presentan otra oportunidad de asignar una norma direccional, dado que la línea paralela al eje (axial) está ahora recto hacia la tierra. Partiendo de que debemos apegarnos a nuestras estrictas reglas (Figura 3.5) que debemos observar para las convenciones direccionales, la dirección axial permanece paralela al árbol la línea perpendicular a la tierra, qué se definiría como vertical en una máquina típica horizontal de acoplamiento directo.

Eso deja al vertical y horizontal para ser definidos. Por las mismas razones a aquéllas discutidas previamente para la convención de transmisión por bandas, se recomienda que horizontal se defina como paralelo a la descarga de la máquina. Eso dejaría a la dirección vertical como perpendicular a la descarga y paralela a la tierra.

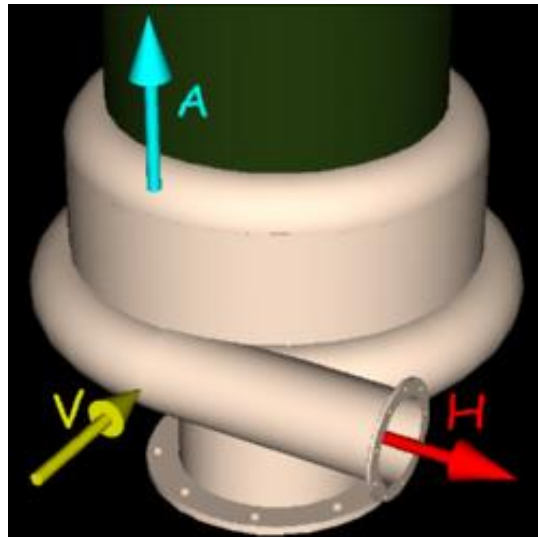


Figura 3. 5 Reglas en equipo en vertical

## 3.8 Características de la vibración.

### 3.8.1 Amplitud.

❖ ¿Qué nos dice la amplitud?

Antes de que nosotros contestemos esa pregunta, tengamos presente qué es exactamente lo que estamos midiendo. A todos los que estamos aquí nos ha tocado que en una parte de una máquina que operamos (aun cuando sea su automóvil o incluso su podadora de césped) se siente el movimiento de un lado a otro. Como ese movimiento va y regresa, se define como "cíclico" o "sinusoidal" y nosotros lo llamamos "vibración". Obviamente, nosotros queremos cuantificar la cantidad de movimiento. Esa medida es

conocida como la "amplitud". Sin embargo, hay varias maneras diferentes de cuantificar la cantidad, pero eso lo veremos más adelante.

La "amplitud" es una medida de la cantidad de movimiento

La cantidad de movimiento es relativa a la severidad de la vibración.

Simplemente ponga y mida ¿Cuánto?

❖ ¿Cuáles son las unidades de amplitud?

Hay varias maneras diferentes de medir "cuánto". Estas maneras diferentes son conocidas como las "unidades" de amplitud. El transductor es el mecanismo que usamos para medir la vibración y, en el caso de rodamientos nosotros podemos asumir que el transductor, mientras este fijo al alojamiento del rodamiento, se va a mover muy poco, la misma distancia que el propio eje dado que un rodamiento tiene los claros internos muy pequeños. La primera unidad de amplitud es la más simple de visualizar y entender: El desplazamiento mide la distancia total que el transductor (rodamiento) viaja de un lado a otro durante uno 'ciclo' de movimiento (un 'ciclo' es el proceso de mover de un extremo al otro y atrás de nuevo al punto de partida).

Para entender la segunda unidad de amplitud, usted debe entender primero que si un rodamiento se va a mover una cierta distancia de un lado a otro en una cierta cantidad de tiempo (el período), va a lograr un cierto máximo, o "pico" de velocidad durante ese ciclo. Esa velocidad constantemente está cambiando va desde 0 (cuando el rodamiento se cambia de sitio una cantidad máxima en una dirección y se ha detenido para invertir la dirección momentáneamente) a algún valor máximo que logra cuando pasa en el centro del movimiento. Una vez pasa en el punto central, el rodamiento reduce la velocidad de nuevo hasta que alcanza la velocidad 0 cuando él alcanza el desplazamiento máximo en la dirección opuesta.

### **3.8.2 velocidad**

La medida de la velocidad máxima que el transductor alcanza durante un ciclo.

Para entender la tercera unidad de amplitud, usted debe comprender que para cambiar la velocidad, un cuerpo debe acelerarse o disminuir su la velocidad. Para acelerar un automóvil, usted aprieta el pedal del acelerador. Para disminuir la velocidad, usted quita su pie del acelerador y permite que las fuerzas de fricción (la resistencia del viento, la superficie del camino, los frenos) actúen. En las máquinas, esta "fuerza de aceleración" puede visualizarse como la reacción del alojamiento y estructura circundante a ser empujada (desplazada) en una dirección el alojamiento empuja atrás porque quiere asumir una posición neutral, o de reposo.

### 3.8.3 Aceleración

Mide las fuerzas que causan el movimiento de vaivén. Ahora miremos cada uno de estas unidades más a profundidad y veamos cómo están interrelacionadas.

## 3.9 Características de la vibración frecuencia

### ❖ ¿Qué nos dice la frecuencia?

Tomando el recíproco de cuántos segundos toma un ciclo (el recíproco de "segundos por ciclo" es "ciclos por segundo"), el número de ciclos que ocurren en un período dado de tiempo como un segundo o minuto puede ser calculado.

Por ejemplo, si un ciclo toma 1/50 de un segundo, la frecuencia es 50 ciclos por segundo (50 "Hertz"), o 3000 ciclos por minuto (3000 cpm o 3 kcpm).

Ese número cuántos ciclos ocurren en un periodo de tiempo dado es conocido como la "frecuencia" de la vibración.

Las máquinas generarán vibración mecánica en múltiplos (armónicas) de su velocidad de funcionamiento. Este tipo de vibración es llamada vibración "síncrona." Por ejemplo, el desbalance causa una fuerza que mueve al rodamiento (causa vibración) en cualquier dirección (plano) a una velocidad de una vez por la revolución (1x RPM).

Una bomba con 5 aspas en el impulsor puede generar pulsos hidráulicos (que pueden ser medidos como vibración mecánica) en 5 veces por revolución (5x rpm) 4.9 por revolución, 5.1 por revolución exactamente 5 veces por revolución.

Diferentes problemas mecánicos (desbalance, desalineamiento, etc.) tienden a generar sus propios modelos característicos de vibración. Porque el efecto que cada problema tiene en la señal que medimos, tiende a generar una vibración de frecuencias específicas (relacionada con las rpm) frecuencias que el analista aprende a reconocer y buscar.

Otras vibraciones generadas pueden no estar ligadas específicamente a la velocidad de giro de la máquina.

Por ejemplo, los problemas de rodamientos y los problemas eléctricos tienden a generar vibraciones a frecuencias específicas de otros múltiplos exactos (armónicas) de la velocidad de operación. Este tipo de vibración es llamado vibración "no-síncrona" o "subalterno-síncrona" (debajo de 1x rpm).

Conectando la frecuencia correctamente a las varias posibles fuentes se puede identificar el origen del problema.

La frecuencia identifica la fuente de la vibración.

### ❖ ¿Cómo se calcula la frecuencia?

Midiendo el tiempo que se toma para un ciclo: segundos / ciclo

Tomar el recíproco de eso para conseguir la frecuencia: ciclos / segundo (Hertz)

Hertz X 60 = ciclos por minuto (CPM)

Dado que cpm es fácil de relacionar con rpm es más comúnmente usado y recomendado.

❖ ¿Cómo se relaciona la frecuencia a la amplitud?

La frecuencia de cualquier señal periódica es matemáticamente relacionada con cada una de las unidades de amplitud: desplazamiento, velocidad y aceleración si usted conoce dos de estas variables, usted puede calcular matemáticamente la otra. Por ejemplo: si usted conoce:

1. Que tanto es el movimiento de vaivén (la amplitud del desplazamiento)
2. Cuanto tiempo toma para completar el viaje (el ciclo de donde es derivada la frecuencia).

Entonces, armados con la fórmula matemática propia se puede calcular el pico de velocidad alcanzado durante el viaje. Por ejemplo:

Un rodamiento vibra 10 mils (254 micrones) en 0.1 segundos. Nosotros conocemos dos de las variables:

- El desplazamiento pico a pico es 10 mils.
- El período es 0.1 segundos (tiempo requerido para un ciclo).
- La frecuencia es representada como el número de ciclos durante un cierto período un segundo o un minuto. El rodamiento hace 10 de estos viajes en un segundo. Dado que la distancia total recorrida en un segundo es 100 mils, su promedio de velocidad es de 100 mils/s (0.1 pulgadas por segundo o 2.5 mm/s).

Entonces este es el promedio de velocidad. Debido a que constantemente esta aumentado o disminuyendo, el pico de velocidad será del doble del promedio de velocidad (0.2 ips o 5 mm/s).

Veamos la relación entre estas cuatro variables más atentamente.

❖ ¿Cómo están relacionados el desplazamiento la velocidad y la aceleración?

Como se ha dicho, hay algunas fórmulas matemáticas simples que relacionan la frecuencia de la vibración, la cantidad de movimiento (desplazamiento), la velocidad de movimiento (velocidad) y la fuerza generada durante el movimiento (aceleración). La matemática involucrada es manejada por el software y los aparatos siempre pero es ilustrativo para comprender los principios simples involucrados. Veamos primero la relación entre la frecuencia, el desplazamiento y la velocidad.

Considerando:

Un rodamiento se mueve en vaivén 10 mils (desplazamiento pico a pico)

El rodamiento se mueve a 10 ciclos por minuto (la frecuencia)

Teniendo esas dos variables se puede establecer la tercera, concretamente, la velocidad a que este rodamiento debe desplazarse para satisfacer esas dos condiciones.

Considerando:

Otro rodamiento se está moviendo a 10 mils pico a pico.

Este rodamiento se mueve a 70 ciclos por minuto.

❖ ¿Cuál es la velocidad de este rodamiento contra el otro rodamiento para satisfacer estas condiciones?



Este rodamiento deberá tener un pico de velocidad sobre el primer rodamiento. La relación entre los tres es lineal (si la frecuencia incrementa a 7X y el desplazamiento permanece igual, la velocidad deberá incrementarse 7X) Así que si incrementamos la frecuencia 7X y dejamos el mismo desplazamiento, la velocidad a que el rodamiento se moverá será 7X.

El punto aquí es simple. Hay una relación directa entre la frecuencia, el desplazamiento y la velocidad. Conociendo dos cualquiera permite calcular la tercera matemáticamente (adelante con un valor constante). Sin entrar en más ejemplos, la misma relación directa existe entre la frecuencia, velocidad y aceleración. Por lo tanto, estas cuatro variables están relacionadas, y conociendo dos cualquiera, se pueden calcular las otras dos.  
Efecto práctico en un rodamiento de velocidad contra desplazamiento.

En la animación se ilustra el ejemplo previo gráficamente. El desplazamiento en cada uno es el mismo pero el rodamiento de la derecha está completando 7 ciclos para cada ciclo terminado por el rodamiento de la izquierda.

Pero lo que realmente interesa, por supuesto, es el efecto de la vibración en la vida útil del rodamiento y la salud de la máquina. Otra vez, sabiendo nada sobre el análisis de vibración y usando solamente su sentido común y conocimientos de máquinas, ¿qué rodamiento fallará en un período de tiempo más breve? No tarda un “experto” en vibración reconocer que será el rodamiento a la derecha. Pero debido a que el desplazamiento (una medida de la tensión) es continuo, el factor determinante debe ser algo más.

❖ ¿Qué es una falla relativa a la fuerza?

Cuando usted llega a estas frecuencias sumamente altas (recuerde, usted se está las arreglando con cambiar de lugar una estructura rotatoria entera de un lado a otro 2000 veces por segundo o más), usted se está las arreglando con cantidades grandes de fuerza para cambiar de lugar esa estructura de un lado a otro incluso una distancia diminuta a una frecuencia tremendamente alta. Por lo tanto, esa tremenda acción de empujar o jalar es la que causa la falla.

Debe ser comprendido que hay áreas de la tabla donde las unidades se traslapan y dos condiciones (la tensión y los efectos de fatiga, por ejemplo) existen.

❖ ¿A qué modo de falla son sensibles las unidades de aceleración?

La amplitud de aceleración es la más complicada de entender. Para empezar, se debe entender que debido a la naturaleza de movimiento sinusoidal (la acción del vaivén), la velocidad constantemente está cambiando. Va del cero al pico, regresa al cero, al otro pico, luego a cero y así sucesivamente. Para cambiar la velocidad de algo, la aceleración debe aplicarse. Para acelerar su automóvil, usted aplica el acelerador. Para reducir la velocidad su automóvil, usted aplica el freno. La aceleración mide la proporción de cambio de velocidad. La velocidad cambia cuando una acción de empujar o jalar es

aplicada. Empujando y jalando algo se está aplicando una 'fuerza' y la aceleración es, claro, fuerza.

De manera que ¿por qué la aceleración se usa en el rango de alta frecuencia?

La proporción de cambio de velocidad (aceleración) es más afectado por la frecuencia que tan a menudo la dirección es cambiante que el desplazamiento que tan lejos se está moviendo.

Los componentes que se mueven a altas frecuencias nunca fallarán debido a la tensión (desplazamiento) porque la amplitud del desplazamiento es muy pequeña. Si bien hay frecuencias donde velocidad y aceleración se traslapan en su sensibilidad a las fallas, la frecuencia más alta involucrada (especialmente cerca de 120,000 cpm), es la menos probable de una falla por fatiga y más probablemente que sean las fuerzas que están siendo aplicadas lo que está causando el movimiento y será responsable para cualquier falla que pueda ocurrir. La aceleración es sensible a la probabilidad de una falla relativa a la FUERZA. En otros términos, una falla debida a la acción del vaivén a que el componente está sujeto.

### 3.10 Características de la vibración fase.

#### ❖ ¿Qué nos dice la fase?

La fase nos permite comparar la dirección relativa del movimiento de varias ubicaciones en una máquina. Simplemente mida y la fase nos dice: ¿Qué dirección? ¿Aún no está claro?

#### ❖ ¿Qué significa "qué dirección"?

Imagine una foto de una máquina en operación. En la foto, imagine la posibilidad de ver flechas en cada rodamiento indicando en qué dirección se está moviendo ese rodamiento en ese momento. De la foto usted puede así determinar si los rodamientos se están moviendo en la misma dirección al mismo tiempo (al unísono o "en fase") o no.

La fase nos ayuda a determinar cómo diferentes ubicaciones de la máquina (diferentes rodamientos, usualmente) se están moviendo en relación uno del otro.

Reglas para medir la fase:

Regla No. 1: La fase es una medida relativa.

- Lecturas en diferentes ubicaciones en un rodamiento son analizadas entre sí.
- Lecturas en el mismo ángulo (dirección) en rodamientos adyacentes son analizadas entre sí.
- Lecturas en diferentes tiempos en la misma localización exacta son analizadas entre sí.
- Estas comparaciones nos dan una información de cómo se están comportando los componentes, concretamente como se están moviendo en relación uno del otro.

Regla No. 2.- La fase es colectada a una frecuencia a un tiempo.

- El analizador deberá decir que frecuencia. Esto se hace sintonizando el analizador con una lámpara estroboscópica o un tacómetro de pulsos con la flecha.

Regla No. 3.- El analizador deberá ser capaz de detectar señales de vibración a esta frecuencia.

- Dado que el cálculo del ángulo se basa en la llegada de un pico sinusoidal del componente vibrando, debe haber un pico de amplitud para conseguir un ángulo de fase.

### 3.10.1 Análisis de fase simple

Normas de datos.

Para hablar de la fase en su nivel más básico, necesitamos una norma para usar. La fase es representada por los  $360^\circ$  de un círculo. Dado que no se requiere un alto grado de exactitud en un sencillo análisis general de fase (que es de lo que hablamos aquí), la fase es más fácilmente referida comparada con los números de la carátula de un reloj: de 1 a 12. El ángulo de fase se ubica en donde aparece la marca (la cuña roja en el ejemplo mostrado aquí) en la carátula del reloj. Está mostrada aquí a las 12 en punto, pero puede aparecer en cualquier posición angular. Aplicaciones que requieren detalles más precisos, por ejemplo balanceo o monitoreo de fase de una turbina, requerirán el uso de referencias de ángulo más específicas ( $0-359^\circ$ ).

❖ ¿Qué métodos son utilizados para medir la fase?

- Una lámpara estroboscópica de fase. Este tipo de luz estroboscópica difiere en dos maneras de una luz estroboscópica manual:
- alimenta su información de frecuencia (el rango de destello) al analizador o tiene su rango de destello puesto por el analizador.
- Puede ser activada por una señal de vibración del analizador.
- Un ojo fotoeléctrico (o mecanismo relacionado que proporciona un pulso a una vez por rpm del eje).

❖ ¿Cómo es medida la fase con una luz estroboscópica?

Esto involucra algunos pasos, cada uno diseñado para satisfacer una de las reglas de medición de la fase. Debemos comenzar por asumir dos cosas:

Tenemos una máquina con un 'problema' tan alto que deseamos obtener la amplitud de una frecuencia en particular.

La frecuencia en que estamos interesados en este caso (por simplicidad) es a una vez por rpm ( $1x$  rpm)

- Paso No. 1: Montaje del transductor.  
El primer paso para obtener una lectura de fase es colocar el transductor en el rodamiento en la dirección deseada.  
El transductor proporciona al analizador la señal de vibración necesaria (como lo dice la regla No. 3).
- Paso No. 2: Localice una marca de referencia. Comúnmente una cuña o cuñero, esta marca es la que estará siendo usada como referencia en la 'carátula de reloj'

cuando se muestre bajo la luz estroboscópica (como se indica en el párrafo anterior).

- Paso No. 3: Sintonice la luz estroboscópica a 1x de las rpm (la frecuencia pertinente)

Sintonizando la luz estroboscópica correctamente, se congelará el movimiento del eje con una marca como se muestra aquí. Sea cuidadoso, usted puede sintonizar a  $\frac{1}{2}$  de las rpm lo que también mostrará una marca.

Sintonizando la luz estroboscópica le dice al analizador a qué frecuencia mediremos la fase (como lo dice la regla No. 2). Esto permite al analizador enfocarse en una señal específica de vibración – una senoide relativamente limpia (dado que otras frecuencias están siendo filtradas fuera) esto está ocurriendo muy cerca de la frecuencia sintonizada (+/- 0.75 %). Se puede comparar esto con la radio: se sintoniza una frecuencia la filtra y deja fuera las otras.

### 3.11 Transductores

Un transductor de vibración es el instrumento que mide o censa la vibración y es comúnmente referido como un pickup o sensor. El entendimiento básico y la propia selección de un transductor adecuado es importante. Este texto no entrará en detalles extensos con los diferentes tipos y características técnicas de los transductores pero intentará solamente proporcionar comprensión básica de los aspectos importantes. Hay básicamente tres tipos de transductores comúnmente usados. Ellos son:

- Acelerómetros.
- Transductores de velocidad.
- Transductores de desplazamiento.

#### 3.11.1 Acelerómetros.

Los acelerómetros (figura 3.6) son por mucho el más común y versátil tipo de transductor usado.



Figura 3. 6 Acelerómetro

El acelerómetro piezoeléctrico o sísmico produce una carga de salida cuando se fija a una superficie vibrando debido a las características de los discos piezoeléctricos que están en el interior del transductor. Estos transductores no contienen partes móviles y son bastante robustos. La carga que es generada a través de la compresión y expansión de los discos piezoeléctricos es proporcional a la cantidad de aceleración de la vibración (fuerza). El voltaje generado es muy pequeño, algunos modelos tienen incluido un amplificador electrónico de alta ganancia.

La carga de salida es proporcional a la fuerza de aceleración a que es expuesto.

Los acelerómetros son los únicos transductores capaces de medir confiablemente vibración de alta frecuencia que es relacionada con problemas como defectos de rodamientos y falla de engranes. Los acelerómetros están expuestos a exactitud pobre en bajas frecuencias donde las amplitudes de aceleración pueden resultar muy pequeñas en presencia de grandes amplitudes de desplazamiento. Algunos son susceptibles a interferencia de frecuencias de radio.

Algunos pueden tener problemas con la dilatación térmica (colocando el transductor en rodamientos muy calientes) que pueden causar falsos valores de amplitud a bajas frecuencias a menos que se tome un tiempo para que se estabilice térmicamente. El transductor deberá tener sensibilidad de 100 mV/G o más. Cuanto más mV/G tenga el acelerómetro, será más exacto en bajas frecuencias (< 120 cpm).

Los años recientes han visto el desarrollo de acelerómetros al alcance que son razonablemente exactos a bajas frecuencias incluso debajo de 120 cpm. La baja frecuencia permanecerá, sin embargo, como una debilidad de los acelerómetros debido a la naturaleza de las amplitudes de aceleración en las frecuencias bajas. Los acelerómetros son también útiles porque son mucho más concisos y ligeros que los transductores de velocidad y por lo tanto pueden ser usados en más ambientes y aplicaciones. Tampoco son tan propensos como los transductores de velocidad a los campos magnéticos generados por motores eléctricos u otras fuentes magnéticas.

Una ventaja final del uso de acelerómetros, es la habilidad de integrar los resultados para obtener lecturas de velocidad y doble integración para obtener lecturas de desplazamiento. Esta habilidad significa que un solo transductor puede ser usado para registrar y cuantificar las tres unidades de amplitud primarias de aceleración, velocidad y desplazamiento en un amplio rango de frecuencias comunes

### **3.11.2 Velocímetros**

Hay dos tipos básicos de transductores de velocidad. Los de tipo de bobina móvil y los de tipo piezoeléctrico.

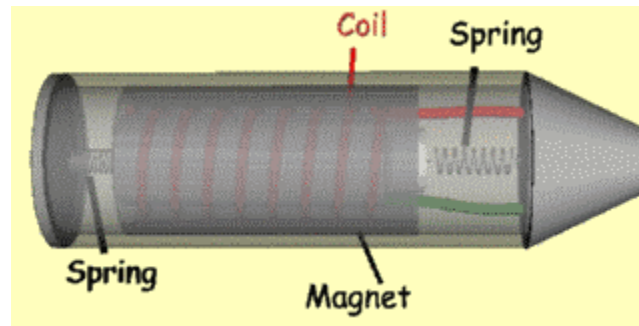


Figura 3. 7 Velocímetro

Tipo de bobina móvil: Internamente está construido de una bobina soportada por resortes y un imán fijo permanentemente.

El movimiento de la bobina respecto al imán genera un voltaje proporcional a la velocidad de ese movimiento.

- Generalmente no requieren amplificadores de señal de salida.
- Son más largos que otros tipos de transductores.
- No son confiables en mediciones de baja frecuencia sin el uso de un factor de corrección porque la bobina tiende a seguir al magneto a bajas frecuencias.
- Equilibrado a bajas frecuencias es bueno, dado que las amplitudes relativas registradas serán consistentes.
- Los transductores de velocidad del tipo de bobina móvil son también afectados por campos magnéticos que pueden estar presentes alrededor de motores eléctricos u otras fuentes magnéticas y pueden requerir protectores magnéticos para ser usados en dichos ambientes.

### 3.11.3 Transductores piezoeléctricos de velocidad

Similares a los acelerómetros piezoeléctricos en diseño, con la diferencia obvia de que la carga de salida es proporcional a la velocidad del transductor. La carga es creada por los discos piezoeléctricos respondiendo a la tensión generada por fuerzas aplicadas.

- Generalmente requieren un amplificador debido a que las señales generadas son extremadamente pequeñas.
- Los transductores piezoeléctricos de velocidad generalmente no son afectados por campos magnéticos y pueden también medir exactamente debajo de 60 cpm o menos.
- Existen limitaciones que involucran sensibilidad térmica y temperatura ambiente.



### 3.11.4 Transductores de desplazamiento

Conocidos generalmente como sensores de proximidad (Figura 3.8), son limitados en su aplicación, pero donde son aplicados son extremadamente útiles e importantes. Son generalmente usados donde un leve corrimiento del rotor es muy crítico. Por ejemplo las turbinas en plantas de energía deberán tener montados permanentemente sensores de proximidad monitoreando el movimiento de la turbina y posiblemente la fase. Los rotores de compresores de alta velocidad son otro ejemplo de una máquina que casi siempre será monitoreada con sensores de proximidad.

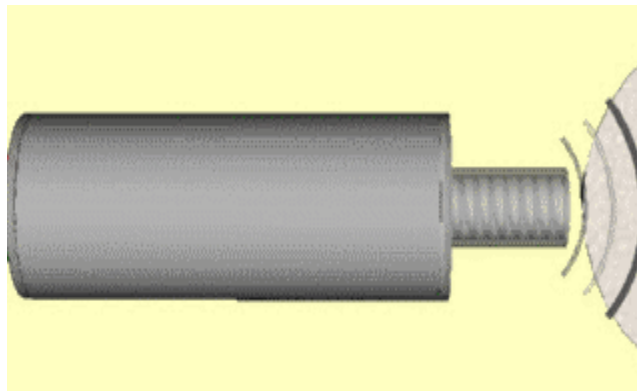


Figura 3. 8 Transductor de desplazamiento

Como no toca realmente el eje o rodamiento, es montado a una distancia exacta de un área limpia y suave del eje y fijo en el lugar. Aplicadas externamente las señales de alta frecuencia enviadas emiten un campo magnético de una bobina en la punta del sensor hacia el eje. El eje absorbe algo de la energía magnética presente, más cerca el eje de la fuente del campo magnético, absorbe más energía, si absorbe más energía, usa más señal enviada y reduce su fuerza. Más lejos el eje del sensor, absorbe menos la menor cantidad de energía absorbida usa menos de la señal enviada y la mayor cantidad de energía enviada se queda.

El sensor produce dos señales:

- Señal de corriente alterna proporcional a la vibración (movimiento del eje)
- Señal de corriente continua proporcional al tamaño de la separación.

Generalmente sus aplicaciones son:

- Rotores relativamente ligeros en alojamientos masivos y chumaceras rígidas (generalmente bujes o chumaceras de babbit).
- Rotores de alta velocidad en máquinas como turbinas, compresores centrífugos y bombas (donde las velocidades del eje pueden exceder 50 000 rpm).
- Máquinas de muy baja velocidad en que es difícil obtener datos confiables con velocímetros o acelerómetros.

Máquinas como estas, pueden fallar catastróficamente en un período extremadamente corto de tiempo (horas minutos, o inclusive segundos) desde el inicio del problema y el

monitoreo en línea con sensores de proximidad montados permanentemente es esencial para la seguridad de ambos: hombre y máquina

## 3.12 Introducción al reconocimiento de problemas

### 3.12.1 Desbalance

Cuando los componentes de una máquina rotatoria giran alrededor de un eje de rotación que no coincide con el eje principal de inercia, existe una condición conocida como desbalance.

Esta condición produce vibración y esfuerzos que pueden llegar a dañar al rotor y sus rodamientos y es además una de las causas más comunes de vibración en maquinaria rotativa.

De acuerdo con la Norma ISO 1925, existen cuatro tipos de desbalance:

- Desbalance producido por una fuerza o estático.
- Desbalance producido por par de fuerzas.
- Desbalance cuasi-estático
- Desbalance dinámico.

### 3.12.2 Desbalance estático

Existe cuando el eje principal de inercia es paralelo al eje de rotación (figura 3.9).

Una condición de desbalance estático puede ser corregida agregando una masa opuesta al centro de gravedad (C. G.) es decir en una línea perpendicular al eje de giro e intersectando el C. G. También es posible compensar desbalance estático mediante un par de masas a un mismo ángulo, siempre y cuando la resultante actúe en el C. G. del rotor.

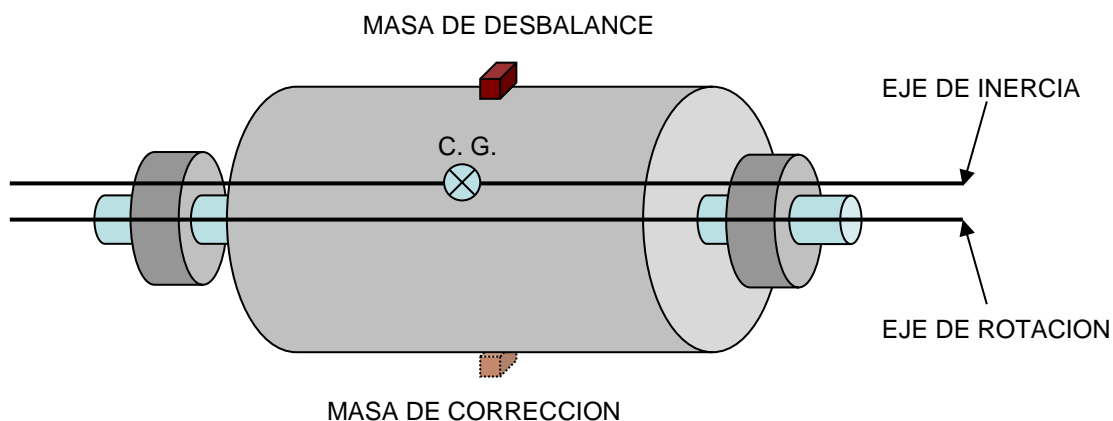


Figura 3. 9 Desbalance estático

#### Características.

- Genera las mismas fuerzas de desbalance en ambos alojamientos de los rodamientos, aunque puede variar la respuesta horizontal y vertical dependiendo de la rigidez de los soportes en cada dirección.
- En un desbalance estático puro, ambos rodamientos del eje estarán en fase tanto en dirección horizontal como en dirección vertical, con una diferencia de  $90^\circ (\pm 30^\circ)$
- El desbalance estático sólo requiere balanceo en un sólo plano con el contrapeso actuando a través de C. G. del rotor.

El espectro (Figura 3.10) muestra el desbalance estático con un pico dominante a 1X.

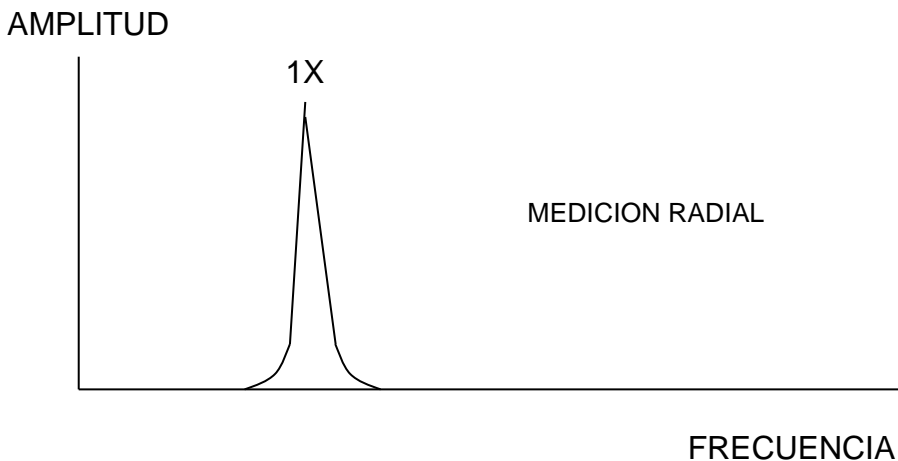


Figura 3. 10 Espectro desbalance estático

### 3.12.3 Desbalance producido por par de fuerzas.

Existe desbalance (figura 3.11) producido por un par de fuerzas cuando el eje principal de inercia intersecta al eje de rotación en el C. G. en este caso existen dos masas iguales de desbalance en extremos opuestos del rotor y a  $180^\circ$  una de la otra.

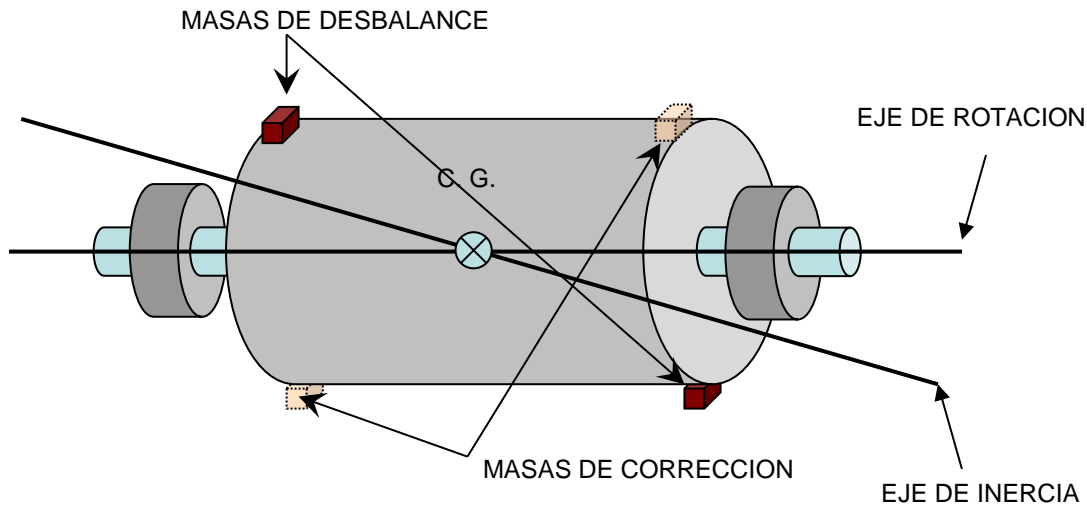


Figura 3. 11 Desbalance producido por par de fuerzas

Este tipo de desbalance no puede ser corregido colocando una sola masa de balanceo en un plano de corrección. Se necesitan al menos dos masas, cada una en diferente plano radial y a  $180^\circ$  una de la otra.

#### Características:

- El desbalance de par de fuerzas genera componente a una vez la frecuencia (figura 3.12) de giro y la magnitud pudiera ser igual en los dos alojamientos de los rodamientos aunque pudiera variar ligeramente.
- Un desbalance por par de fuerzas severo puede generar vibración elevada en dirección axial.
- La diferencia de la fase entre lecturas horizontales será de  $180^\circ$ .
- De la misma manera las lecturas de fase entre lecturas verticales será de  $180^\circ$ .

El desbalance por par de fuerzas significa que estáticamente se encuentra balanceado y no se girará el rotor cuando se coloque en aristas.

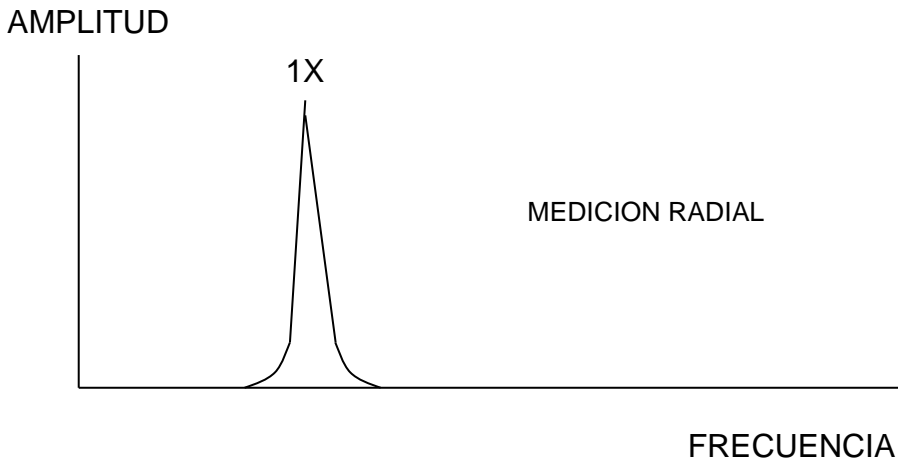


Figura 3. 12 Espectro de desbalance por par de fuerza

### 3.12.4 Desbalance cuasi-estático.

Es aquel que resulta cuando el eje principal de inercia intersecta al eje de giro en un punto distinto al C. G. Este tipo de desbalance (Figura 3.13) puede ser producido por una o varias masas colocadas en un plano común con el eje de rotación, de tal forma que su resultado no actúe a través del C. G.

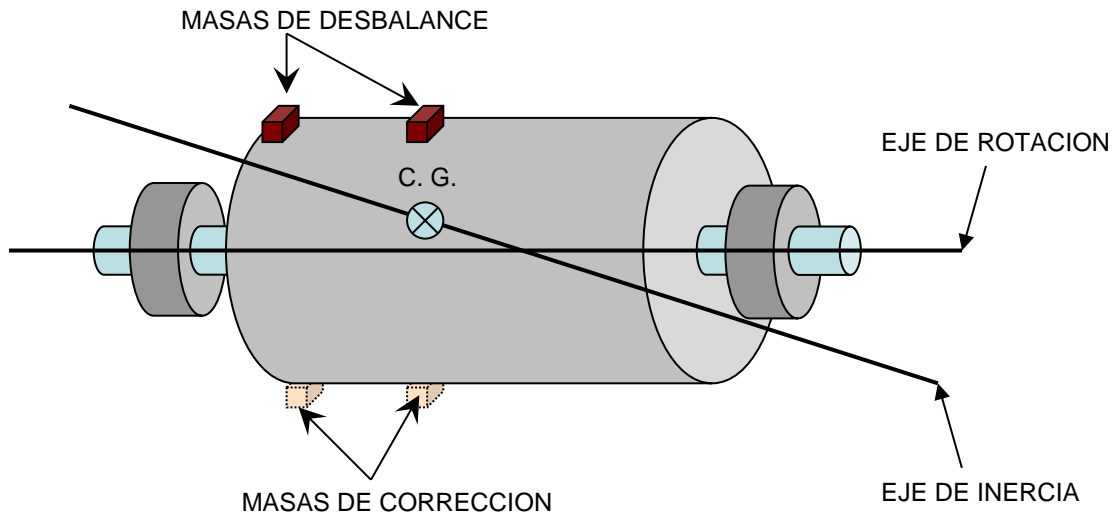


Figura 3. 13 Desbalance cuasi-estático

El desbalance cuasi-estático es aquel que resulta de una combinación de desbalance estático y de par de fuerzas, en donde la posición angular de uno de los componente del par coincide con la posición angular del desbalance estático.

Puede ser corregido mediante la adición de dos masas de balanceo. Inicialmente se instala una masa de tal manera que se oponga a una de las componentes de par, la cual

resulta en una condición de desbalance estático y esta puede ser corregida mediante una masa adicional.

### 3.12.5 Desbalance dinámico.

Existe desbalance dinámico cuando el eje principal de inercia y el eje de rotación no se intersectan. En general, se puede crear una condición de desbalance dinámico mediante dos masas de momento desigual que no formen un plano común en el eje de rotación. En la Figura 3.14, las masas de corrección producen una rotación del eje principal de inercia dando como resultado una condición de desbalance estático que se compensa mediante la adición de masa como se muestra en la Figura 3.15.

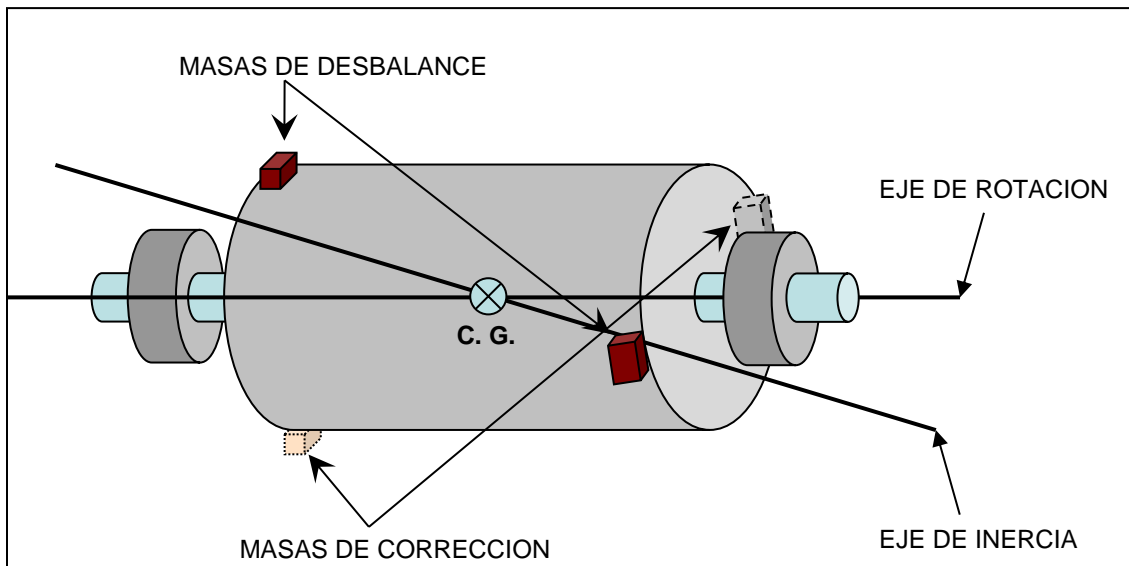


Figura 3. 14 Desbalance dinámico



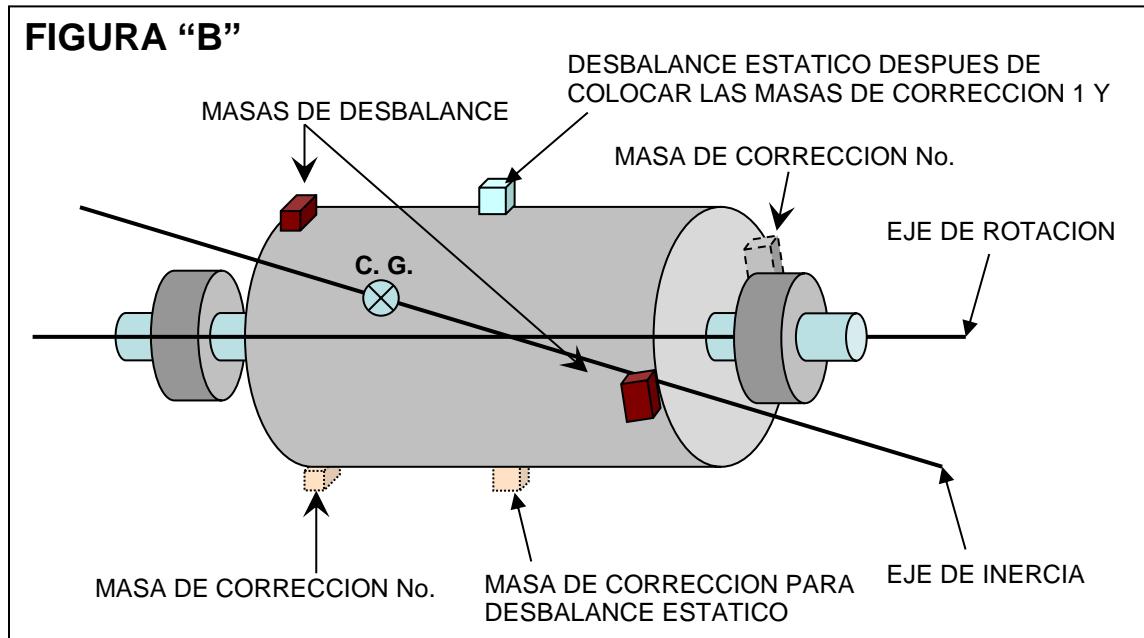


Figura 3. 15 Compensación de desbalance dinámico

#### Características.

- El desbalance dinámico genera vibración elevada a una vez la frecuencia de giro, pero la amplitud de la vibración puede variar entre un rodamiento y el otro, aunque debe estar en la misma relación; hasta 3:1 en el supuesto de que no se presenten otros problemas.
- Al igual que el desbalance estático, y por par de fuerzas, la fase se mantiene constante y repetible cuando predomina el desbalance dinámico.
- Aunque la diferencia de fase horizontal entre ambos rodamientos podría ser entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ . Esta diferencia deberá permanecer casi igual a la diferencia vertical.

El desbalance puede ser causado por un número de factores incluyendo fabricación defectuosa o ensamble en el rotor, aspas, álabes, o la adición de ajustes en el eje sin un apropiado procedimiento de balanceo. En bombas se puede presentar desgaste en impulsores provocando desbalance.

El desbalance normalmente provoca que el rodamiento soporte mayor carga dinámica que las especificaciones de su diseño y por consiguiente va a provocar la inminencia de falla del rodamiento debido a la fatiga.

### 3.12.6 Características de los rotores desbalanceados.

La vibración causada por desbalance puro es una vez la frecuencia de giro. En un espectro FFT, aparece un pico a 1X mayor que lo normal. A pesar de que otras fallas puedan producir una amplitud alta a 1X, éstas usualmente producen armónicas y el

desbalance no. En general, si la señal tiene armónicas arriba de una vez la frecuencia de giro, la falla no es desbalance.

La amplitud de vibración a 1X normalmente será mayor o igual al 80% de la amplitud total si es desbalance severo, aunque pudiera estar entre el 50 y el 80% cuando existen otras anomalías.

La amplitud de vibración es proporcional a la distancia a la que es desplazado el centro de la masa respecto del centro del eje.

### **3.13 Desalineación.**

Los expertos coinciden en que arriba del 50% de los problemas en maquinaria rotatoria es ocasionado por la desalineación. Esta condición usualmente genera que los rodamientos soporten mayor carga que la especificada en su diseño, lo que provoca falla por fatiga.

Las principales características de la desalineación son:

- Causa daño al cople así como a otros componentes de la máquina tales como rodamientos, engranes, poleas, bandas, etc.
- Generan vibración importante tanto en dirección axial como en la radial.

Aunque la desalineación es la causa principal de la vibración axial elevada, existen otras fuentes que también pueden generarla como son:

- Eje doblado.
- Ejes en resonancia.
- Rodamientos desalineados en el eje.
- Resonancia de componentes en dirección axial.
- Rodamientos axiales con desgaste.
- Engranes helicoidales o cónicos desgastados.
- Desbalance por par de fuerzas.

Es recomendable que cuando se detecten vibraciones excesivas en dirección axial, primero investigar si la causa realmente se debe a la desalineación o a alguna de las causas antes mencionadas. Dos de las herramientas de las que se debe de hacer uso es efectuar análisis de fase y análisis espectral.

#### **3.13.1 Desalineación Angular.**

Ocurre cuando dos ejes que se acoplan de tal manera que induce una fuerza de flexión en el eje, como se muestra en la figura 3.16.

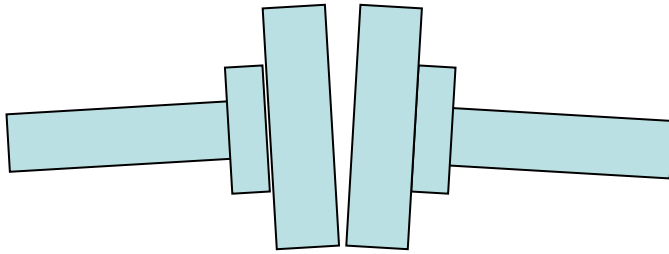


Figura 3. 16 desalineamiento

#### Características.

- Vibración axial elevada a sobre todo a 1x, 2x, 3x, alguno de estos componentes puede predominar entre los otros.
- Cuando la amplitud a 2x o 3x rebasa un 30% a 50% de la amplitud generada a 1x en al dirección axial, se diagnostica desalineación angular.
- Una vibración preocupante puede ser si  $1x = 0.30$  plg/s y  $2x = 0.20$  plg/s, pero no es preocupante si  $1x = 0.03$  plg/s y  $2x = 0.02$  plg/s.

La desalineación angular se detecta de mejor manera mediante el cambio de fase transversal al acoplamiento de  $180^\circ$  como se ilustra en la figura. Si cada uno de los rodamientos en uno de los lados se mueven hacia un solo sentido, mientras que los del otro lado se mueven en dirección opuesta, la alineación angular resulta sumamente sospechosa.

### 3.13.2 Desalineación paralela

La desalineación paralela ocurre cuando los centros geométricos de dos ejes son paralelos y existe desplazamiento entre uno y otro (Figura 3.17).

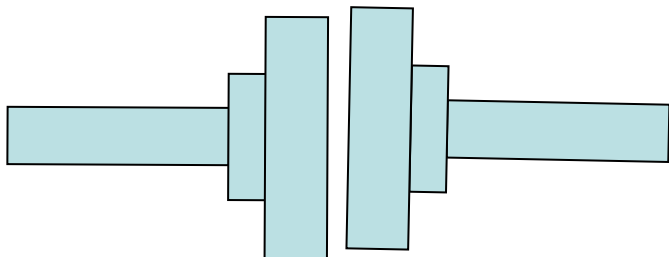


Figura 3. 17 Desalineación paralela

#### Características.

- La desalineación paralela afecta principalmente a la vibración radial a diferencia de la angular que afecta a la axial.
- La desalineación paralela provoca que la fase se aproxime a una diferencia transversal al acoplamiento de  $180^\circ$  pero en dirección radial (horizontal o vertical).
- En el espectro, si la amplitud de la vibración a la frecuencia de  $2x$  rebasa aproximadamente el 50% de la amplitud de  $1x$ , pero su magnitud relativa a  $1x$  es determinada por lo general por el tipo y la construcción del acoplamiento. No es raro que la  $2x$  exceda la amplitud de  $1x$  sobre todo cuando la deslineación paralela empeora.
- Los acoplamientos con amplitudes abajo del 50% de  $1x$  son usualmente aceptables y a menudo operan por un largo período.
- Cuando la amplitud a  $2x$  es del 50% al 150% de  $1x$  es probable que ocurra daño.
- Una máquina cuya vibración está por encima del 150% de  $1x$  tiene severa desalineación y se debe corregir el problema tan pronto como sea posible.

### **3.13.3 Desalineación del rodamiento en su eje.**

Cuando un rodamiento se encuentra desalineado con respecto a su eje, va a mostrar alta vibración y carga inusual. Al detectar este problema debe resolverse de inmediato antes de que se presenten fallas prematuras.

Características.

- Generación de vibración axial considerable y afecta tanto a la componente  $1x$  como a la  $2x$ .
- Al medir por separado la fase en dirección axial en cada uno de los cuatro puntos a  $90^\circ$ , un cambio de fase de  $180^\circ$  mostrará que el rodamiento se encuentra desalineado en su eje.
- Cualquier tentativa por balancear o alinear no resolverá el problema. Se requerirá cambiar el rodamiento e instalarlo correctamente.

### **3.14 Rotores excéntricos.**

Un rotor excéntrico es aquel en que la línea central del eje no coincide con la línea central del rotor. Esto ocasiona que exista mayor peso sobre uno de los lados de la línea central giratoria que en el otro y provoque que se bambolee en una órbita irregular provocando con esto inestabilidad.

Dentro de los tipos comunes de los casos de rotores excéntricos se puede mencionar a las poleas, engranes, rotores de motor e impulsores de bombas.

Por ejemplo en la cuándo se observar un motor acoplado a un ventilador en el cuál la polea es excéntrica. Se puede ver que la componente generada del ventilador será mayor que la generada por el motor, especialmente cuando se toma en línea con la dirección de la banda. El efecto de esta excentricidad ocasiona una carga direccional muy elevada por lo que la vibración a una vez la frecuencia de giro puede variar en todas direcciones.

En caso de poleas excéntricas, la mayor vibración se genera en dirección de la tensión de las bandas, presentando componente de una vez la frecuencia de giro de la polea excéntrica.

En el caso de engranes excéntricos, la mayor vibración ocurre en dirección en línea con los centros de los dos engranes y a una vez la frecuencia de giro del engrane excéntrico, aunque en el espectro parecerá como si el engrane estuviera desbalanceado. Generan además armónicas de las frecuencias de giro con grandes amplitudes de vibración acompañadas de bandas laterales mayor que lo normal a dos veces la frecuencia de giro.

En el caso de motores excéntricos, los rotores producen un entrehierro (air gap) variable giratorio entre el rotor y el estator, lo que induce una vibración de pulsación entre la frecuencia de línea 2FL (7,200 cpm) y su armónica de velocidad de funcionamiento mas cercana y genera también bandas laterales de frecuencia de paso de polos.

En bombas excéntricas: los impulsores pueden generar fuerzas hidráulicas distribuidas no uniformemente entre el rotor giratorio y las aspas difusoras fijas. Esto genera una alta vibración a la frecuencia de la bomba así como a la frecuencia de paso de álabes (número de aspas por frecuencia de giro) acompañada de armónicas debidas a un desbalance hidráulico provocado por impulsor excéntrico.

Cuando se requiere balancear un rotor excéntrico, después de varios intentos se logra disminuir el nivel de vibración pero se incrementa en otra dirección radial.

### **3.15 Soltura mecánica (perdida mecánica)**

Se dice que la soltura mecánica normalmente genera frecuencias al doble de la frecuencia de giro y esto es muy cierto. Sin embargo, se han definido tres tipos de soltura mecánica, las cuales tienen sus características muy particulares de vibración. Estas se presentan a continuación:

- Tipo A: Aflojamiento del bastidor, base estructural (principalmente a 1x).
- Tipo B: Pérdida debida al movimiento basculante del pedestal o estructura, pedestal del rodamiento fracturado o fisurado.
- Tipo C: Problema de ajuste en los rodamientos, en su alojamiento o eje.

Soltura tipo A: Dentro de este marco se encuentran los siguientes problemas:

- Pérdida estructural / fatiga de la pata de la máquina, pedestales.
- Deterioro.
- Distorsión del bastidor o de la base (pié suave).
- Pernos de sujeción flojos.

Los componentes generados por soltura mecánica tipo A son similares a los generados por desalineación y desbalance.

La vibración generada por esta causa tiene influencia únicamente en el rotor que tiene el problema y no repercute en la otra parte de la máquina.

Soltura tipo B: Este tipo de soltura se puede presentar en los casos de:

- Fisuras o fracturas en estructuras o alojamientos.
- Movimiento basculante provocado en ocasiones por el pie de apoyo de diferente longitud.
- Tornillos flojos en chumaceras.

Este tipo de soltura mecánica es al que se refieren en general seminarios y textos y se caracteriza por generar componentes a dos veces la frecuencia de giro del eje.

Soltura tipo C. Los problemas que ocurren en este tipo de soltura mecánica son:

- Rodamiento flojo en el alojamiento.
- Juego interno excesivo en el rodamiento.
- Desgaste de los alojamientos de los rodamientos.
- Rodamientos girándose en su eje debido a un ajuste flojo.

Este tipo de soltura presenta las características siguientes:

Armónicas múltiples, algunas veces de hasta 10x o 20x. Estas armónicas son resultado de impulsos y truncamientos (limitación) en la respuesta de la máquina.

En caso de aflojamiento severo se pueden generar componentes a  $\frac{1}{2}$  vez la frecuencia de giro, es decir  $1\frac{1}{2}$ ,  $2\frac{1}{2}$ ,  $3\frac{1}{2}$ , etc. Y pudiera ser a frecuencias de  $\frac{1}{3}$ .

Es posible que en un espectro aparezca un componente a  $\frac{1}{2}$  la velocidad de giro con menor magnitud que la fundamental y parezca no haber problema; sin embargo, hay que recordar que en un espectro la componente que va a dominar es a una vez la frecuencia de giro y cuando aparecen componentes a  $\frac{1}{2}$  significa aflojamiento y la magnitud de vibración será directamente proporcional al aflojamiento, aunque cabe hacer notar que la presencia de este componente puede deberse a rozamiento.

### **3.15.1 Efectos**

Si el aflojamiento está relacionado con el rodamiento, los efectos son los mismos que en el caso de desbalance, únicamente que más severo.

Si el aflojamiento es generado por un componente, por ejemplo un álabe de un ventilador, hay posibilidad de que esta parte se desprenda causando daños secundario



### 3.15.2 Eje doblado

El síntoma de eje doblado en forma similar al desbalance y desalineación, van a generar un componente de vibración radial y axial a una vez la frecuencia de giro. Para poder diferenciar la condición de eje doblado la información de fase es esencial. Similar al caso de ejes excéntricos, es difícil lograr reducir la vibración mediante actividades de balanceo. El transductor de vibración debe ser colocado en dirección vertical, horizontal y axial del rodamiento en cada uno de los extremos del eje.

Dentro de las causas que pueden generar un eje doblado se pueden mencionar:

- Doblado en frío como resultado de la gravitación, un eje demasiado largo desarrolla pandeo.
- Manejo inapropiado en la transportación o almacenaje.
- Torque muy alto.

Así como en el desbalance, un eje torcido origina carga dinámica excesiva de la especificada en su diseño lo que ocasionará en su momento falla por fatiga.

Se presenta amplitud de vibración alta generada por el momento flexionante del eje. Los componentes del espectro que se pueden presentar son a una o dos veces la frecuencia de giro, dependiendo si el pandeo se encuentra cerca del centro del eje será a 1x y si se encuentra cerca del acoplamiento pudiera generarse a 2x. Este componente puede variar desde 30% hasta 200% de la amplitud el componente a 1x.

Los componentes a 1x y 2x van a permanecer constantes, asumiendo que la componente a 2x no corresponde a la frecuencia de línea (7200 cpm) lo que descarta un problema eléctrico.

Es recomendable efectuar cuatro mediciones en el alojamiento del rodamiento y si el eje no presenta problemas de doblez las lecturas axiales se comportarán de la misma manera. Por el contrario, si el eje se arquea, se tiene movimiento de torsión el alojamiento lo que dará diferentes lecturas de fase.

### 3.16 Daño en rodamientos

Los rodamientos son dispositivos fabricados con una alta precisión, por lo que difícilmente fallan prematuramente a menos que intervengan aspectos externos que los dañen. Entre estos aspectos se pueden mencionar desbalance, desalineación, engranes, bandas, etc., aunados a otros factores como ajustes y tolerancias incorrectas, tipo y cantidad de lubricante, lubricante no adecuado, montaje incorrecto, etc.

Normalmente cuando se detectan frecuencias generadas por los rodamientos se recomienda no únicamente analizar los síntomas de defecto de los mismos sino buscar la fuente que está generando que el rodamiento esté vibrando fallando.

La condición de daño de rodamientos normalmente se puede medir en las últimas etapas de vida de los rodamientos; sin embargo, para poder estar preparados en los problemas futuros es necesario tomar en cuenta la condición temprana de los rodamientos, la cual se manifiesta por vibración ultrasónica. Esta medición de alta frecuencia detecta los impactos repetitivos de baja energía del contacto metal con metal. El ritmo, la frecuencia y la amplitud se combinan para dar un solo resultado numérico que dependiendo del fabricante se puede nombrar como Detección a Altas Frecuencias, Picos de Energía, impulsos de choque, Tecnología SEE, etc.

Al medir este parámetro es difícil determinar la condición del rodamiento mediante una sola lectura ya que está sujeta a numerosas influencias externas como son la carga, lubricación, cavitación, engranes, fuga de vapor, etc. Una de las formas de aprovechar la medición de la detección a altas frecuencias es llevar a cabo tendencias por determinados períodos tratando de que cada evento sea repetible.

Para efectuar análisis de los rodamientos se requiere conocer la firma de vibración de los mismos ya que existen muchas configuraciones, tipos y tamaños diferentes de rodamientos y es difícil determinar la frecuencia y amplitud que generará cierto rodamiento.

Para poder determinar si el problema de la máquina incluye falla de rodamiento, se debe determinar la frecuencia de defecto de los rodamientos y sobreponer en el espectro la vibración; la determinación se efectúa mediante cálculo matemático.

BPFO: Frecuencia de defecto de pista exterior.

BPFI: Frecuencia de defecto de pista interior.

BSF: Frecuencia de defecto de los elementos rodantes

FTF: Frecuencia de defecto de la jaula.

Si no se tiene acceso al software de análisis de rodamientos las frecuencias de defecto pueden calcularse matemáticamente:

$$BPFO = (n/2)(1 - Bd/Pd \cos \Phi)(rpm)$$

$$BPFI = (n/2)(1 + Bd/Pd \cos \Phi)(rpm)$$

$$BSF = (n/2)(1 - Bd/Pd)^2 \cos^2 \Phi (rpm)$$

$$FTF = (1/2)(1 - Bd/Pd \cos \Phi)(rpm) \quad \text{Estará comprendida entre 0.35 a 0.45 veces la frecuencia de giro.}$$

Donde:

n = número de elementos rodantes.

Bd = Diámetro de elementos rodantes.

Pd = Diámetro medio (en mm o plg)

$\Phi$  = ángulo de contacto en grados.

En caso de no contar con las dimensiones geométricas pero se conoce el número de elementos rodantes, se pudiera tener un valor aproximado de las frecuencias de defecto de los rodamientos mediante las fórmulas siguientes.

$$\text{BPFO} = (n/2-1.2)(\text{rpm})$$

$$\text{BPFI} = (n/2+1.2)(\text{rpm})$$

$$\text{BSF} = \frac{1}{2} (n/2-1.2/n)(\text{rpm})$$

$$\text{FTF} = (1/2-1.2/n)(\text{rpm})$$

### 3.17 Resonancia

La resonancia es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo periodo de vibración se acerca al periodo de vibración característico de dicho cuerpo, en el cual, una fuerza relativamente pequeña aplicada de forma repetida hace que la amplitud del sistema oscilante se haga muy grande.

En estas circunstancias el cuerpo vibra, aumentando de forma progresiva la amplitud del movimiento tras cada una de las actuaciones sucesivas de la fuerza. En teoría, si se consiguiera que una pequeña fuerza sobre un sistema oscilara a la misma frecuencia que la frecuencia natural del sistema se produciría una oscilación resultante con una amplitud indeterminada.

Este efecto puede ser destructivo en algunos materiales rígidos como el vaso que se rompe cuando una soprano canta y alcanza y sostiene la frecuencia de resonancia del mismo, Normalmente cuando escuchamos los términos frecuencia natural, velocidad crítica y resonancia nos preguntamos si son sinónimos.

### 3.18 Frecuencia natural

Un ejemplo clásico para la explicación de la definición de la frecuencia natural es la siguiente:

Si sujetamos firmemente el extremo de una regla sobre una mesa dejando la mayor cantidad en cantiliver y le aplicamos un ligero golpe en el extremo suelto y dejamos vibrar libremente, observamos que la regla vibra a una cierta frecuencia y con el paso del tiempo las amplitudes de la vibración van disminuyendo hasta perecer completamente. Si a la misma regla le damos un golpe mayor, se observa que la frecuencia sigue siendo la misma y lo unico que cambia son las amplitudes. A esta forma de vibrar bajo un impulso inicial se le llama Frecuencia Natural. Si a esta regla se le varía la longitud (masa) o la rigidez de sujeción la frecuencia natural va a cambiar. Es decir: si a un sistema se le adiciona masa, la frecuencia natural va bajar de acuerdo a la magnitud de la masa adicionada y si se le aumenta la rigidez la frecuencia natural va a aumentar.

La fórmula que determina la frecuencia natural de todo sistema es:

$\omega_n$  Donde:  $\omega_n = \sqrt{K/m}$  = Frecuencia natural del sistema  
K = Rigidez del sistema.  
m = Masa del sistema.

### 3.19 Velocidad crítica

Imagínese que va manejando un automóvil cuyas llantas están desbalanceadas. A baja velocidad no se siente vibración pero conforme aumenta la velocidad se puede percibir el aumento de la vibración hasta llegar a un punto máximo y conforme se sigue aumentando la velocidad, la vibración disminuye paulatinamente. Se dice entonces que se encuentra a la velocidad crítica cuando se está en el punto máximo de vibración

Una velocidad crítica se presenta cuando la frecuencia natural coincide con la frecuencia de excitación, por lo que se dice que existe una velocidad crítica debido al efecto de resonancia y es donde se presentan las máximas amplitudes de vibración.

En el caso el automóvil se presenta una velocidad crítica cuando la frecuencia natural de la carrocería se iguala a la frecuencia de giro de las llantas. El auto puede tener tantas velocidades críticas como número de grados de libertad tenga.

Lo mismo sucede con todo tipo de maquinaria rotativa (generadores, turbinas, bombas, compresores, ventiladores, etc.). Llegan a su estado de resonancia cuando se igualan la frecuencia natural del sistema con la frecuencia de excitación (que en este caso es la frecuencia natural de giro). Como todo tipo de sistema va a tener un número infinito de coordenadas por lo consiguiente va a tener un número infinito de velocidades críticas.

Todas las máquinas son diseñadas y fabricadas para que su velocidad de operación esté lo más alejado posible de su punto de resonancia ya que la condición ideal de operación es trabajar en el mínimo nivel de vibración.

Si el fabricante en su etapa de diseño se da cuenta que la máquina va a estar trabajando cerca de su resonancia tiene que efectuar un rediseño modificando las condiciones, es decir, variando rigidez y masa. Si se quiere bajar la frecuencia natural se tiene que adicionar masa y si se desea incrementar la frecuencia natural se tendrá que aumentar la rigidez.

### 3.20 Métodos para determinar la presencia de resonancia

Mediante la identificación de frecuencias naturales y velocidades críticas. Los más conocidos son:

- Por golpe de excitación.
- Por fuerzas de desbalance.

### 3.21 Problemas en motores eléctricos.

Mediante el análisis de vibraciones es posible detectar tanto los problemas mecánicos como los eléctricos debido a que las fuerzas mecánicas y electromagnéticas que se generan dentro de un motor se van a reflejar en los rodamientos, que son quienes van a soportar los esfuerzos generados por estas fuerzas. Estas señales se van a detectar con transductores de vibración que a su vez envían la señal al equipo receptor tal como medidor, colector, analizador, tablero de control, etc.

Dentro de las anomalías que se pueden presentar en un motor de inducción son:

- Rotor excéntrico.
- Problemas de rotor tales como barras rotas o fisuradas, anillos o laminaciones desgastados.
- Estator excéntrico, laminaciones cortas y desgaste de material.
- Pandeo térmico del eje debido a ventilación deficiente.
- Problemas de fase eléctrica debido a conexiones rotas o flojas.

Es importante mencionar que cuando se efectúe análisis de vibración para el diagnóstico de problemas eléctricos es necesario que el motor esté trabajando al 100% de su carga, ya que el comportamiento del mismo va a variar dependiendo de la carga, y la mejor manera de monitorear y analizar es a plena carga y perfectamente acoplado a la máquina inducida.

Para tener mejor interpretación de fallas eléctricas en motores de inducción es necesario tener en cuenta las siguientes fórmulas:

$N_s = 120 F_L / P$  (Velocidad síncrona)

$F_s = N_s - \text{rpm}$  (frecuencia de deslizamiento).

$F_p = F_s P$  (Frecuencia de paso de polos)

RBPf = Frecuencia de paso de barras (Número de barras del rotor por rpm)

Donde:

$F_L$  = Frecuencia de línea eléctrica (60 Hz en México)

rpm = Velocidad del motor.

$N_s$  = Velocidad síncrona.

$F_s$  = Frecuencia de deslizamiento.

$F_p$  = Frecuencia de paso de polos.

$P$  = Número de polos.

Muchos de los problemas eléctricos se identifican mediante el aumento de vibración de componente a dos veces la frecuencia de línea eléctrica, que siendo de 60 Hz en México, da una frecuencia de 7200 cpm.

Es evidente que la presencia de componente de vibración a 7200 cpm será clave para detectar varios de los problemas eléctricos.

### 3.22 Problemas de transmisión por bandas.

Las máquinas acopladas por bandas por razones de seguridad y de calidad de su funcionamiento deben tener bajos niveles de vibración. Sin embargo la alineación, concentricidad y método de montaje de las poleas, son factores que intervienen grandemente para que esta condición no se presente.

Es evidente que si pone atención especial a estos factores no hay razón para tener vibración inherente en el sistema de transmisión por bandas.

Por lo tanto es recomendable tomar las mediciones radiales alineadas a la dirección de la banda como se especificó en las normas de dirección.

Las bandas ajustables tipo V se caracterizan por generar vibración excesiva así como deterioro prematura tanto en bandas como en poleas.

Otra de las situaciones importantes es la excentricidad de la polea ya que hoy en día se pone poca atención en la calidad de la manufactura, por lo que desde el momento de su instalación empiezan a generar vibración excesiva. Las bandas en V o trapeciales son sensibles a la condición de desalineación desbalance, soltura mecánica, etc., por lo que en muchas de las ocasiones se culpa a la banda cuando en realidad son otros factores los causantes de la vibración.

La frecuencia de banda se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Frecuencia de Banda} = \frac{(3.142)(\text{rpm de polea})(\text{diámetro efectivo de la polea})}{\text{Longitud de la banda}}$$

Es importante que al emplear esta ecuación se incluya el diámetro de paso y las rpm de la misma polea sin importar cuál de las dos sea. La velocidad de banda siempre será menor que cualquiera de las rpm de las poleas de transmisión o impulsión, pero las armónicas de frecuencia de bandas a menudo serán más altas que alguna de ellas o de ambas.

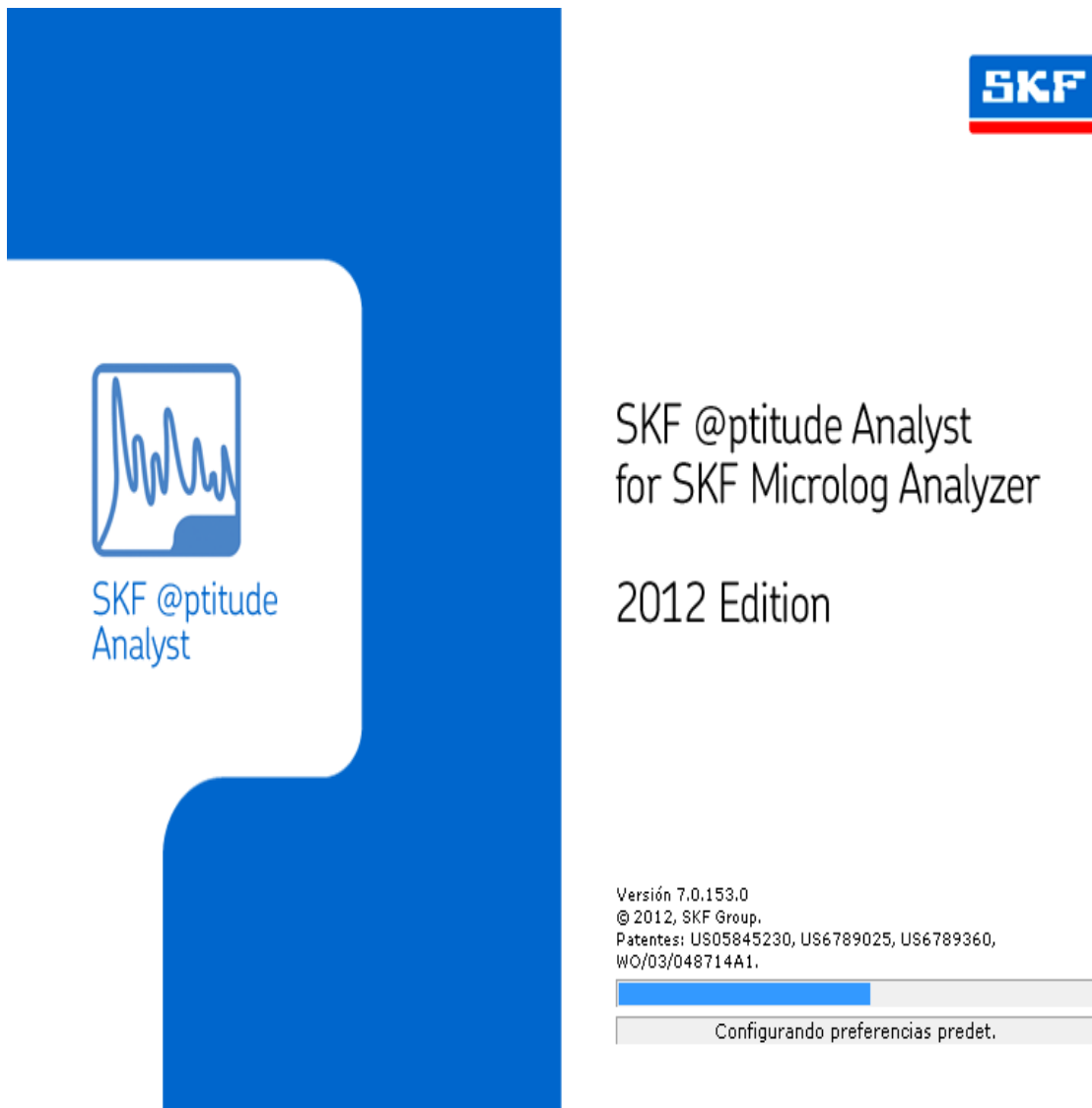
Cuando el problema es de bandas con desgaste, normalmente generará 3 o 4 múltiplos de la frecuencia de banda. Normalmente la segunda armónica de la banda puede ser la dominante y en algunos casos es posible que la frecuencia fundamental de la banda no aparezca.

Una banda dentada floja genera vibración alta a una frecuencia igual al número de dientes por la velocidad de giro, aunque también puede generar vibración elevada a la frecuencia de banda.

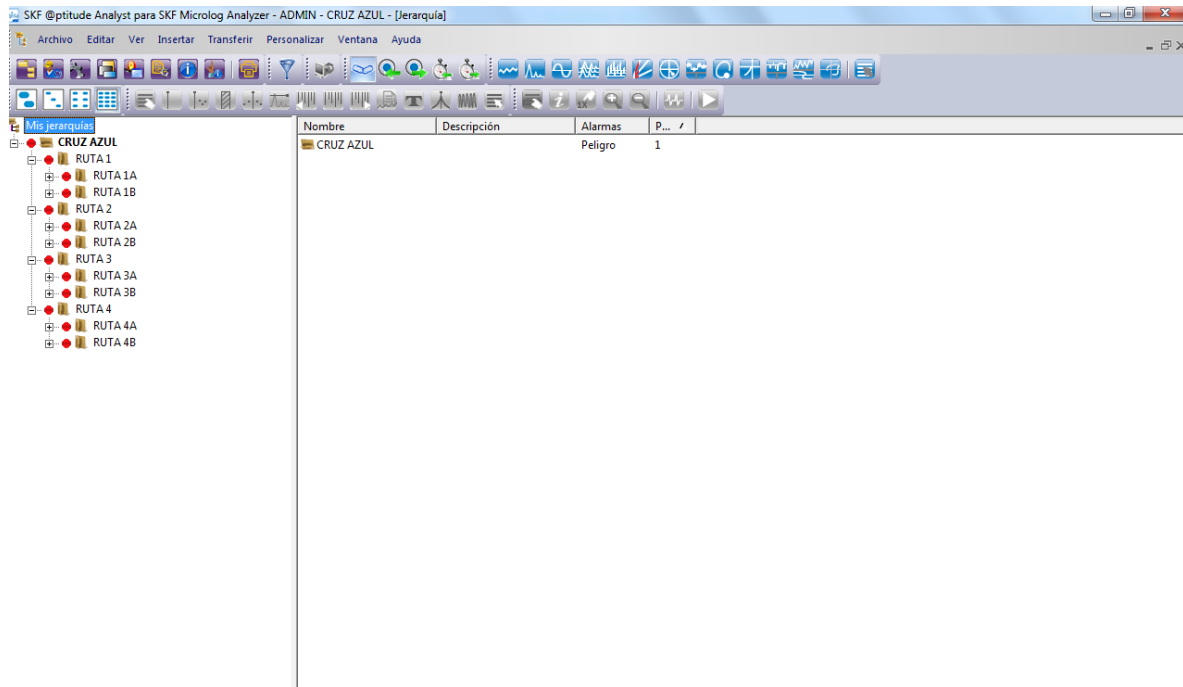


## Capítulo 4: Introducción a SKF Aptitude Analyst for SKF Microlog Analyzer

### 4. ¿Qué es Aptitude Analyst for SKF Microlog Analyzer?



Funciones de SKF @ptitude Analyst for SKF Microlog Analyzer en el departamento de mantenimiento predictivo de la cooperativa CRUZ AZUL



Esta comprendido de cuatro rutas de monitoreo

#### RUTA 1

- RUTA 1A
- RUTA 2A

#### RUTA 2

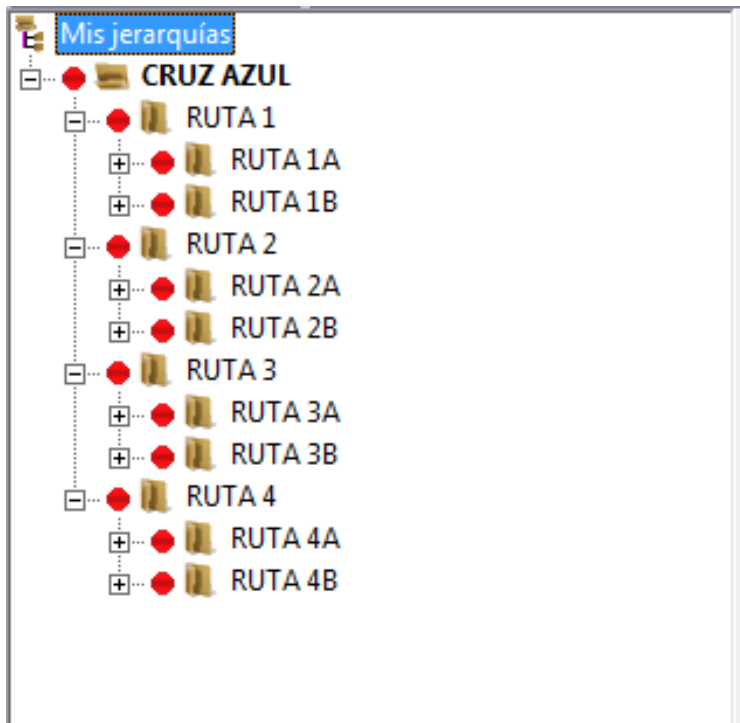
- RUTA 2A
- RUTA 2B

#### RUTA 3

- RUTA 3A
- RUTA 3B

#### RUTA 4

- RUTA 4A
- RUTA 4B



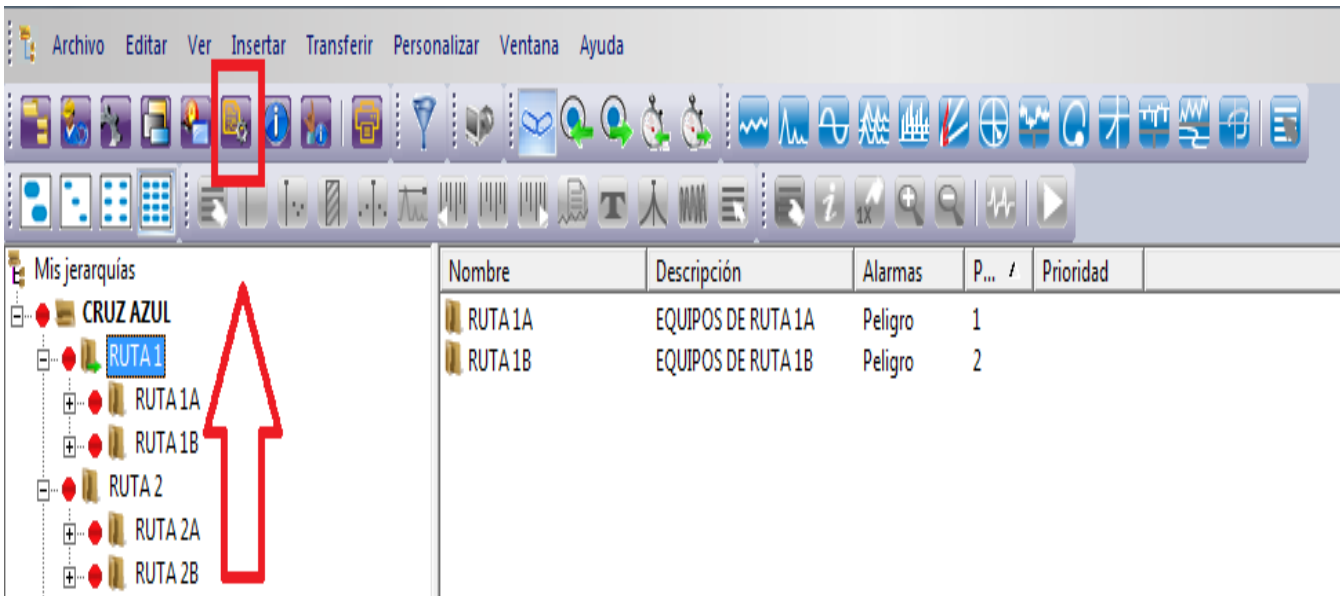
#### 4.1 Como realizar un informe de monitoreo

Cuando se termina el recorrido de las rutas de monitoreo hay que realizar informe en el cual se deben seguir las siguientes instrucciones

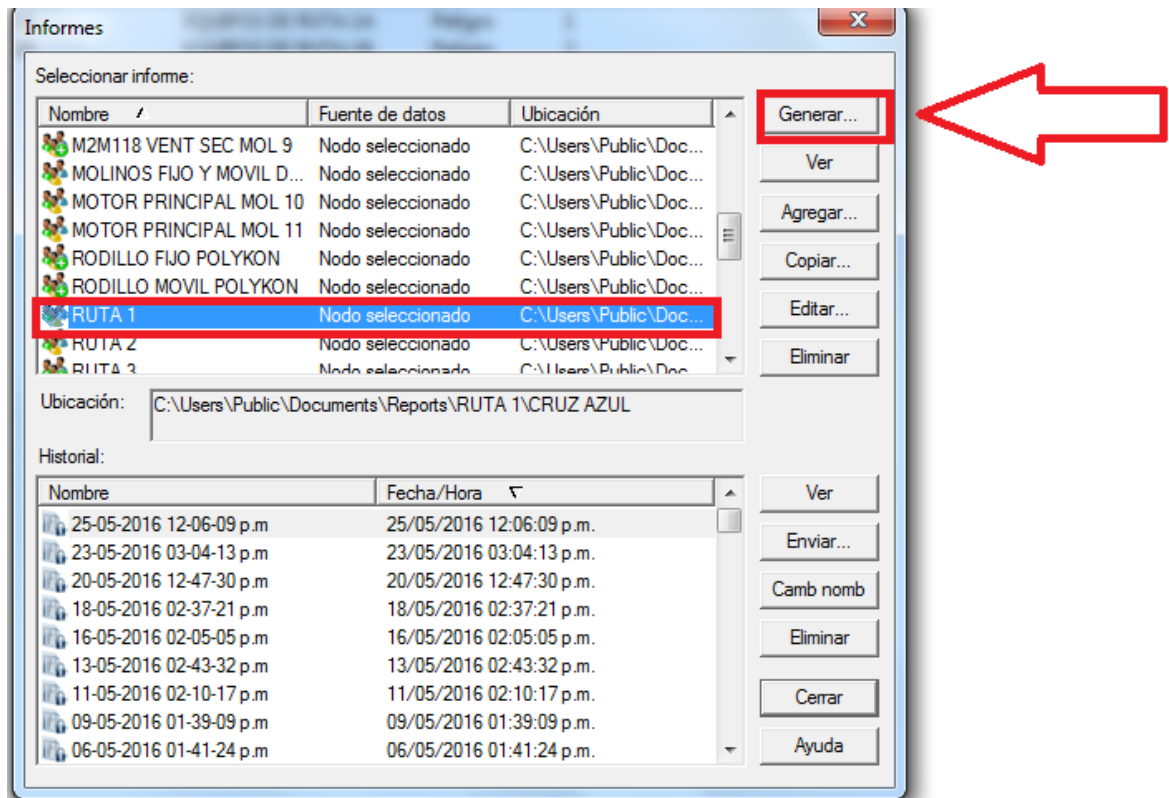
- 1) Seleccionar la ruta



- 2) En la barra de herramientas seleccionamos el icono de (conf. Informe)



3) Una vez seleccionado el icono de (conf. Informe) arrojará un recuadro como el que se muestra y marcamos RUTA 1 y damos (Generar)



4) Donde obtenemos el siguiente informe, con la siguiente información

## ULTIMA MEDICION RUTA 1

Fuente: RUTA 1  
07/09/2016 09:30:43 p.m.

### Última medición

<u>Nombre de máquina</u>	<u>Nombre de PUNTO</u>	<u>Fecha/Hora</u>	<u>Últ. valor</u>	<u>Valor anterior</u>	<u>Unidades</u>	<u>% cambio</u>	<u>Estado alarma</u>
MOTOR ELEX	VELOCIDAD	24/08/2016 01:04:39 p.m.	0.000	484.985	RPM	-100	---
MOTOR ELEX	1H	24/08/2016 01:04:56 p.m.	0.044	0.123	in/s	-64.4	---
MOTOR ELEX	1H ENV	24/08/2016 01:04:59 p.m.	2.590	2.644	gE	-2.05	Global - Alerta
MOTOR ELEX	1V	24/08/2016 01:05:05 p.m.	0.028	0.026	in/s	8.11	---
MOTOR ELEX	1A	24/08/2016 01:05:12 p.m.	0.080	0.070	in/s	14.4	---
MOTOR ELEX	2H	24/08/2016 01:05:24 p.m.	0.058	0.030	in/s	95.4	---
MOTOR ELEX	2H ENV	24/08/2016 01:05:26 p.m.	3.132	3.748	gE	-16.4	Global - Alerta
MOTOR ELEX	2V	24/08/2016 01:05:33 p.m.	0.057	0.024	in/s	134	---
MOTOR ELEX	2A	24/08/2016 01:05:43 p.m.	0.079	0.087	in/s	-9.17	---
VENTILADOR ELEX	3H	24/08/2016 01:05:57 p.m.	0.052	0.019	in/s	173	---
VENTILADOR ELEX	3H ENV	24/08/2016 01:05:59 p.m.	1.191	0.462	gE	158	---
VENTILADOR ELEX	3V	24/08/2016 01:06:08 p.m.	0.052	0.016	in/s	228	---
VENTILADOR ELEX	3A	24/08/2016 01:06:16 p.m.	0.041	0.022	in/s	87.6	---
VENTILADOR ELEX	4H	24/08/2016 01:07:51 p.m.	0.064	0.026	in/s	141	---
VENTILADOR ELEX	4H ENV	24/08/2016 01:07:54 p.m.	1.098	0.416	gE	164	---
VENTILADOR ELEX	4V	24/08/2016 01:08:02 p.m.	0.099	0.011	in/s	809	---
VENTILADOR ELEX	4A	24/08/2016 01:08:10 p.m.	0.075	0.010	in/s	694	---
TEMPERATURA	T1	24/08/2016 01:08:14 p.m.	44.990	40.000	C	12.5	---
TEMPERATURA	T2	24/08/2016 01:08:17 p.m.	53.990	42.000	C	28.5	---
TEMPERATURA	T3	24/08/2016 01:08:20 p.m.	59.990	44.990	C	33.3	---

En el recuadro amarillo está el nombre del equipo, en el recuadro rojo están los puntos de monitoreo, recuadro verde la fecha en que se realizó la medición, en el recuadro azul contiene el ultimo valor de la medición, valor de anterior, las unidades y el estado en el que se encuentra e equipo.

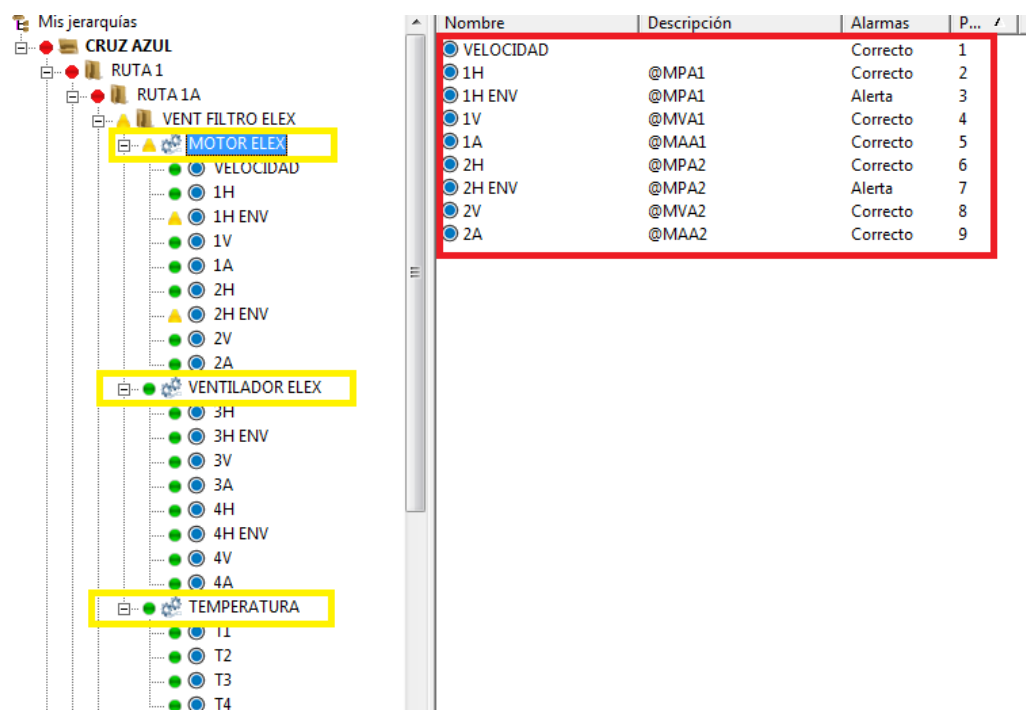
## 4.2 Como analizar los puntos de monitoreo

Cuando hablamos de un punto de monitoreo hacemos referencia a tres posiciones (horizontal, vertical, axial), para analizar los puntos de monitoreo en el software SKF Aptitude Analyst tenemos que seleccionar el nombre del equipo, ejemplo utilizaremos en ventilador de filtro elex el cual está compuesto por los siguiente

El primero es el motor (se medirá la velocidad en RPM de igual manera el motor tiene dos puntos de medición en la parte trasera y delantera donde encuentran sus respectivos rodamientos)

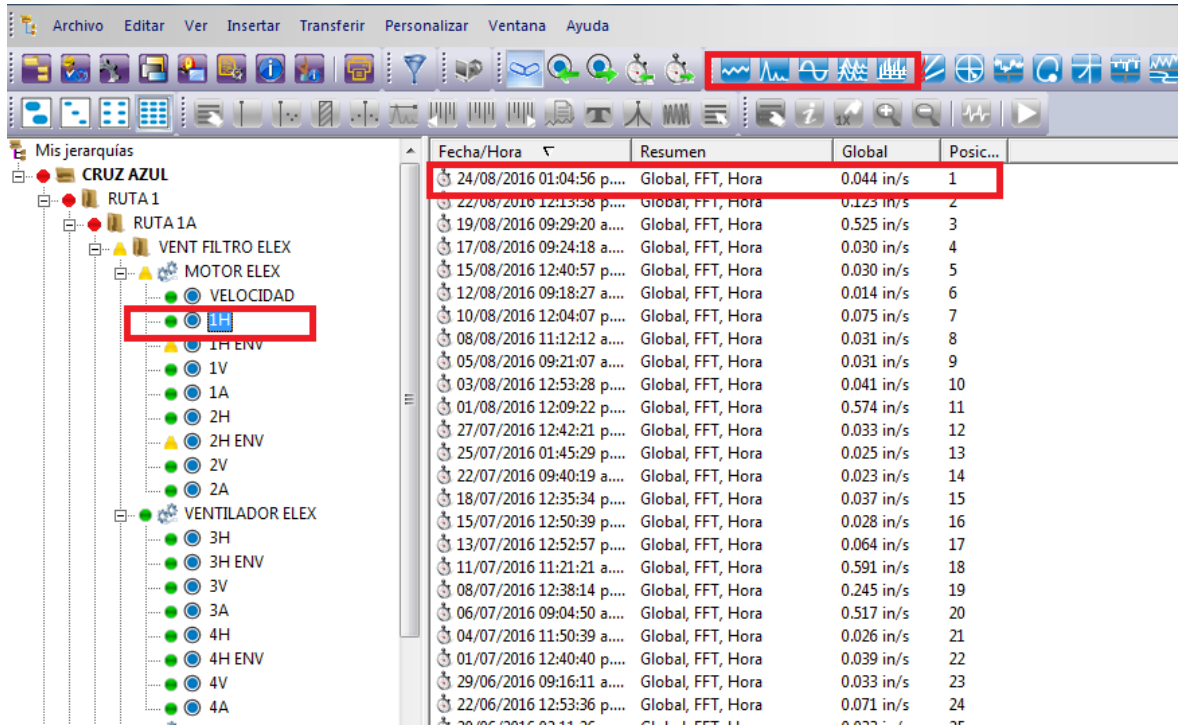
El segundo es ventilador (cuando nos referimos al ventilador hablamos del eje que está acoplado a una pole con su respectiva banda o de acopamiento directo que sería de motor a eje, donde el eje esta soportado por dos cajas de rodamientos, que es donde se realiza los puntos medición)

El tercero es la temperatura (estos datos son recolectados por medio de un pirómetro, los puntos a los cuales se les mide la temperatura son cuatro la parte delantera, trasera del motor y las dos cajas de rodamientos que sujetan al eje del ventilador)

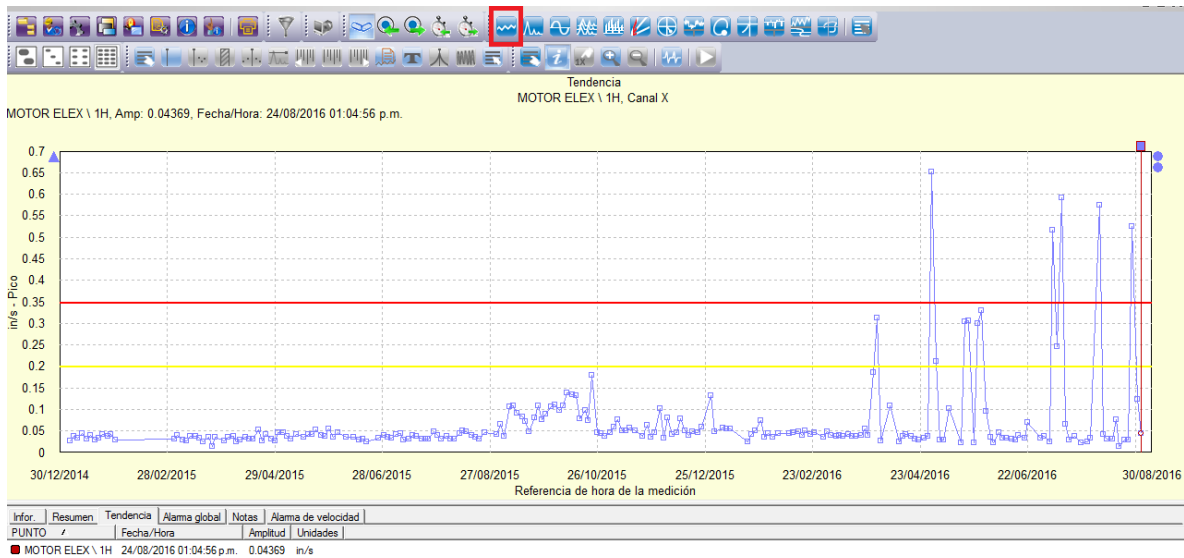


Nombre	Descripción	Alarmas	P...
VELOCIDAD		Correcto	1
1H	@MPA1	Correcto	2
1H ENV	@MPA1	Alerta	3
1V	@MVA1	Correcto	4
1A	@MAA1	Correcto	5
2H	@MPA2	Correcto	6
2H ENV	@MPA2	Alerta	7
2V	@MVA2	Correcto	8
2A	@MAA2	Correcto	9

Para analizar un posición de monitoreo en el software, como observamos en la imagen seleccionamos posición 1H el cual arroja las fechas cuando se realizó la medición, en la barra de herramientas tenemos 5 opciones con las que podemos analizar una posición de los puntos de monitoreo

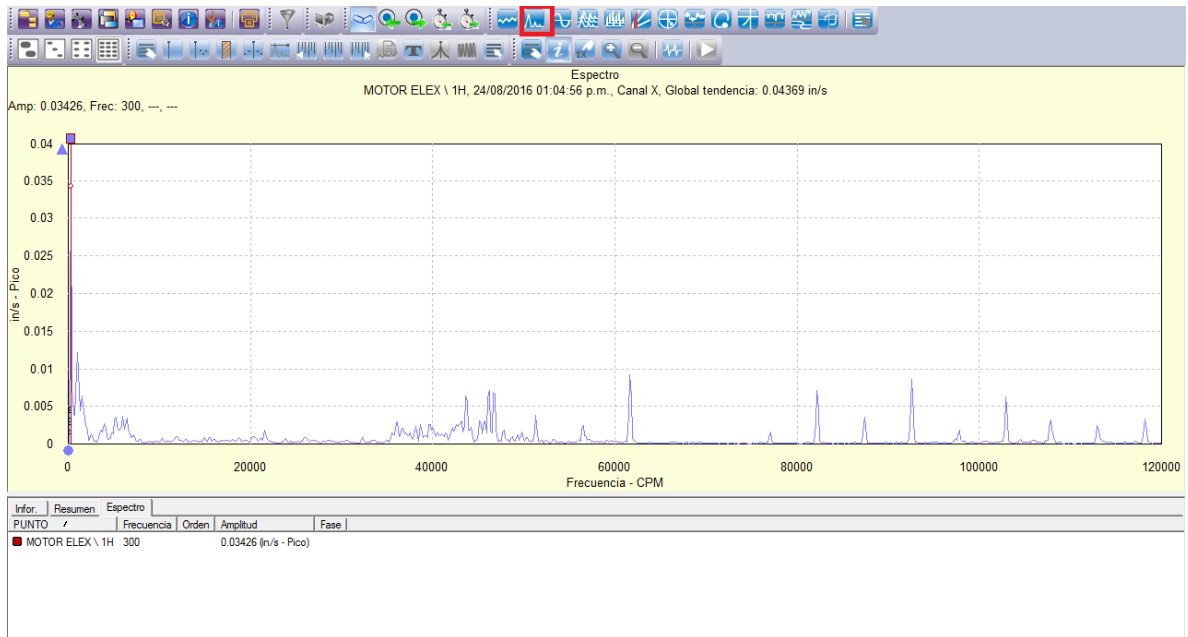


## 1) Gráfica tendencia

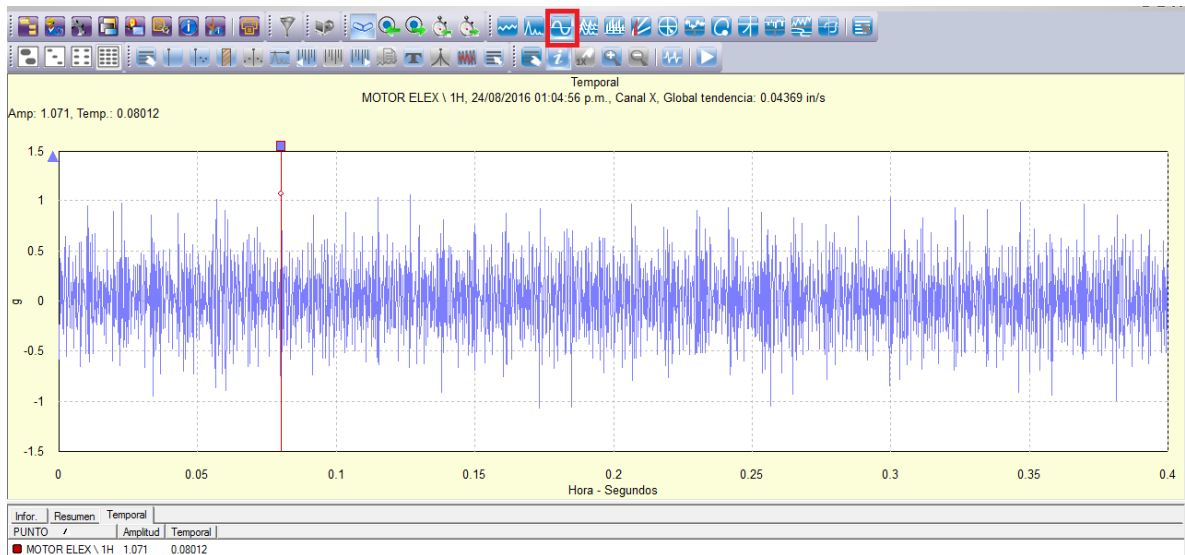




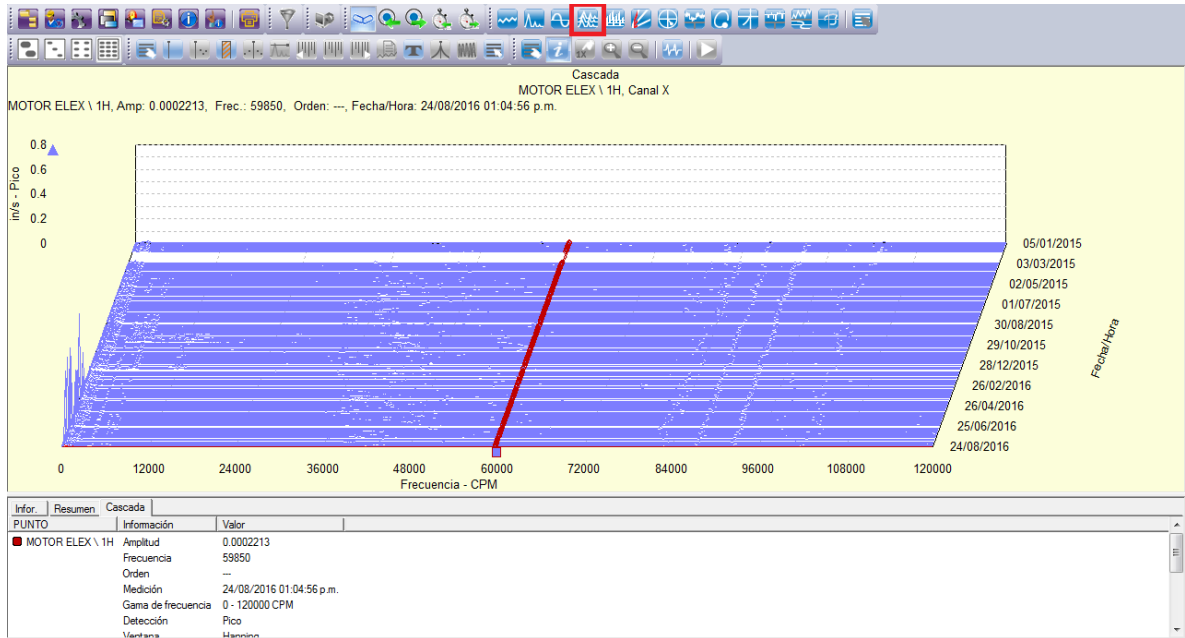
## 2) Grafica de espectro



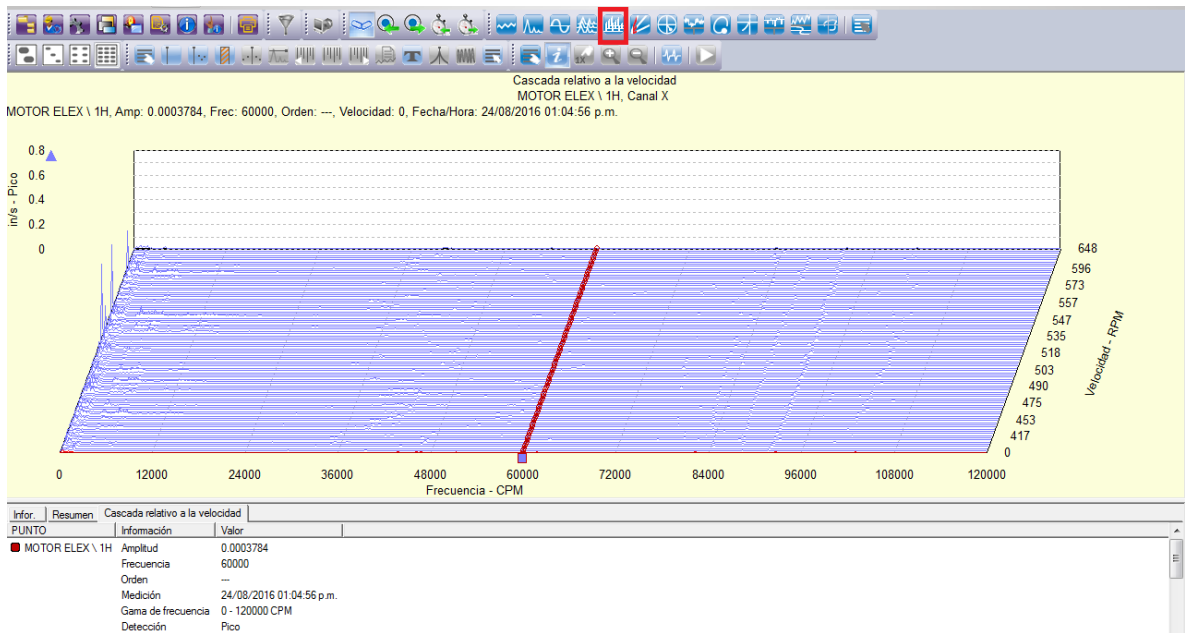
## 3) Grafica temporal



#### 4) Grafica de cascada



#### 5) Grafica cascada relativo a la velocidad

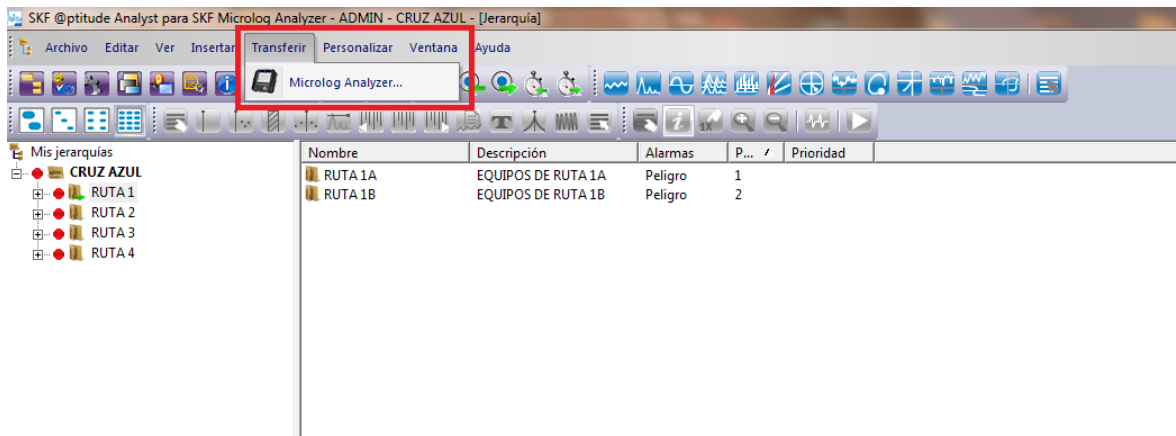


### 4.3 Como cargar las rutas de monitoreo al Microlog Analyzer mediante el SKF @ptitude Analyst

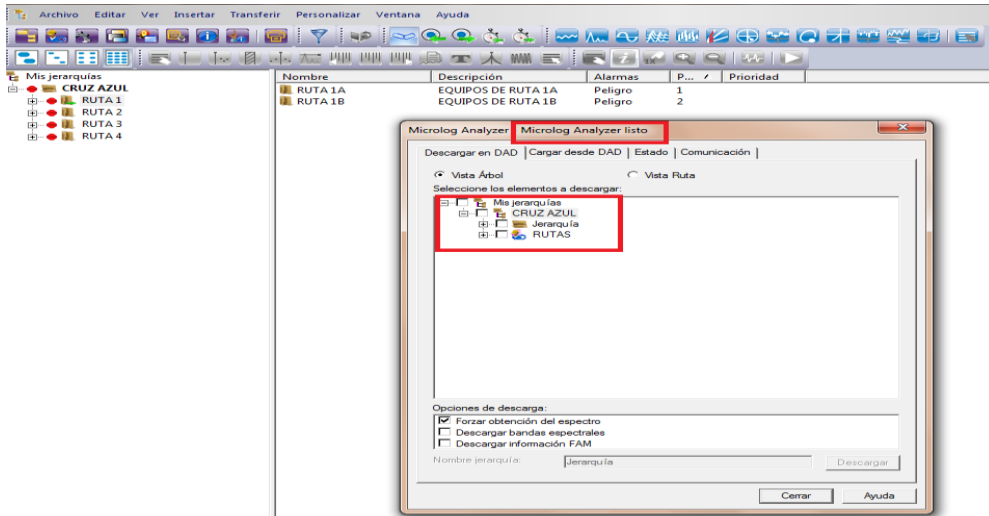
- 1) Conectar el Microlog analizar ala pc



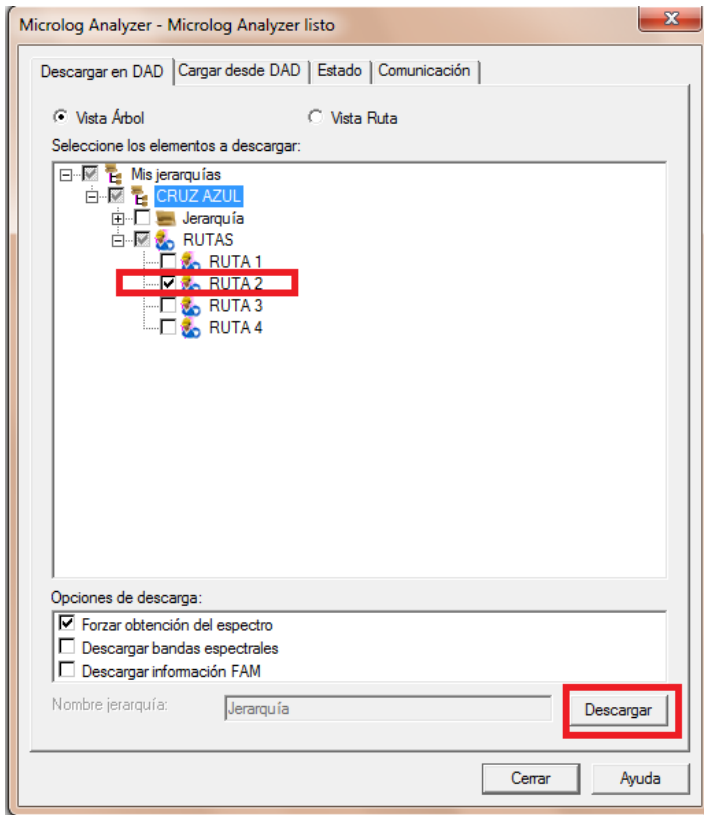
- 2) Seleccionar la opción trasferir y seleccionar Microlog Analyzer



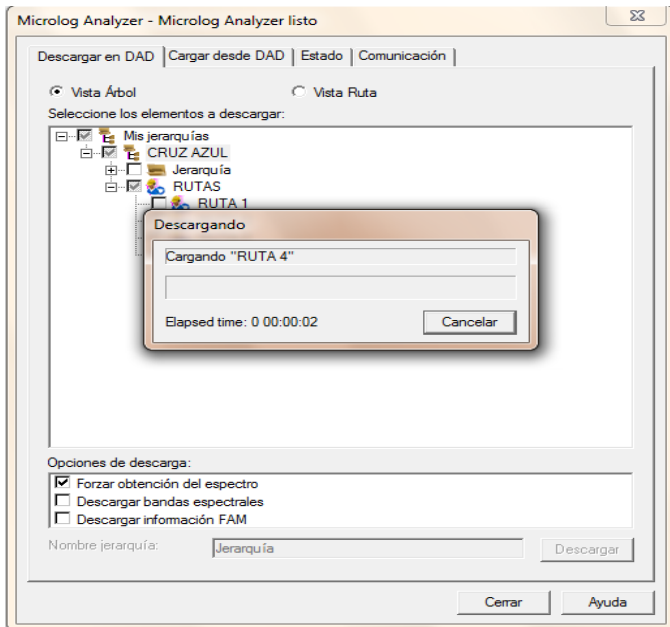
- 3) Aparecerá un recuadro donde el Microlog estará listo y seleccionaremos donde esta RUTAS



4) Seleccionaremos la ruta que deseamos cargar al Microlog Analyzer

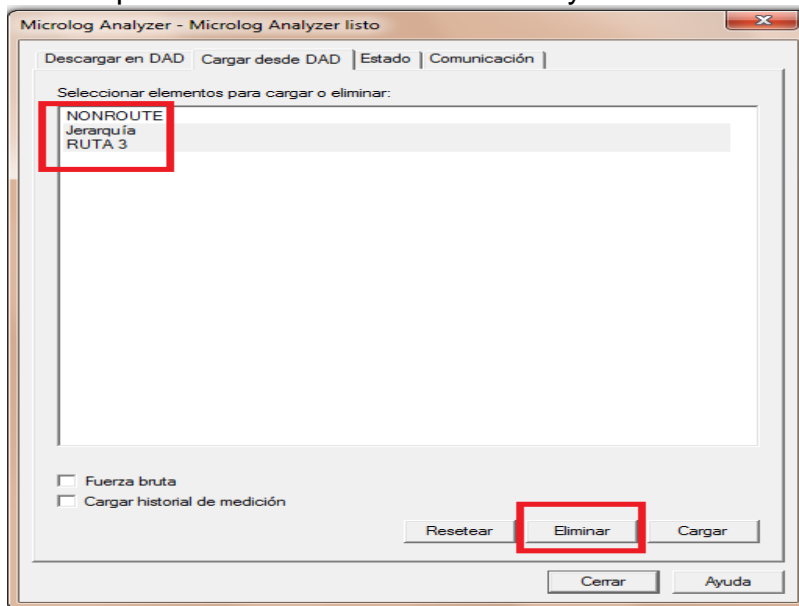


5) El software empezara a trasferir la ruta, una vez transferida la ruta desconectamos el Microlog Analyzer



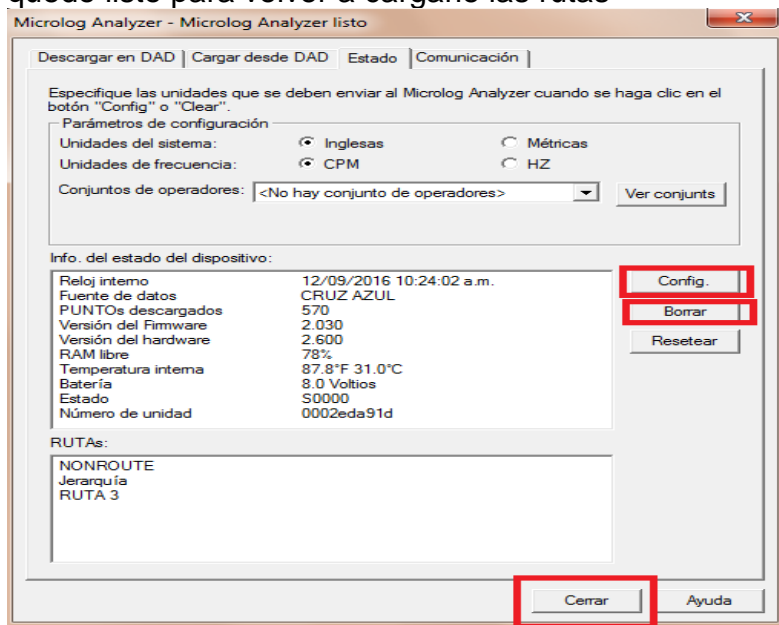
#### 4.4 Como eliminar rutas de monitoreo del Microlog Analyzer mediante el skf @ptitude Analyzer

Una vez conectado el equipo de monitoreo Microlog Analyzer con rutas en su sistema operativo a la pc aparecerá el siguiente recuadro donde ya estará listo, seleccionaremos la ruta que se encuentra en el sistema y eliminamos



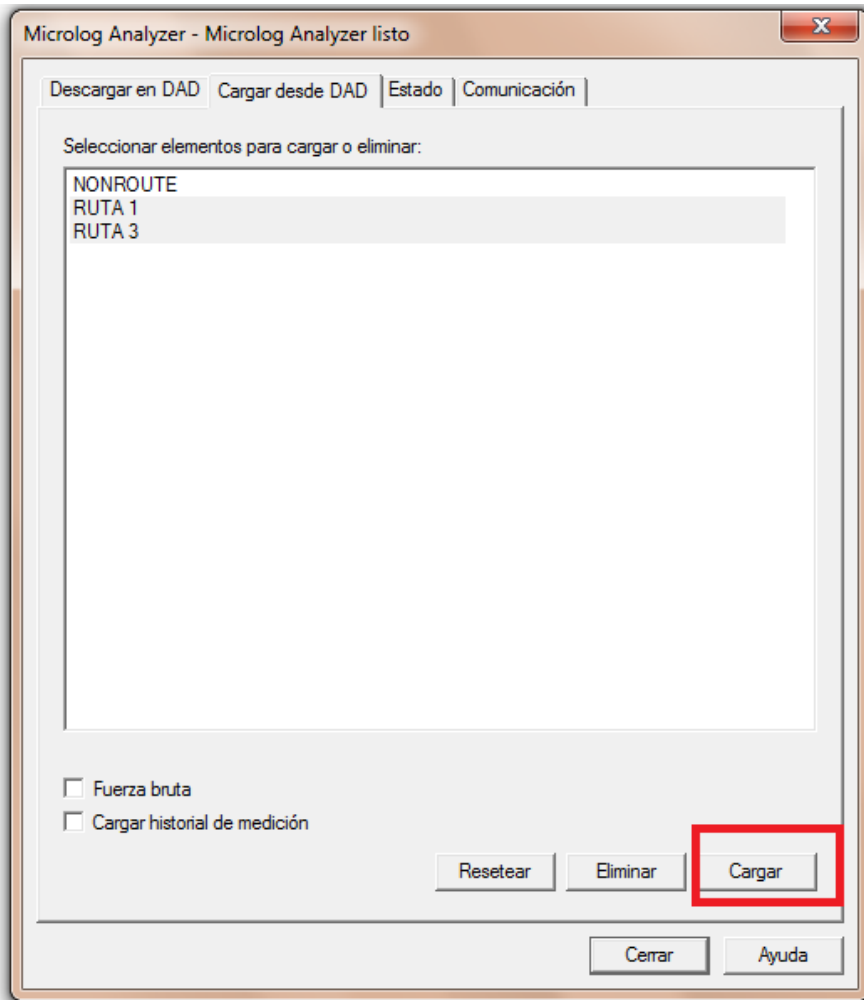
Una vez eliminada las rutas tenemos que ir a la opción de estado seleccionamos primero la opción de borrar y después la opción de configurar para que el equipo quede

configurado con hora y fechas recientes, seleccionamos la opción cerrar y el equipo quedo listo para volver a cargarle las rutas



#### 4.5 Como cargar los datos de monitoreo del Microlog Analyzer al skf @ptitude Analyzer

Una vez terminado el recorrido de la ruta conectamos Microlog Analyzer al pc abrimos el skf @ptitude Analyzer y aparecerá el siguiente recuadro donde seleccionaremos las rutas, seleccionamos cargar, el software empezara a recopilar los datos y cerramos





## 4.6 SKF Microlog CMXA 75



Destinado a ingenieros de mantenimiento de diversos sectores, el SKF Microlog Analyzer de la serie GX es un colector/analizador FFT de datos portátil de alto rendimiento, basado en rutas

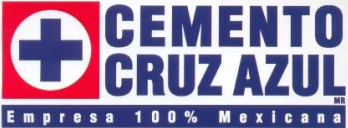
La entrada triaxial simultánea por cuatro canales con tacómetro independiente permite reunir datos de forma más rápida y completa, sin necesidad de prolongar el tiempo de recogida.

Gracias a su resistente procesador de datos de alta velocidad, el modelo SKF Microlog CMXA 75 capta, a partir de numerosas fuentes, mediciones dinámicas (vibración) y estáticas (procesos) de rutas o fuera de ruta.

Para obtener más conocimiento sobre el funcionamiento del equipo de medición favor de consultar el manual del fabricante, ubicado en el oficina del jefe del área de mantenimiento el ingeniero Liborio Cruz Ortiz

## Capítulo 5: Instrucciones de trabajo

### 5. Instrucciones de trabajo para el departamento de mantenimiento predictivo mecánico

	<b>INSTRUCCIONES DE TRABAJO</b>
	Instrucciones de trabajo para la ejecución de mantenimiento predictivo mecánico

#### 1. Descripción de actividades

Paso	Actividades
1	Seguir el programa de ruta, anexo N° 1.
2	Medir los puntos de los equipos donde hay vibración y temperatura, si es necesario medir velocidad con la lámpara estroboscópica: cajas de rodamiento y motor, medición en las posiciones vertical, horizontal y axial.
3	La medición se realiza con el SKF Microlog CMXA 75, cuando el equipo está en operación normal
4	Cuando el equipo a realizar esta fuera de operación se avala con la firma del encargado en el formato MP-01, Reporte de equipo fuera de operación.
5	Se debe colocar el sensor al punto de medición del equipo y la presión de contacto debe ser constante.
6	Las mediciones se deben tomar como indicado en paso N°2, el solo desplazamiento del sensor de unas cuantas pulgadas, fuera de sitio en donde se haya efectuado una medición previa, puede llevar a la obtención de resultados diferentes.
7	Al obtener los datos monitoreados(vibración, temperatura y velocidad), se respaldaran en software SKF Aptitude Analyst
8	Los datos obtenidos son comparados con las mediciones anteriores, si existe desviación, se emite la gráfica de tendencia y de espectro con software SKF Aptitude Analyst, y se elabora un reporte de equipo crítico, y se envía al jefe de control de mantenimiento, quien emite una orden de trabajo al área correspondiente, con copia para la jefatura de mantenimiento mecánico, para la toma de decisiones.
9	El equipo de monitoreo utilizado debe estar debidamente calibrado
10	Equipo de protección: Casco de seguridad, conchas auditivas, mascarilla contra el polvo, zapatos de seguridad, lentes.

## 5.1 Reportes de equipos fuera de operación

### 5.1.1 MP-01 RUTA 1

	<p>MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO</p>
---	--

MP-01

<p>REPORTE DE EQUIPO FUERA DE OPERACIÓN</p>	<p>RUTA</p> <p>1</p>	<p>SEMANA</p>	<p>FECHA/ PERIODO</p>
---	----------------------	---------------	-----------------------

EQUIPO	DEPARTAMENTO	F / OPERACIÓN	MOTIVO
VENT. EXHAUSTOR No. 1 H1M-114	HORNO 4		
VENT. EXHAUSTOR No. 2 H1M-115			
VENT. DEL FILTRO H1M-523			
MOTOR PRINCIPAL			
VENT. DEL FILTRO ELEX			
VENT. COLECT. DE POLVO DEL MOLINO	MOLINO DE CRUDO No. 9		
SEP. STURTEVANT			
VENT. DE SECADO			
MOTOR PRINCIPAL			
VENT. COLECT. DE POLVO DEL MOLINO	MOLINO DE CRUDO No. 8		
SEP. STURTEVANT			
VENT. DE SECADO			
MOTOR PRINCIPAL			
SOPLADOR H1M203	HOMOG. "B"		
SOPLADOR H1M204	HOMOG. "B"		
SOPLADOR H1M205	HOMOG. "B"		
IMPACTOR SEC. DE CALIZA SIST. II	TRITURACION DE CALIZA		
IMPACTOR DE PIZARRA SIST. II	TRITURACION DE PIZARRA		
TRIT. KRUPP	TRIT. PRIMARIA		
VENT.DEL COMP. No. 1, ENFRIADOR	HORNO No. 3		
VENT.DEL COMP. No. 2, ENFRIADOR			

VENT.DEL COMP. No. 3, ENFRIADOR			
VENT.DEL COMP. No. 4, ENFRIADOR			
VENT.DEL COMP. No. 5, ENFRIADOR			
MOTOR PRINCIPAL DEL HORNO			
VENT. COLECTOR PRECALENTADOR			
VENT. EXHAUSTOR			

### 5.1.2 MP-01 RUTA 2

	<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO</b>
---	--

MP-01

<b>REPORTE DE EQUIPO FUERA DE OPERACIÓN</b>	RUTA	SEMANA	FECHA/ PERIODO
	2		

EQUIPO	DEPARTAMENTO	F / OPERACIÓN	MOTIVO
COMPRESOR FULLER	MOLINO DE CEMENTO No. 6		
BOMBA FULLER			
MOTOR PRINCIPAL DEL MOLINO			
VENT.DEL COLECT. JET PULSE			
VENT. DEL COLECT. DEL SEP. O-SEPA.			
SEPARADOR O-SEPA.			
VENT.DEL COLECT. JET PULSE	MOLINO DE CEMENTO No. 10		
VENT. DEL COLECT. DEL SEP. O-SEPA.			
SEPARADOR O-SEPA			
MOTOR PRINCIPAL DEL MOLINO			
VENT.DEL COLECT. JET PULSE	MOLINO DE CEMENTO No. 11		
VENT. DEL COLECT. DEL SEP. O-SEPA			

SEPARADOR O-SEPA			
MOTOR PRINCIPAL DEL MOLINO			
MOTOR DEL RODILLO FIJO	PREMOLIENDA DE CLIKER		
MOTOR DEL RODILLO MOVIL			
VENT. DEL COMP 3 DEL ENFRIADOR	HORNO No. 4		
VENT DEL COMP 1 DEL ENFRIADOR			
VENT DEL COMP 2 DEL ENFRIADOR			
VENT DEL COMP 4 SEL ENFRIADOR			
VENT DEL COMP 7 DEL ENFRIADOR			
VENT DEL COMP 8 DEL ENFRIADOR			
VENT DEL COMP 10 DEL ENFRIADOR			
VENT DEL COMP 9 DEL ENFRIADOR			
VENT DEL COMP 6 DEL ENFRIADOR			
VENT DEL COMP. 7 DEL ENFRIADOR			
VENT. DE AIRE PRIMARIO			
COMPRESOR SULLAIR 702	SUMINISTRO DE AIRE		
BOMBA No.1 DE NACEDERO	SUMINISTRO DE AGUA, NACEDERO, OAX.		
BOMBA No.2 DE NACEDERO			

### 5.1.3 MP-01 RUTA 3

	<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO</b>
---	--

MP-01

<b>REPORTE DE EQUIPO FUERA DE OPERACIÓN</b>	RUTA	SEMANA	FECHA/ PERIODO
	3		

EQUIPO	DEPARTAMENTO	F / OPERACIÓN	MOTIVO
VENT. COL No. 2 EN POLTAKT III	TRANSP. Y ALM. MATERIA PRIMA		
VENT. COL No. 3 EN POLTAKT III	TRANSP. Y ALM. MATERIA PRIMA		
VENT. COL No. 4 EN POLTAKT III	TRANSP. Y ALM. MATERIA PRIMA		
VENT. COL No. 1 SOBRE SILOS	HOMOGENEIZACION "B"		
VENT. COL No. 2 SOBRE SILOS	HOMOGENEIZACION "B"		
VENT. COL. No. 2 TRIT. ABRASIVOS	TRIT.D E MATLS. ABRASIVOS		
VENT. COL. No. 6 TRIT. CALIZA II	TRI.CALIZA SIST. II		
VENT. COL. No. 7 TRIT. CALIZA II	TRIT. CALIZA SIST. II		
VENT. COL. No. 4 TRIT. CALIZA II	TRIT. CALIZA SIST. I		
VENT. COL. No. 5 TRIT. CALIZA II	TRIT. CALIZA SIST. I		
IMP.SECUNDARIO DE CALIZA I	TRIT CALIZA SIST. I		
IMP.TERCARIO DE CALIZA I	TRIT CALIZA SIST. I		
IMP.TERCARIO DE CALIZA II	TRIT CALIZA SIST. II		
VENT. COL No. 1 TRIT. CALIZA I	TRIT CALIZA SIST. I		
VENT. COL No. 2 TRIT. CALIZA II	TRIT CALIZA SIST. II		
VENT. COL POLVO TRIT. PIZARRA II	TRIT. PIZARRA II		
VENT. COL. No. 2 TRIT. ABRASIVOS	TRIT.D E MATLS. ABRASIVOS		
VENT COL TC2M126 TRIT. CALIZA II	TRIT CALIZA SIST. II		

VENT. COL. POLVO No. 1 KRUPP	TRITURACION PRIMARIA		
VENT. COL. PO.VO PRECALENTADOR	HORNO No. 4		
VENT. COL. POLVO ALIM. A HORNO	HORNO No. 3		

### 5.1.4 MP-01 RUTA

	<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO</b>
---	--

MP-01

<b>REPORTE DE EQUIPO FUERA DE OPERACIÓN</b>	RUTA	SEMANA	FECHA/ PERIODO
	4		

EQUIPO	DEPARTAMENTO	F / OPERACIÓN	MOTIVO
VENT. COL POLVO SIST ALIM.	MOLINO DE CEMENTO No. 6		
VENT. COL SOBRE SILO 14	MOLINO DE CEMENTO No. 6		
VENT. COL EN ELEV. 310-311	TRANSPORTE DE CLINKER		
VENT. COL POLVO TRANS. ARTESAS V	TRANSPORTE DE CLINKER V		
VENT. COL POLVO EN SILO 16	TRANSPORTE DE CLINKER V		
VENT. COL. No. 1 S/TOLVAS MOL 10	TRANSPORTE DE CLINKER		
VENT. COL. No. 2 S/TOLVAS MOL 11	TRANSPORTE DE CLINKER V		
VENT. COL. DEL HIC 400	TRANSPORTE DE CLINKER		
VENT. COL. TRANS ARTESAS III	TRANSPORTE DE CLINKER II		
VENT. COL. POLVO EN PREMOLIENDA	PREMOLIENDA DE CLINKER		
VENT. COL. TRANS ARTESAS II	TRANSPORTE DE CLINKER II		
VENT. COL. BAJO SILO 17	ENVASE II		
VENT. COL ENS. HAVER 5	ENVASE II		



VENT. COL ENS. HAVER 6	ENVASE II		
VENT. COL ENS. HAVER 3	ENVASE II		
VENT. COL ENS. HAVER 4	ENVASE II		
VENT COL POLVO CTO. A GRANEL	ENVASE II		
VENT. COL. TOLVA DE POLVO REC.	DEPTO DE MEZCLAS		
VENT. COL. TOLVA DE CALIZA	DEPTO DE MEZCLAS		
VENT. COL. TOLVA DE ESCORIA	DEPTO DE MEZCLAS		
VENT. COL. TOLVA DE CEMENTO	DEPTO DE MEZCLAS		
VENT. COL. TOLVA DE PUZOLANA	DEPTO DE MEZCLAS		
VENT. COL. SOBRE SILO 15	ENVASE II		
VENT. COL. POLVO SOBRE SILO 17	ENVASE II		

## 5.2 Reporte de equipo critico

	<p>MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO</p>
---	--

<p>REPORTE DE EQUIPO CRÍTICO</p>	<p>DIA</p>	<p>MES</p>	<p>AÑO</p>
	<p></p>	<p></p>	<p></p>

AT'N. DEPARTAMENTO DE PLANEACION Y CONTROL DE MANTENIMIENTO:  
 AGRADECEREMOS A USTEDES SE SIGAN EFECTUAR LOS TRAMITES  
 CORRESPONDIENTES PARA LA REVISIÓN DEL SIGUIENTE EQUIPO, PARA LO  
 CUAL SE ANEXA GRAFICO DE TENDENCIA.

<p>EQUIPO</p>	
<p>DEPARTAMENTO</p>	
<p>OBSERVACIONES</p>	

ESTAMOS A SUS ÓRDENES PARA CUALQUIER ACLARACIÓN.

A T E N T A M E N T E

SR. JOSE ANTONIO AYALA AYALA  
 ENCARGADO

MANTENIMIENTO PREDICTIVO MECANICO.

c.c.p. Archivo

## Conclusión y recomendaciones

### Conclusión:

El proyecto antes mencionado en la COOPERATIVA LA CRUZ AZUL planta Lagunas Oaxaca , resolvió el problema con carácter general sobre los procedimientos e instrucciones para la implementación en el departamento de mantenimiento predictivo basado en la preparación del personal y definir las instrucciones de trabajo en el departamento y ahora concluiremos según lo obtenido en esta investigación

- El área de mantenimiento predictivo en la COOPERATIVA LA CRUZ AZUL es la encargada de monitorear el equipo operativo de la planta mediante técnicas de diagnóstico basadas en la obtención de datos y tendencias evaluando el estado actual de la maquinaria y considerando con anticipación alguna falla establecer un plan de reparación en caso de que esta se presente.

Algunas técnicas de mantenimiento predictivo

- I. Monitoreo de puntos de temperatura a través de termografía infrarroja.
  - II. Análisis de vibraciones, desbalanceo, desalineamiento, holgura o aflojamiento, rodamientos dañados.
  - III. Medición de velocidad de los equipos mediante lámparas de luz estroboscópica
- A el personal al que valla dirigido esta investigación con la finalidad de capacitarlo esta complemente apto para cumplir las actividades en el departamento de mantenimiento predictivo, tendrá amplios conocimientos teóricos que abarca la investigación al igual que también tendrá muy claro los procedimientos e intrusiones que se deben tener para evitar los tiempos muertos y cubrir las necesidades del departamento
  - Se describió completamente el funcionamiento del software SKF Aptitude Analyst, como también se explicó cómo utilizar el equipo de monitoreo SKF Microlog CMXA 75 ya que el personal necesita estar familiarizado con estos dos elementos que complementa al departamento de una manera útil y eficaz
  - Se verificaron la existencia de los equipos de monitoreo en las rutas, con la finalidad de crear 4 listas de reportes de equipos fuera de operación los cuales se nombraron de la siguiente manera ejemplo: **MP-01 ruta 4** donde **MP** significa mantenimiento predictivo, **01** es el número de compilación que le da el departamento para saber que numero de oficio es, **ruta 4** es el nombre de la ruta donde están todos los equipos mencionados ya verificando la existencia de ellos.

- Se definieron las instrucciones de trabajo en 10 puntos todos con la finalidad de contribuir con el buen funcionamiento del departamento, abarcando desde la utilización del el equipo de monitoreo hasta la seguridad del personal.
- Se creó un formato para los equipos críticos el cual va dirigido al departamento de planeación y control de mantenimiento con la finalidad de atender el equipo es estado crítico lo más pronto posible y evitar daños mayores.

### **Recomendaciones:**

- Es indispensable que todo el personal que labora en el departamento de mantenimiento predictivo, implementen esta investigación para tener el conocimiento necesario para laborar en el departamento, pues de esa manera se minimizan los costos de paros de producción y de mantenimiento.
- Para el análisis de vibraciones es necesario contar con las mejores tecnologías, a fin de poder facilitar la labor del encargado del departamento, y para evitar daños catastróficos y así poder garantizar el buen estado de los equipos.
- A todos los equipos críticos se les debe realizar monitoreo general de frecuencia.
- Es muy importante capacitar de forma continua al personal de mantenimiento predictivo y a los operarios de los equipos en el área de Vibraciones Mecánicas, para que el personal contribuya a anticipar paros en la producción.
- Seguir cuidadosamente las instrucciones de trabajo para obtener un buen desempeño en el departamento, así como también dar seguimiento a los formatos de equipos fuera de operación.
- Mantener constantemente calibrados los equipos de medición.

## **Anexos**

### **ISO 18436: Monitoreo y diagnóstico de estado de equipos: Requerimientos para capacitación y certificación de personal Parte 2: Monitoreo y diagnóstico de estado de vibración**

#### **1. Alcance**

Esta parte de ISO 18436 especifica los requerimientos generales para el personal de análisis vibraciones quienes ejecutan monitoreo y diagnóstico de estado de equipos. La certificación de cumplimiento de esta norma proveerá reconocimiento de las calificaciones y competencias de individuos para ejecutar mediciones y análisis de vibración en equipos usando sensores fijos y portátiles.

#### **2. Exámenes de calificación**

Para cada categoría de certificación, se recomienda que a los candidatos se les requiera responder un determinado número de preguntas, especificado por el ente de certificación. Habrán sido seleccionadas de una base de datos de preguntas existentes al momento del examen. Las preguntas deberán ser de una naturaleza práctica, incluso evaluar a los candidatos en conceptos y principios requeridos para conducir el análisis de vibración de equipos. Las preguntas pueden incluir la interpretación de diagramas y gráficos. Estas preguntas han de ser generadas y o aprobadas por un comité técnico del ente de certificación apropiado.

El porcentaje mínimo de aprobación del examen es 75%. Examen se realiza sin apuntes. Si son requeridos simples cálculos matemáticos utilizando calculadora científica básica; un resumen de fórmulas comunes será provisto junto a las preguntas del examen.

#### **3. Certificación del personal en categorías**

Las personas que trabajan en análisis de vibraciones serán certificadas de acuerdo a ISO 18436-2, en cuatro categorías. A las personas certificadas se les reconoce haber adquirido las siguientes competencias, en cada una de las siguientes categorías:

##### **Categoría I**

Las personas que satisfacen los requerimientos de esta categoría se les reconoce estar calificadas para realizar mediciones de vibraciones en máquinas con instrumentos de un canal y análisis preliminares de espectros en algunos tipos de máquinas. Ellos no serán responsables de la elección del sensor ni de los análisis que deben ser realizados.

## **Categoría II**

Las personas que satisfacen los requerimientos de esta categoría se les reconoce estar calificadas para realizar medición y análisis básicos de vibraciones en máquinas industriales de acuerdo a procedimientos establecidos y reconocidos. Personal certificado en categoría II requiere de todo el conocimiento de la categoría I, y también están calificados para:

Seleccionar la técnica apropiada de análisis de vibraciones en un recolector de un canal

- Configurar el instrumento de medición
- Realizar análisis básicos de vibraciones de máquinas y componentes tales como ejes, descansos, engranajes, ventiladores, bombas y motores usando el análisis espectral
- Mantener una base de datos de resultados y tendencias
- Realizar ensayos de impactos básicos con un analizador de un canal para determinar frecuencias naturales
- Clasificar, interpretar y evaluar los resultados de los ensayos (incluyendo ensayos de aceptación) de acuerdo a especificaciones aplicables y estándares
- Recomendar acciones correctivas menores
- Entender conceptos básicos de balanceamiento en terreno en un plano

## **Categoría III**

Las personas que satisfacen los requerimientos de esta categoría se les reconoce estar calificadas para realizar y/o dirigir medición y análisis de vibraciones de acuerdo a procedimientos establecidos y reconocidos con instrumentos multicanales, seleccionar la técnica de análisis más apropiadas y establecer programas de monitoreo de vibraciones. Personal certificado en categoría III requiere de todo el conocimiento y experiencia de la categoría II, y también están calificados para:

- Seleccionar la técnica apropiada de análisis de vibraciones
- Especificar el apropiado hardware y el software para los equipos de vibraciones portables o permanentes
- Medir y realizar diagnósticos de espectros en frecuencias en un solo canal (autoespectros), de formas de ondas y órbitas bajo condiciones de operación estacionarias y no estacionarias
- Establecer programas de monitoreo de vibraciones incluyendo cuando realizar monitoreo periódico o continuo, frecuencia de mediciones, planes de rutas, etc.
- Establecer programas para la especificación de niveles vibratorios y criterios de aceptación para la máquina nueva

- Entender y ser capaz de dirigir el uso de tecnologías de monitoreo de condición alternativa (tales como emisión acústica, termografía, corriente de motores, análisis de aceites)
- Recomendar acciones correctivas en terreno, tales como balanceamiento, alineamiento y reemplazo de partes de máquinas
- Realizar en terreno balanceamiento básico en un plano
- Preparar informes en condición de máquinas, recomendar acciones correctivas e informar sobre la efectividad de las reparaciones
- Proveer instrucción y dirección técnica a personal en entrenamiento

## **Categoría IV**

Las personas que satisfacen esta categoría se le reconoce estar calificadas para realizar y/o dirigir todo tipo de medición y análisis de vibraciones, recomendar acciones correctivas de uso común para reducir el nivel de vibraciones de máquinas y estructuras e interpretar y evaluar normas y recomendación del fabricante para fijar niveles de aceptación y alarma. Personal certificado en categoría IV requiere de todo el conocimiento y la experiencia de la categoría III, y también están calificados para:

- Aplicar teoría y técnicas de vibraciones, incluyendo mediciones e interpretación de análisis espectral multicanales tales como funciones respuesta en frecuencia, fase y coherencia
- Entender y realizar análisis de señales, incluyendo entendimiento y limitaciones del procesamiento en el dominio tiempo y frecuencia incluyendo órbitas
- Determinar frecuencias naturales, forma de modos y amortiguamiento de sistemas, componentes y conjuntos
- Determinar la forma de deflexión de máquinas y estructuras conectadas y recomendar medios de corrección
- Uso de reconocidas técnicas de análisis de vibraciones avanzadas, identificación de parámetros y diagnóstico de fallas
- Aplicar los principios básicos de dinámica del rotor/descansos en el diagnóstico de vibraciones
- Realizar en terreno balanceamiento básico de rotores en dos planos
- Recomendar todo tipo de acciones correctivas generalmente reconocidas
- Proveer instrucción y dirección técnica a personal en entrenamiento
- Realizar ensayos torsionales básicos
- Reconocer vibraciones generadas por pulsaciones de gas en máquinas tales como máquinas recíprocas y compresores de tornillo, medición de los parámetros necesarios y recomendar medios de corrección
- Recomendar acciones correctivas para montajes resilientes y otras sujeciones y para problemas de fundaciones



#### **4 Validez de la Certificación**

El período de validez de la certificación es de 5 años desde la fecha indicada en el certificado. Cerca del período final de validez la entidad certificadora puede renovar la certificación por una sola vez, por un nuevo período de similar duración con tal que la persona provea evidencia de una actividad de trabajo continuada satisfactoria sin interrupción significativa.

Si no se cumplen los criterios de renovación, las personas pueden optar a la recertificación siguiendo los procedimientos para los nuevos candidatos

## Referencias bibliográficas

- Skf servicios. 2005. Análisis de vibraciones 1.SKF
- DOUNCE, E. 1998, La productividad del mantenimiento industrial. México D.F. CECSA.
- SKF servicio. 2010, SKF bearings and mounted products. SKF
- Monchy, F. 1990. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial. Barcelona: Masson.
- DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA. Resumen ISO 18436. Concepción Chile. <http://www.dim.udec.cl/lvm/capacitacion/resumen-iso-18436/>
- Datos operacionales y de producción de la COOPERATIVA LA CRUZ AZUL.

## Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	SEMANAS														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Definir: Resumen, introducción justificación, objetivos	x														
Investigación sobre el del mantenimiento industrial, vibraciones mecánica			x												
Analizar las actividades del departamento de mantenimiento predictivo			x												
Reconocimiento de las rutas de monitoreo #1, #2, #3 y #4.			x												
Primer avance y revisión del proyecto				x											
Analizar el funcionamiento del equipo de monitoreo SKF Microlog CMXA 75						x									
Analizar el software SKF Aptitude Analyst						x									
Recopilar información obtenida al analizar funcionamiento del equipo de monitoreo y el software de recolección de datos							x								
Segundo avance y revisión del proyecto								x							
Verificar la existencia de los equipos de las rutas #1, #2, #3 y #4										x					
Ordenar y describir las actividades del Departamento predictivo											x				
Recorrido de las rutas de monitoreo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Tercer avance y revisión del proyecto											x				
Revisiones finales del Proyecto con el asesor Interno correcciones y subgerencias													x		