

TRABAJO DE DIPLOMA

TITULO: METODOLOGÍA PARA LA IMPLANTACIÓN DEL DIAGNÓSTICO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA TERMOELÉCTRICA CIENFUEGOS

Autor:

Daniel Hernández Mesa

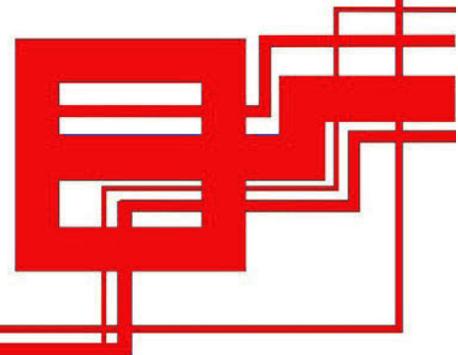
Tutor:

*Msc.Ing. Silvino Chaviano
Bernal*

Curso: 2018-2019



Pensamiento



“Cada amigo representa un mundo dentro de nosotros, un mundo que tal vez no habría nacido si no lo hubiéramos conocido.”

Anais Nin

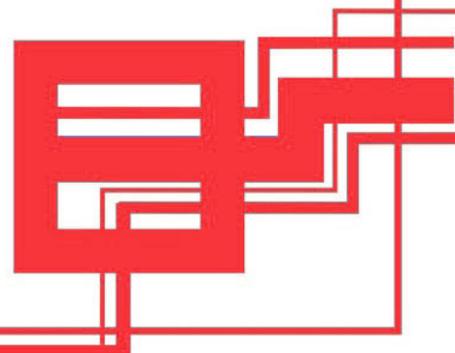
“La ciencia puede divertirnos y fascinarnos, pero es la ingeniería lo que cambia el mundo.”

Isaac Asimov (escritor y científico estadounidense)

“Si quieres ser sabio, aprende a interrogar razonablemente, a escuchar con atención, a responder serenamente y a callar cuando no tengas nada que decir.”

Johann Kaspar Lavater

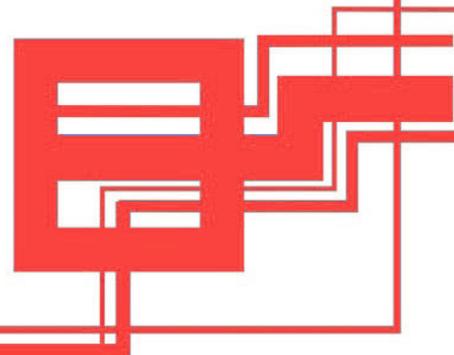
Dedicataria



A mi abuela Isabel, quien su mayor deseo siempre ha sido ver a su nieto mayor convertido en ingeniero y en momentos difíciles dudó que pudiera verlo con sus ojos: éste logro es para ti, gracias por hacer de mí, el hombre que soy hoy, gracias por ser incondicional en todo momento como toda buena abuela, gracias por caminar a mi lado estos 24 años, gracias por ser luz en mi camino, alegría en mi vida y por darme siempre tanto amor.

A mi madre Baby por ser mi mayor fuente de inspiración y sacrificio al verme siempre reflejado en su espejo en cuanto a su superación y esfuerzo para hacernos a mi hermano y a mí, los hombres que somos hoy, y porque a pesar de la distancia que durante un buen tiempo nos separó siempre se mantuvo a mi lado, gracias por el amor en todos estos años y por reafirmarme lo que una vez me dijo Dios: que mi ángel se llamaría MAMÁ, éste logro es para ti también.

Agradecimientos



A mi padre Ignacio por apoyarme siempre en momentos que lo he necesitado y por estar ahí en las buenas y las malas.

A mi otro papá Osmel quien ha sabido ser guardián infranqueable de nuestra familia, principal ejemplo a seguir, protector de mi ser máspreciado y por estar siempre a mi lado a lo largo de estos 14 años.

A mi abuelo Valentín quien a pesar de ya no estar conmigo físicamente hace algunos años siempre me impulso a ser un hombre fuerte en la vida y sé que me continúa guiando desde donde quiera que se encuentre.

A mi tía Adayne por ser mi paño de lágrimas en los momentos difíciles y principal impulsora para seguir adelante antes los problemas de la vida.

A mi tío Valentín por ser además de mi guía religioso, también por ser yo su primer hijo y a pesar de todo: apoyarme siempre incondicionalmente.

A mi tía Deisy y mi prima Yailin por estar siempre a mi lado y pendiente además de todo alrededor de mí, también a mi desarrollo estudiantil.

A mis hermanos Bryan y Joan quienes a pesar de su juventud, constituyen fuente de inspiración para superarme constantemente para que sigan siempre mi ejemplo.

A Silvino porque solamente no ha sido mi tutor y mi guía en este camino hacia el triunfo sino que, por todos sus valores hoy lo considero como uno de mis mejores amigos. Lo respeto y lo admiro entrañablemente. Siempre le agradeceré a la vida por darme la oportunidad de contar con alguien como él.

A mi amigo incondicional Víctor por cargar conmigo y yo con él todos estos años y haber logrado con su ayuda y presencia constante, este sueño hoy posible.

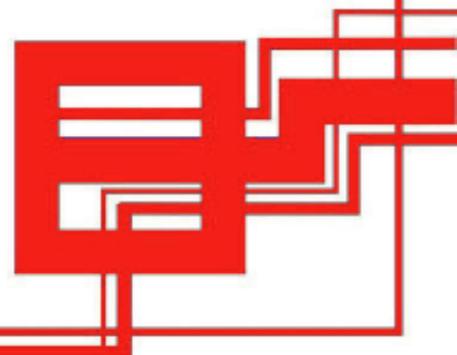
A todos mis amigos del aula especialmente Ana Flor que sin ellos esta meta sería imposible y por formar el mejor grupo de amigos que jamás he tenido.

A todo el resto de mi familia que siempre han estado pendiente de todo de mí y de la evolución en mis estudios.

A todos los profesores que han contribuido con mi formación a lo largo de estos cinco años.

A todo el que de una forma u otra en un momento determinado formó parte de este éxito en mi vida, los que están ahora y los que ya no están, gracias por todo.

Resumen



RESUMEN

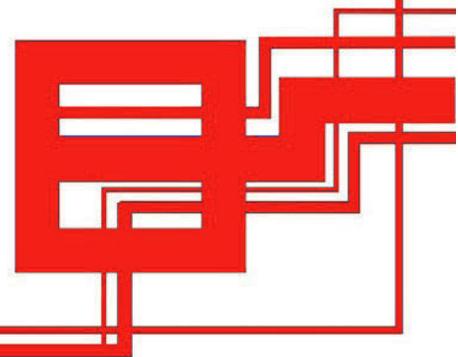
El presente trabajo se realizó en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, con el objetivo fundamental de implementar una metodología que permita implantar un diagnóstico por vibraciones a los equipos mecánicos.

La determinación de los síntomas en correspondencia a los defectos, constituye en la actualidad la base fundamental utilizada en la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos (ETE), para la prevención de averías y/o procesos más racionales del mantenimiento. La evaluación de los estados de los equipos principales mediante el control por monitoreo de parámetros como la, temperatura, corriente, voltajes, propiedades de los lubricantes, ruido, vibraciones y otros, apoyado en instrumentos y técnicas novedosas de análisis, permiten enfocar el mantenimiento hacia el método de **Mantenimiento en Base a la Condición (MBC)**, el cual ha sido aplicado a partir del año 2010 en esta empresa.

Se emplean nuevas técnicas utilizadas a nivel mundial relacionadas con la actividad del mantenimiento que de hecho Cienfuegos se encuentra entre las punteras a nivel nacional, se refieren al empleo de nuevos instrumentos de mediciones para el control de los parámetros de estado, esto permite de forma más aceptada planificar solo las paradas por reparaciones cuando es necesario, se emplean en la actualidad los sistemas de mantenimiento adecuándolos a las necesidades productivas, el costo de los repuestos, la seguridad del operario, la economía de la empresa, entre otros factores para los análisis.

Palabras claves: metodología, mantenimiento, vibraciones.

Summary



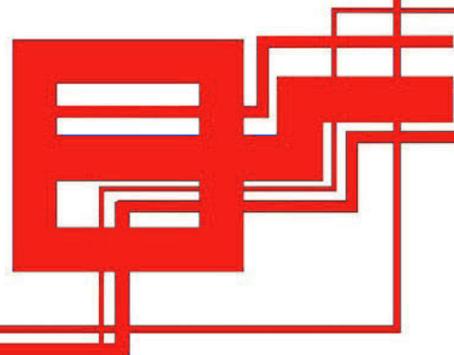
SUMMARY

The determination of the symptoms corresponding to the defects is currently the fundamental basis used in the Cienfuegos Thermoelectric Power Plant (TPP), for the prevention of breakdowns and / or more rational maintenance processes. The evaluation of the states of the main equipment by monitoring parameters such as temperature, current, voltages, properties of lubricants, noise, vibrations and others, supported by instruments and innovative analysis techniques, allow focusing maintenance towards Condition Based Maintenance (CBM) method, which has been applied since 2010 in this company.

New techniques used worldwide are used related to the maintenance activity that in fact Cienfuegos is among the leading national level, they refer to the use of new measurement instruments for the control of the state parameters, this allows more accepted to plan only stops for repairs when necessary, are currently used maintenance systems adapting them to production needs, the cost of spare parts, safety of the operator, the economy of the company, among other factors for analysis.

Keywords: methodology, maintenance, vibrations.

Índice



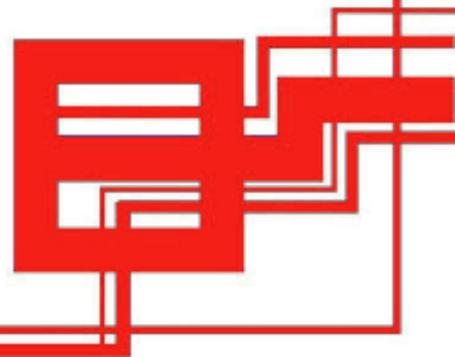
Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: Marco Teórico.....	5
1.1 La gestión del mantenimiento en la industria, resumen de conceptos generales y terminologías.....	6
1.1.1 Tipos de mantenimientos:.....	6
1.2. Conceptos y términos relacionados con parámetros de estados vibraciones.....	8
1.3. El Diagnóstico en el mantenimiento.....	11
1.4 Formas organizativas de sistemas de mantenimiento Predictivo aplicables al diagnóstico en equipos rotatorios. (Fabro, E, 2003).....	11
1.5 Diagnóstico predictivo o de comportamiento.....	12
1.6. Parámetros a controlar y equipos de mediciones aplicables al diagnóstico.....	14
1.7 Conclusiones del Capítulo I.....	16
CAPÍTULO II: Estudio de la situación actual de la gestión del mantenimiento en la Empresa Termoeléctrica. Etapas propuestas para la aplicación de una metodología para el diagnóstico sobre la base del parámetro óptimo vibraciones.....	18
2.1 Situación actual del mantenimiento en la industria.....	18
2.1.1 Formas organizativas de sistemas de mantenimiento actuales.....	19
2.1.2 Características actuales de la entidad.....	19
2.2. Estructura de la central.....	21
2.2.1. Situación actual y perspectivas de desarrollo.....	22
2.3. Metodología propuesta para el control de las vibraciones en la ETE Cienfuegos. Aspectos teóricos.....	22
2.3.1. Primera Etapa, diagnóstico del sistema organizativo del mantenimiento en la ETE Cienfuegos.....	23
2.3.2 Segunda Etapa, Clasificación de los equipos en grupos según su importancia productiva y selección del tipo de mantenimiento aplicar.....	23
2.3.3. Tercera etapa. Aplicación de la técnica de análisis dinámico para determinar lo relacionado con los equipos a seleccionar para la medición del parámetro vibraciones.....	27
2.3.4 Cuarta Etapa, Métodos y Técnicas aplicadas para la determinación del Parámetros de Estado vibraciones a controlar durante la aplicación del Diagnóstico.....	27
2.4. Identificar los elementos que intervienen en el análisis que se relacionan con el parámetro de síntoma vibraciones.....	29
2.4.1. Aplicación en la industria del parámetro vibraciones.....	29
2.4.2 Aspectos prácticos en la medición de Vibración.....	31

2.5. Tipo de mediciones,vibraciones absolutas y relativas en eje. Componentes de la dirección de las mediciones.....	32
2.5.1. Vibraciones absolutas.....	32
2.5.2. Vibraciones relativas en eje.....	33
2.6. Técnicas para medición y análisis de vibraciones	34
2.6.1 Requisitos de la medición y análisis de vibraciones.....	34
2.6.2. Herramientas para medición y análisis de las vibraciones.....	34
2.7. Normas de vibraciones ISO 10816/96 vibraciones absolutas y relativas evaluación de la severidad de las vibraciones.	38
2.7.1. Zonas de evaluación de acuerdo a la norma DIN ISO 7919:.....	41
2.7.2. Algunos criterios para Medición y Evaluación	41
2.7.3. VALORES PATRONES Y VALORES BASES DE FRECUENCIA.....	41
2.8 Conclusiones del Capítulo II:	42
CAPITULO III. Aplicación práctica de los métodos y técnicas del procedimiento evaluativo para la medición del parámetro de síntoma vibraciones en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.....	44
3.1 Primera etapa, diagnóstico del sistema de mantenimiento actual en la ETE Cienfuegos.....	44
3.1.1 Situación técnica organizativa del mantenimiento en la ETE de Cienfuegos, antes de la aplicación de las nuevas técnicas para el diagnóstico del estado de los Equipos. (Chaviano,S, 2004)	45
3.2 Segunda etapa. Categorización y selección del tipo de mantenimiento a aplicar en equipos de planta. (Jeira& Gibson,2004)	46
3.3. Tercera etapa. Aplicación de la técnica de análisis dinámico para determinar lo relacionado con los equipos a seleccionar para la medición del parámetro vibraciones.	47
3.4. Cuarta etapa. Métodos y técnicas aplicadas para la metodología mediciones de vibraciones.	48
3.4.1. Identificación de los puntos de mediciones. desarrollo practico	48
3.4.2. Desarrollo práctico de la Matriz de Falla y Matriz de Parámetro Óptimo.	53
3.4.3. Selección de los Límites de Severidad Condenatorios de los parámetros óptimos a controlar.	56
3.5. Quinta etapa. Sistema evaluativo de la gestión de la calidad en equipos rotatorios.....	57
3.5.1. Ejemplo de evaluación del mantenimiento a equipos roto dinámicos con datos reales tomados después del mantenimiento.....	57
3.5.2Análisis y medición del nivel total de la vibración y de la frecuencia de fallas.	66
3.5.3 Análisis de espectral en la magnitud del desplazamiento, la velocidad y la aceleración en dependencia de valores de su frecuencia. (Diaz,S,1994).....	66

3.5.4 Normas de vibraciones ISO ISO 10816/96 vibraciones absolutas.....	69
3.5.5. VALORES PATRONES Y VALORES BASES DE FRECUENCIA.....	73
3.6 Conclusiones del capítulo III:.....	74
CONCLUSIONES GENERALES.....	76
RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS	83
Unidad Japonesa IV.....	94
Unidad Japonesa IV.....	97
Unidad Japonesa IV.....	99

Introducción



INTRODUCCIÓN

La tecnología utilizada en la actividad eléctrica se ha convertido en un factor de alto nivel y confiabilidad. Esta lleva implícito un elevado costo, el cual debe evitarse que alcance niveles aún mayores, y esto se logra cuando el costo de mantenimiento disminuye, sin dejar de garantizar la disponibilidad de los activos productivos. Para ello se hace necesario un mantenimiento organizado, eficiente y desarrollado que garantice a un costo competitivo la disponibilidad de sus activos productivos.

El mantenimiento, mundialmente reconocido como un elemento fundamental para incrementar la competitividad industrial en un escenario de mercados globales, ha emergido como una sofisticada disciplina que combina técnicas de gestión, organización y planeamiento con aplicaciones ingenieriles de avanzada, garantizando la disponibilidad, funcionalidad y conservación del equipamiento, siempre que se aplique correctamente, a un costo competitivo.

La inserción, en Cuba de las industrias termoeléctricas dentro del desarrollo actual en cuanto a novedosas técnicas y sistemas de mantenimientos, más que un lujo constituye una necesidad por cuanto la economía del país depende en gran medida en la actualidad de la búsqueda de la eficiencia económica, que solo se logra con la calidad del servicio de energía, para esto la eficiencia con que puede trabajar la industria está estrechamente relacionada con la actividad de mantener la disponibilidad de los equipos, en parámetros altos.

El desarrollo industrial de la generación eléctrica, en el territorio de Cienfuegos, cada día se vuelve más competitiva. Para alcanzar este objetivo, se trabaja en el mejoramiento de su disponibilidad y de su confiabilidad como única forma de reducir los costos y aumentar su eficiencia, como una de las tareas prioritarias de toda gran industria moderna.

Se emplean nuevas técnicas utilizadas a nivel mundial relacionadas con la actividad del mantenimiento que de hecho Cienfuegos se encuentra entre las punteras a nivel nacional, se refieren al empleo de nuevos instrumentos de mediciones para el control de los parámetros de estado, esto permite de forma más aceptada planificar solo las paradas por reparaciones cuando es necesario, se emplean en la actualidad los sistemas de mantenimiento adecuándolos a las necesidades productivas, el costo de los repuestos, la seguridad del operario, la economía de la empresa, entre otros factores para los análisis.

Sin embargo, ante la evidencia de una real introducción y aplicación Mantenimiento Basado en la Condición como proyección objetivo de la entidad, sobre la base del diagnóstico de estado

donde se emplea el control de los cambios de parámetros de síntomas, se ha logrado un control más efectivo de la predicción de los defectos que generan averías, siendo significativo las mediciones de las vibraciones como parámetro de estado óptimo según se asegura en trabajos realizados por denominaciones de causas efectos en los sistemas y equipos de la entidad.

Aunque existe un trabajo notable de infraestructura, soporte para la ejecución de mantenimiento a saber, como son: documentación técnica y organización del sistema de mantenimiento, existencia de un personal altamente calificado y sobre todo una base de datos con resultados prácticos adecuados. El número de averías se logra reducir, a pesar de que en muchas ocasiones no se le da a la actividad de diagnóstico la importancia que requiere desoyendo las orientaciones técnicas que del grupo central demandan mantenimiento. Teniendo en cuenta lo anterior y con la idea de que el personal de diagnóstico se está renovando por terminologías de edad, se requiere de una metodología practica para la aplicabilidad del diagnóstico por vibraciones, que sirva como quía para mantener y mejorar lo logrado.

Lo anterior constituye la **situación problemática** que identifica la presente investigación.

Basado en los aspectos abordados se plantea el problema de investigación de la misma.

Problema de investigación

¿Cómo Establecer una metodología para la medición por vibraciones en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos?

El **Objetivo General** de la investigación es:

Establecer una metodología para la medición por vibraciones en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Para el cumplimiento de este objetivo es necesario llevar a cabo los siguientes **objetivos específicos**:

1. Caracterizar el estado de la ciencia en el tema objeto de estudio mediante una recopilación bibliográfica.
2. Desarrollar una metodología integradora válida a aplicar en cualquier sistema de diagnóstico por vibraciones a sistemas rotatorios.
3. Proponer la aplicación práctica de la metodología sobre las bases de reordenamiento del sistema de mantenimiento en base a la Condición, en la empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Preguntas de investigación

- ¿Cómo relacionar los pasos necesarios para aplicar una metodología sobre la base de prácticas desarrolladas con el sistema de monitoreo de vibraciones para el diagnóstico?
- ¿Cómo se efectúa una medición en un equipo mecánico?
- ¿Existe algún precedente de una metodología para diagnóstico por vibraciones?
- ¿Es factible técnico-económicamente la aplicación del diagnóstico con el uso del parámetro de vibraciones en las mediciones.

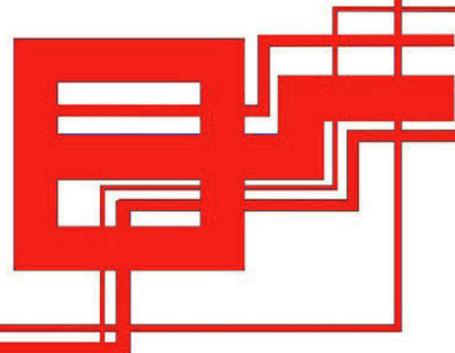
El trabajo queda estructurado de la siguiente forma:

En el **Capítulo I** se desarrolla el marco teórico referencial que aborda aspectos relacionados con los conceptos y términos relacionados con la actividad del mantenimiento y con parámetros de estados de vibraciones, teniendo como soporte la literatura científica que aborda la problemática desde el punto de vista teórico-práctico.

En el **Capítulo II** se realiza la caracterización de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Se expone el procedimiento propuesto para el desarrollo de la investigación y se relacionan las tendencias a nivel Nacional y Mundial de los sistemas organizativo de mantenimiento, y como toma un lugar preponderante dentro de la Gestión del mismo, la terminología mantenimiento por diagnóstico en todas sus posibles aplicaciones en dependencia del desarrollo de nuevas y complejas tecnologías a utilizar.

En **Capítulo III** se presentan los resultados relacionados con la aplicación del procedimiento seleccionado para la implantación del diagnóstico por vibraciones en la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos.

Capítulo 1



CAPÍTULO I: Marco Teórico

Cada especialidad técnica requiere términos propios para expresar sus ideas debido a que el empleo de términos de uso general puede conducir a ambigüedades, o simplemente, porque los términos utilizados con anterioridad en otras ramas no recogen o especifican las características deseadas y no pueden por ello ser directamente asimilados. Por ello en la práctica se hace habitual el uso espontáneo de muchos términos con un significado específico que si bien es lícito establecerlos convencionalmente, requieren ser previamente definidos para que sean interpretados correctamente.

Atendiendo a una adecuada comprensión del presente trabajo, se relacionan a continuación los términos más frecuentes utilizados en la actividad del mantenimiento y el diagnóstico sobre la base del parámetro síntoma vibraciones, con una breve definición del significado que tendrán. Otras explicaciones conceptuales se exponen después de la relación como complemento.

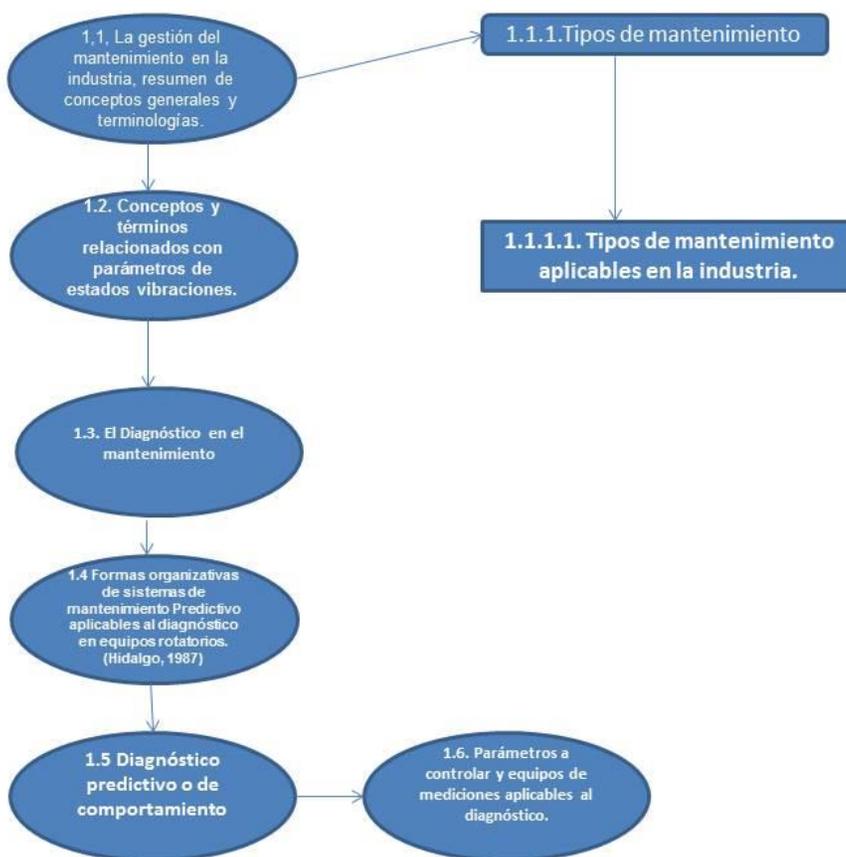


Figura 1.1: Hilo conductor. Fuente: Elaboración propia.

1.1 La gestión del mantenimiento en la industria, resumen de conceptos generales y terminologías.

Los conceptos generales y terminologías relacionadas con la gestión del mantenimiento, el diagnóstico y las reparaciones se evidencian a continuación.

Mantenimiento, es el conjunto de técnicos o tecnologías que aseguran la correcta utilización de edificios e instalaciones y el continuo funcionamiento de la maquinaria para conseguir a un costo competitivo la disponibilidad de los activos. Por lo que se puede decir que son todas las acciones necesarias para que un ítem sea conservado o restaurado de modo tal que permanezca de acuerdo con una condición específica.

1.1.1 Tipos de mantenimientos:

Mantenimiento reactivo (contra averías), es todos los servicios ejecutados a los equipos con fallos o defectos, se puede definir como la actividad humana desarrollada sobre los recursos cuando como consecuencias de alguna falla han dejado de prestar los servicios esperados.

Mantenimiento Preventivo Planificado, son todos los servicios de inspección sistemática, ajustes, conservación y eliminación de defectos que contribuyan a evitar averías. El **MPP** puede ser según recomendaciones del fabricante, medición de parámetros de síntomas y basado en la fiabilidad.

Mantenimiento Predictivo, son todos los servicios de inspección sistemática que se realizan, procurando prever, predecir qué es lo que puede ocurrir a un recurso y (o) a su servicio, con vistas a entonces actuar preventivamente y evitar las acciones correctivas. El mantenimiento predictivo puede ser: predictivo puro, por condición y preventivo - predictivo

Mantenimiento Total Productivo, este mantenimiento también llamado autónomo, es una filosofía que combina la calidad, el mantenimiento y la producción, con el simple propósito de disminuir los costos, parte de la aplicación del auto mantenimiento, haciendo partícipe al operario, tanto de todos los problemas técnicos como de las soluciones de estos, haciendo posible un trabajo eficiente

Sistema Alterno o Flexible de Mantenimiento.

Es importante resaltar el hecho de que carece de fundamento técnico, económico y funcional tratar de aplicar el mismo tipo de sistema de mantenimiento a todas las máquinas de una fábrica, por consiguiente se debe establecer cuál debe ser el sistema de mantenimiento a aplicar a cada máquina y (o) tipos de máquinas, e incluso en una misma máquina. Todo el

anterior expuesto justifica el hecho de que el sistema organizativo de mantenimiento debe ser un **sistema de mantenimiento alterno o flexible**.

1.1.1.1 Tipos de mantenimiento aplicables en la industria. El diagnóstico y su relación con el mantenimiento preventivo planificado.

De hecho el diagnóstico y el monitoreo generan información, la cual puede ser utilizada con mayor o menor eficiencia dependiendo de la estructura organizativa del sistema de mantenimiento. Tal es la importancia de este vínculo, que más del 50 % del ahorro que se puede lograr mediante la utilización de las técnicas de diagnóstico, todo lo cual justifica el análisis integral de la relación entre el sistema de mantenimiento utilizado y los métodos y técnicas de diagnóstico.

En la Figura 1.2 a continuación, aparece de manera sintetizada la tendencia actual de las formas organizativas del sistema de mantenimiento a aplicar en los diferentes sistemas y equipos de la industria.

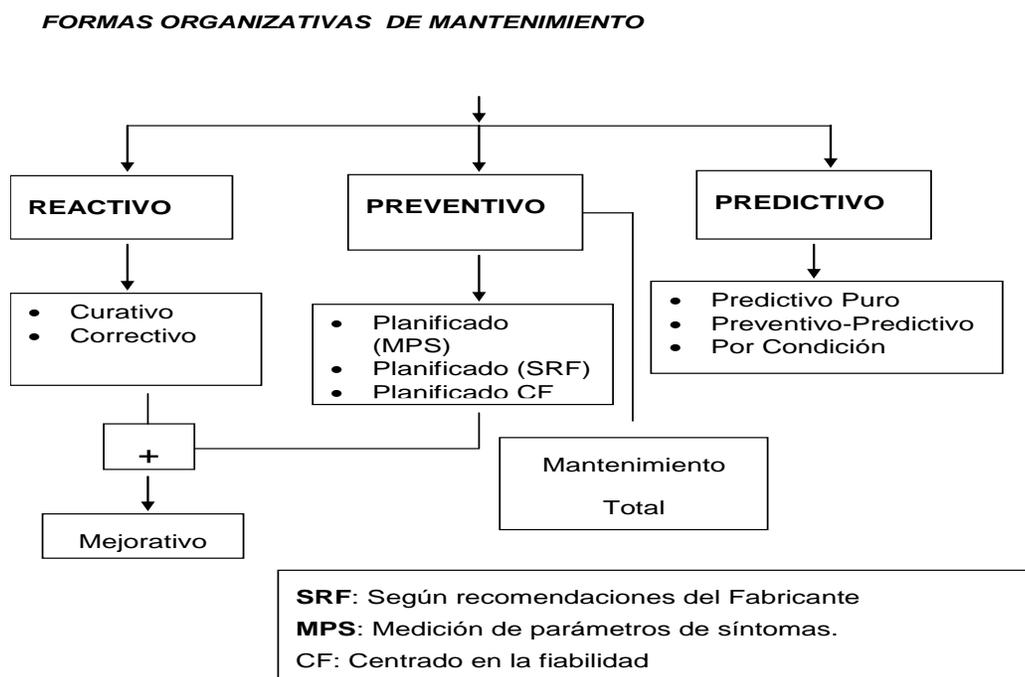


Figura 1.2: Formas organizativas de Mantenimiento. Fuente: (Díaz,S,1994)

El Mantenimiento Flexible o Combinado (SAM), (Leiva, D, 1996) como su nombre lo indica, consiste en la combinación armónica de los diferentes sistemas de mantenimiento a partir de los requerimientos que impone la explotación del parque de máquinas analizado. Es importante el hecho de que **carece de fundamento técnico, económico y funcional**, tratar de aplicar el mismo sistema de mantenimiento a todas las máquinas de una fábrica. Se debe además

resaltar que la característica principal de todas las formas organizativas avanzadas del mantenimiento es que se basan en el conocimiento y evaluación del estado real de la máquina objeto de análisis.

Como se puede observar, en la Figura 1.2 se presentan las diferentes variantes que puede adoptar los sistemas de mantenimiento en la industria atendiendo a las características técnicas propias de cada equipo que van desde su construcción, costos de mantenimiento, importancia económica en los procesos productivos, entre otros.

El mantenimiento Reactivo, se divide en dos facetas el Curativo y el Correctivo, que en ambos casos su principio es explotar la máquina sin interrupción hasta la rotura imprevista.

El mantenimiento Preventivo Planificado, parte de la ejecución preventiva de actividades, las cuales en general se planifican en el tiempo a partir de un ciclo teórico de desgaste, es decir es un grupo de servicios de mantenimiento repetitivos como, las revisiones, cambios de piezas, lubricación, otros. Encaminados a prevenir las roturas impredecibles. Esta forma organizada de realizar el mantenimiento puede ser: Según Recomendaciones del Fabricante, planificado según estudios estadísticos (Basado en la Fiabilidad), y atendiendo a la variación dinámica de sus Parámetros de Síntomas.

El mantenimiento Predictivo, cuando se utiliza un nivel de instrumentación superior en el MPS, es posible identificar los defectos en su etapa incipiente así como sus causas, con lo cual se puede predecir el comportamiento de la máquina, de ahí su nombre de mantenimiento Predictivo. Esto permite preparar adecuadamente y ejecutar solo el mantenimiento donde lo requiere el dispositivo. Dentro de este tipo de mantenimiento se destacan: Mantenimiento por condición, este sistema emplea la variante de un proceso de monitoreo y diagnóstico optimizado. Mantenimiento Preventivo Predictivo, se sustenta sobre el principio que todos los elementos que componen un dispositivo no son posibles de diagnosticar al existir defecto que requieren de una acción preventiva.

El mantenimiento Total Productivo, es una nueva filosofía del mantenimiento que lo considera autónomo, la misma combina la calidad, el mantenimiento, y la producción, es decir hace partícipe al operario tanto de los problemas técnicos como de su solución. Cambiando el concepto de personal de operación y de mantenimiento por un grupo de trabajo.

1.2. Conceptos y términos relacionados con parámetros de estados vibraciones.

La vibración es un parámetro de estado óptimo para el mantenimiento por diagnóstico.

Vibración, movimiento de un cuerpo o sistema por la acción de fuerzas o influencia externas, caracterizada por pequeñas desviaciones o desplazamiento con respecto a una posición de referencia en el espacio determinada por su estado de equilibrio estático, que se suceden en forma continua. Su desarrollo en tiempo y espacio depende de las propiedades físicas del cuerpo o sistema, de las características de la acción excitadora y de otras eventuales influencia externas.

En la práctica técnica se estudia como la proyección del movimiento en un eje de referencia dado por la dirección de medición y con el uso de equipos e instrumentos especiales.

Dirección de la medición, es la dirección definida por la posición instantánea, del eje de sensibilidad del transductor del equipo de medición según el diseño del fabricante, en el momento de efectuar la medición.

Por vibración vertical, se entiende la componente de la vibración obtenida, mediante la medición realizada en la dirección vertical. Se simboliza con la letra V.

Por vibración Horizontal, se entiende la componente de la vibración obtenida, mediante la medición realizada en la dirección horizontal, y perpendicular al eje de giro del equipo, para los casos de que el mismo sea horizontal. Se simboliza con la letra H.

La vibración radial, sustituye en los términos de vibraciones verticales y horizontales en las mediciones efectuadas en equipos con eje de rotación vertical, son perpendiculares al eje de rotación al igual que las vibraciones transversales. Se simboliza con la letra A.

La vibración axial, es la componente de la vibración obtenida mediante la medición realizada, paralela con el eje de rotación del equipo. Se simboliza con la letra A.

El plano de la medición, no es más que el lugar geométrico del equipo, determinado por un plano imaginario transversal, es decir, perpendicular al rotor, y en el cual yacen las direcciones y los puntos de aplicación para las mediciones transversales (V,H,A) de las vibraciones.

Amplitud, es el valor máximo que alcanza cualquiera de las magnitudes que definen el movimiento vibratorio (desplazamiento, velocidad aceleración), durante un ciclo, ya sea en sentido positivo o negativo a partir del valor cero en la onda que representa su variación en función del tiempo.

Frecuencia, es la medida de la cantidad de ciclos completos que acontecen en un intervalo de tiempo específico.

Desplazamiento, Es una cantidad vectorial que describe el cambio de posición de un cuerpo o partícula con respecto a un sistema de referencia. Es decir se trata de la medida instantánea de la distancia entre el punto de medición y su posición de referencia. Su unidad de medida es el $\mu m = 0.001 \text{ mm}$.

Velocidad, Es un vector que especifica la derivada del desplazamiento en el tiempo. Su unidad de medida es en mm/s.

Velocidad Efectiva, es el valor medio cuadrático (Valor Efectivo o **R.M.S**) de la velocidad de la vibración durante un ciclo. Es una magnitud de gran valor criterial, ya que caracteriza la energía de la vibración y sus efectos de fatiga sobre los materiales. Por estas razones se utiliza cada vez más y es la magnitud elegida por las recomendaciones de las Normas ISO para valorar el estado de las vibraciones de los dispositivos en base a su "**Intensidad**" y como es más frecuente en la literatura Inglesa su "**Severidad**"

Aceleración: Es un vector que especifica la derivada de la velocidad en el tiempo. Su unidad de medida es mm/seg^2

Fase, Define la posición de un elemento en un momento dado con referencia a un punto fijo a otro elemento. Se utiliza para establecer la situación angular de los vectores que representan las vibraciones entre si y sus variaciones entre si. Se simboliza con la letra Φ .

Frecuencia, es la medida de la cantidad de ciclos completos que acontecen en un intervalo de tiempo específico su unidad de medida es el (Hz o RPM).

Vibraciones de Frecuencia Rotacional (1N), son las vibraciones cuya frecuencia corresponde, en ciclos por segundos, a la velocidad de rotación instantánea del equipo.

Vibraciones de baja frecuencia, son las vibraciones cuya frecuencia es menor que la frecuencia nominal o de operación.

Vibraciones de alta frecuencia, son las vibraciones cuya frecuencia es mayor que la frecuencia nominal o de operación.

Diagnóstico: Es la ciencia encargada de determinar por los síntomas, el estado y el carácter de una posible rotura, envejecimiento, etc. de un equipo, sistema o proceso a partir del análisis y procesamiento de sus datos de pruebas, de fallas e históricos.

1.3. El Diagnóstico en el mantenimiento

La moderna tecnología proporciona una serie de métodos que permiten una evaluación exterior de las condiciones de máquinas sin desmontajes previos, no afectando así ni su funcionamiento normal, ni el proceso productivo. El método de análisis de parámetros de estado entre otros las vibraciones, ha demostrado ser el más efectivo en estos casos. El mismo junto con el monitoreo de otros parámetros específicos de la máquina, constituyen la base del mantenimiento Predictivo y (MPP) según estado, en equipos rotodinámicos.

1.4 Formas organizativas de sistemas de mantenimiento Predictivo aplicables al diagnóstico en equipos rotatorios. (Fabro, E,2003)

Como la actualidad, el vocablo diagnóstico, ha ganado popularidad en nuestro país, en los círculos relacionados con la actividad de centrales eléctricas y plantas térmicas en general, resulta oportuno y necesario, aclarar determinados aspectos propios de esta técnica para evitar así interpretaciones facilistas o erróneas en cuanto a sus posibilidades, exigencias y formas de aplicación.

-La determinación certera de las causas de una falla y las medidas a aplicar para evitar su reproducción o limitar su incidencia.

-La concreción de los volúmenes de trabajo de mantenimiento verdaderamente necesarios para garantizar máxima disponibilidad del equipo con óptima eficiencia y confiabilidad, estableciendo el momento más adecuado para ejecución.

-Evaluación de la vida útil remanente de los diferentes agregados.

En resumen los objetivos del diagnóstico, para el logro de los cuales resulta imprescindible tener en cuenta:

-La creación de un sistema informativo amplio de toma de datos, clasificación y procedimiento estadístico de los mismos.

-La caracterización sistemática de todo un universo de fallas.

-El control periódico del estado de los equipos y sistemas.

Podemos establecer entonces, la existencia de dos ramas o vertientes del diagnóstico, que se relacionan y completan mutuamente, estas son:

-Diagnóstico de fallas o averías.

-Diagnostico predictivo o de comportamiento.

Diagnóstico de fallas o averías:

No existe probablemente en la industria, situación más desagradable que aquella en la que, luego de producirse una falla inesperada en un equipo fundamental, se cuenta solo con informaciones vagas y muchas veces contradictorias de los operadores y unos pocos fragmentos de material sucio para enfrentar las interrogantes de, por que se produjo la avería y qué hacer para que no ocurra de nuevo interrumpido el proceso productivo.

Lo anterior ejemplifica claramente la necesidad de crear todo un sistema técnico-organizativo alrededor de esta problemática como única vía para garantizar su solución racional.

Los objetivos básicos del diagnóstico de falla o avería:

- Determinación de las causas de una falla o avería.
- Determinación de las medidas a adoptar para evitar la repetición de una falla o atenuar sus efectos en caso de que lo primero no sea posible.

Requiere de la integración de los siguientes elementos:

- Un sistema de toma de datos y obtención de componentes del sistema u equipo que fallan.
- Pruebas de materiales fallados a nivel de laboratorio de estudios de materiales.
- Caracterización y clasificación de fallas para su utilización como herramienta fundamental en el trabajo de diagnóstico.
- Procesamiento estadístico de todas las fallas ocurridas.
- Análisis de cada falla con aplicación de los resultados a la implantación casuística de medidas dirigidas a reducir la avería al entorno técnica y económicamente permisible.

1.5 Diagnóstico predictivo o de comportamiento

Las exigencias a la actividad de mantenimiento de los equipos de plantas en general, están determinadas por lo general, están determinadas por las condiciones económicas imperantes, caracterizada en el mundo actual por la escasez creciente de los portadores energéticos tradicionalmente, el alto costo de las tecnologías, los equipos, las piezas de repuesto y los materiales, así como por la necesidad de incremento constante de la producción industrial.

Las premisas anteriores, imponen la aplicación al mantenimiento, de técnicas que garanticen de una mayor disponibilidad, eficiencia y confiabilidad en los equipos.

Del análisis al muy difundido sistema de mantenimiento preventivo, con sus volúmenes de trabajo tipificados y establecidos para ser ejecutado en intervalos de operación predeterminados, se concluye:

-En la medida en que se incrementan los volúmenes de trabajo a ejecutar, aumentan, el tiempo de permanencia fuera de servicio, el consumo material, los recursos humanos especializados que se requieren y en general los costos.

-El incremento excesivo de los volúmenes de trabajo de mantenimiento, no garantiza sin embargo la imposibilidad de fallas imprevistas, en cualquier de los agregados reparados.

-Mayores volúmenes de trabajo, aumenta también las posibilidades de falla una vez restituido el equipo al servicio debido a los riesgos implícitos en los grados de desarme.

-Tanto los volúmenes de trabajo tipificados como el momento de su ejecución son determinados por los fabricantes a partir de experiencias de laboratorio o de campo que se procesan para calcular valores medios cuya aproximación al comportamiento más probable depende del tamaño y las características de la muestra utilizada y que resultan inevitablemente antieconómicos y hasta riesgo para aquellos equipos que durante su vida útil se aparten de la media establecida.

Un sistema de mantenimiento técnico y económicamente y eficaz, deberá basarse en elementos objetivos que indiquen con certeza en que parte del equipo y en qué momento trabajar, logrando así la mínima interrupción del servicio, en el entorno más conveniente y con preparación requerida, que representara los recursos materiales y humanos verdaderamente necesarios.

Tal sistema deberá ser además lo suficiente flexible como facilitar su aplicación casuística obviando de esta forma generalizaciones que nieguen la individualidad de comportamiento de los equipos.

La incorporación de las técnicas de diagnóstico predictivo a la actividad de mantenimiento industrial, permite alcanzar los objetivos expuestos, sobre la base de que todo equipo o agregado antes de fallar, manifiesta síntomas de ser detectados posibilitan la preparación adecuada para prevenir una situación de avería”.

Las posibilidades reales de detectar todos y cada uno de los síntomas y además con anticipación suficiente para estudiar su evolución adoptando las medidas necesarias según el caso, constituyen las principales limitaciones a la aplicación técnica.

El diagnóstico predictivo o de comportamiento se orienta entonces concretamente a:

- Determinación de los volúmenes de trabajo de mantenimiento verdaderamente necesarios.
- Determinación del momento técnico y económicamente más adecuado para la ejecución de los trabajos de mantenimientos.
- Evaluación de la vida útil remanente de los distintos agregados.

Debiendo integrarse para ello los siguientes elementos:

- Un sistema de medición periódica de parámetros operacionales seleccionados y de ejecución de pruebas de comportamiento.
- Un sistema de control periódico de los materiales de puntos seleccionados.
- Un sistema de procesamiento estadístico de los resultados de pruebas y mediciones.
- Un método de evaluación de vida útil remanente.
- El análisis sistemático de los agregados fundamentales del equipo con vista a la determinación predictiva del momento más probable de operación antieconómica o límite, y de los volúmenes de trabajo verdaderamente necesarios para restituir valores normados de eficiencia y confiabilidad.

1.6. Parámetros a controlar y equipos de mediciones aplicables al diagnóstico.

Si el objetivo fundamental de diagnóstico es:

- ✓ Conocer el estado o condición de sus máquinas.
- ✓ Detectar en etapas incipientes los defectos en progreso.
- ✓ Definir las causas que los provocan y minimizarlas o eliminarlas oportunamente.
- ✓ Alargar la vida útil de sus máquinas

Entonces se deben mencionar las tecnologías predictivas para diagnóstico más empleadas en la industria. Que han favorecido el trabajo actual del mantenimiento en la industria, como las que relacionamos a continuación.

1. Ensayos ópticos (endoscopía, microscopios, etc).
2. Medida de desplazamientos, expansión y parámetros de proceso.
3. Ensayos no destructivos (ultrasonidos, rayos X, dureza, espesores otros).
4. Medición y análisis de Vibraciones.
5. Ensayos eléctricos a transformadores.
6. Ensayos eléctricos a motores.
7. Tribología. Lubricantes
8. Termografía.
9. Inspección visual.

Parámetros fundamentales a monitorear en un sistema válido para un diagnóstico, atendiendo a los ensayos no destructivos indicados anteriormente:

Presiones de trabajo, temperaturas, vibraciones, voltajes y corrientes de trabajo, flujo, propiedades del lubricante (viscosidad, % de agua), ruido, resistencia eléctrica u otros.

Se debe hacer mención a la técnica subjetiva de los cinco sentidos, que aunque no requiere de grandes técnicas e instrumentos de mediciones, aporta al diagnóstico valiosas informaciones, relacionadas con las condiciones de los parámetros de estado en máquinas y sistemas, por lo que podemos resumir.

No por ser la menos costosa es la menos importante. Son incalculables los defectos o funcionamientos anormales que pueden ser detectados durante la inspección subjetiva y sistemática de sus máquinas.

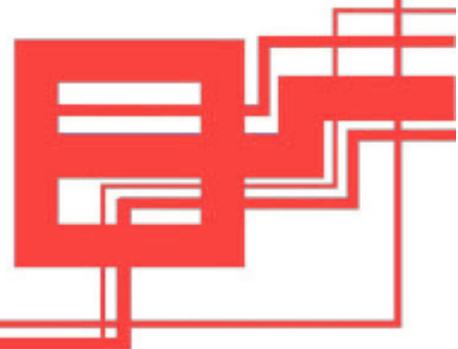
Con el tiempo, el hombre conocerá los sonidos, la temperatura, las vibraciones, los parámetros de procesos normales de sus máquinas. Es decir, con sólo tocar las zonas cercanas a los apoyos, el cuerpo del motor, observar los niveles de aceite, su coloración y apariencia, leer los instrumentos de medición que están instalados en las máquinas, observar los sistemas de sellajes, el hombre puede tener información preliminar de la condición de las máquinas. La inspección subjetiva permite además, detectar riesgos de accidentes e incorrectas prácticas de mantenimiento.

1.7 Conclusiones del Capítulo I

Al finalizar este capítulo se concluye:

1. Se ha desarrollado una breve introducción de los conceptos generales y terminologías relacionadas con la gestión del mantenimiento, diagnóstico, vibraciones y las reparaciones a partir de las mediciones de las vibraciones, que permiten desde el punto de vista teórico, tener el conocimiento necesario para poder establecer en la práctica los pasos necesarios para establecer una metodología, que permita ordenar y orientar con un mejor desenvolvimiento, lo relacionado con las mediciones del parámetro óptimo vibraciones. Y a la vez permiten hacer más admisible la comprensión de la metodología propuesta llevada a la práctica, en el capítulo que sigue.
2. Dentro de los conceptos y terminologías asociadas al Parámetro Vibraciones como base para el desarrollo del método comparativo hacia la evaluación de estado de los sistemas propuestos en este trabajo, se destacan: magnitudes de la vibración, ubicación de los Puntos de Prueba, dirección de las mediciones, análisis de frecuencia como definitoria de las causas de vibraciones y análisis a partir de la fase (síntoma de la posible causa raíz de defectos).

Capítulo 2



CAPÍTULO II: Estudio de la situación actual de la gestión del mantenimiento en la Empresa Termoeléctrica. Etapas propuestas para la aplicación de una metodología para el diagnóstico sobre la base del parámetro óptimo vibraciones

A lo largo de este capítulo se relacionan las tendencias a nivel Nacional y Mundial de los sistemas organizativo de mantenimiento, y como toma un lugar preponderante dentro de la Gestión del mismo, la terminología mantenimiento por diagnóstico en todas sus posibles aplicaciones en dependencia del desarrollo de nuevas y complejas tecnologías a utilizar. Se muestra además algunos de los métodos y técnicas de trabajo que aparecen en la “Metodología para la Introducción del Diagnóstico Integral para Centrales y Subestaciones Eléctricas” (Fernández, 1998), los cuales son aplicados durante el desarrollo del diagnóstico según estado, a aquellos equipos que desde el punto de vista funcional y por su importancia en el proceso, son factible de aplicarles este tipo de técnicas, ensayos dinámicos no destructivos por medición de vibraciones.

A partir una metodología adecuada (Murdoch, 1994), se realiza un sistema que permite la división de los equipos según sus características y el grado de indisponibilidad que los mismos pueden aportar en un momento dado. A partir de este estudio se propone aplicar una metodología que contienen los pasos y conocimientos que se necesitan para la aplicación de un sistema de diagnóstico sobre la base del parámetro vibraciones. Método que permitirá reducir el índice de averías con su consiguiente ahorro en los costos directos e indirectos del mantenimiento, partiendo de la cuantificación de la gestión de la calidad de los equipos y sistemas, durante la explotación y mantenimiento.

2.1 Situación actual del mantenimiento en la industria.

La moderna tecnología proporciona una serie de métodos que permiten una evaluación exterior de las condiciones de máquinas sin desmontajes previos, no afectando así ni su funcionamiento normal, ni el proceso productivo. El método de análisis por vibraciones ha demostrado ser el más efectivo en estos casos. El mismo junto con el monitoreo de otros parámetros específicos de la máquina, constituyen la base del mantenimiento Predictivo y (MPP) según estado, en equipos rotatorios, aplicados en la central actualmente

La práctica mundial está a favor del Mantenimiento Predictivo, reforzando en todos los casos su introducción. El mismo se hace más demandado en aquellas industrias en las cuales el personal dirigente va adquiriendo un mayor grado de cultura tecnológica y por su indiscutible contribución a la eficiencia económica de la industria, así como a la seguridad operacional de la

misma, se ha colocado en el mismo nivel de prioridad en la inversión que en el monitoreo y control del procesos tecnológicos.

2.1.1 Formas organizativas de sistemas de mantenimiento actuales.

De hecho el diagnóstico y el monitoreo generan información, la cual puede ser utilizada con mayor o menor eficiencia dependiendo de la estructura organizativa del sistema de mantenimiento. Tal es la importancia de este vínculo, que más del 50 % del ahorro que se puede lograr mediante la utilización de las técnicas de diagnóstico dependen del mismo, todo lo cual justifica el análisis integral de la relación entre el sistema de mantenimiento utilizado y los métodos y técnicas de diagnóstico. En la Figura. 1.2 Del capítulo I acápite 1.1.1.1, aparece de manera sintetizada la tendencia actual de las formas organizativas del sistema de mantenimiento a aplicar en los diferentes sistemas y equipos de la industria.

2.1.2 Características actuales de la entidad

Teniendo en cuenta los elementos abordados hasta el momento corresponde en este Capítulo caracterizar el objeto de estudio y presentar la aplicabilidad, organización de los sistemas de mantenimiento, así como el desarrollo técnico alcanzado durante la introducción del mantenimiento sobre la base del parámetro vibraciones, para determinar el acierto y veracidad de su aplicabilidad en los sistemas fundamentales en la ETE Cienfuegos.

La central termoeléctrica se localiza al oeste de Cienfuegos, en la bahía en la ensenada del inglés. La primera unidad fue la Dionisio San Román o también llamada O´Bourke que fue inaugurada el 8 de Agosto de 1949 en tierra de una finca rústica llamada Nuestra Señora de Regla perteneciente a Nicolás Castaño y Manuel de la Torre. Todo esto pertenecía a la jurisdicción de Caonao (Según Acta Consistorial 143). Actualmente fuera de servicio.

Era subsidiaria de la planta que radicaba en Prado y Dorticós. Ambas plantas eran las bases energéticas del conjunto central.

En el año 1957 se produce un acto en la planta Dionisio San Román con el objetivo de bendecir uno de sus bloques y los trabajadores deciden irse parar la producción ya que dicho acto iba ha ser llevado a cabo por un capitalista asociado al sistema energético. Después del triunfo de la Revolución comienza la ampliación del Sistema Energético Nacional.

El 6 de Julio de 1960 nuestro Comandante en Jefe dio a conocer en la OCLAE la nacionalización de la Empresa Eléctrica. El 5 de Septiembre de 1961 se le da a la antigua planta de vapor el nombre de Dionisio San Román.

La empresa consta de dos tecnologías de Fabricación Instaladas, estas son: Dos Bloques de Fabricación Checa, montadas en 1967 y 1968, con una potencia de 30 mwh cada uno, las calderas fueron fabricadas en BRNO, en la primera fábrica de construcción de calderas de Checoslovaquia. Las turbinas y generadores eléctricos son de la SKODA, estas unidades fueron desactivadas del sistemas por presentar un alto consumo especifico, estas unidades recientemente fueron descontinuadas

En la actualidad se cuenta con dos unidades de Fabricación Japonesa montadas en los años 1978 y 1979 con una potencia 158 MWH cada uno. Las calderas de diseño norteamericanas Babcock fueron montadas por la empresa Japonesa Hitachi.Ltd. La turbina, generador y una gran parte de los equipos auxiliares del ciclo son de fabricación Hitachi.Ltd al igual que la automática del bloque

Misión de la Empresa:

Generar y suministrar energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional, para garantizar la satisfacción de los requerimientos y necesidades crecientes de nuestro cliente, con un alto nivel de profesionalidad, alta cultura en la gestión de seguridad y salud de sus trabajadores, garantizando el necesario equilibrio con el entorno y el medio ambiente.

Visión:

Consolidar la entidad como la Termoeléctrica más rentable y eficaz en el ámbito nacional, exhibiendo indicadores técnicos productivos de primer nivel mundial, manteniendo y priorizando una alta cultura en la gestión de seguridad, salud y medio ambiente, todo ello alcanzado con sólidos valores, alta profesionalidad y sentido de pertenencia de los trabajadores, caracterizado además por una elevada optimización y desarrollo de los recursos humanos.

Objeto Empresarial:

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos tiene como OBJETO EMPRESARIAL aprobado: “Generar y Suministrar Energía Eléctrica”, el cual entró en vigor mediante la Resolución 785 de 2013 del Ministerio Economía y Planificación. Actualmente, la empresa cuenta con recursos humanos, medios e instalaciones que le permiten cumplimentar éste objeto.

Además de esto y teniendo en cuenta la Resolución No. 134/2013 del Ministerio de Economía y Planificación, que implementa la nueva política para la definición y aprobación de los objetos

sociales, la que plantea que el Director de la Empresa tiene la facultad de decidir sobre la realización de las actividades secundarias derivadas del objeto social de la entidad que dirige y sobre aquellas eventuales que eviten la paralización de la producción y los servicios. Pudiendo, en principio, ofrecer estas actividades a cualquier persona natural o jurídica. Partiendo de todo lo dicho hasta aquí, se aprobaron, mediante la Resolución No. 334/2013 del Director General de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, las actividades secundarias derivadas del objeto social de la entidad a prestar por esta, las cuales consistirán en:

1. Prestar servicios de consultoría en dirección y planificación de mantenimiento industrial.
2. Realizar estudios de diagnóstico industrial eléctrico, químico, mecánico y funcional de equipos y sistemas.
3. Brindar servicios técnicos, de reparación y mantenimiento a equipos estáticos y rotatorios

2.2. Estructura de la central

La estructura organizativa (ver **Anexo 1.**), se presenta acorde a las exigencias actuales del desarrollo industrial, donde pondera el mantenido con su importancia acorde a las necesidades propias del desarrollo actual, respondiendo al objetivo de garantizar al máximo la disponibilidad y la calidad en la explosión de los sistemas asociados al proceso de generación de energía.

El cumplimiento de los indicadores constituye, a partir de un sistema netamente planificado, uno de los objetivos principales en los controles de la rentabilidad, ganancia y eficiencia de la empresa, ya que están plenamente relacionados con los gastos de materia prima, el empleo óptimo de la maquinaria para una producción con calidad, con los menores gastos de materiales durante el cumplimiento de los planes productivos a corto y largo plazo.

Dentro de estos indicadores se pueden seleccionar:

- ❖ La generación bruta, El insumo, Factor de insumo, Factor de capacidad disponible, Consumo de combustible, entre otros que hacen posible que el proceso de generación sea orientado y controlado.

Por su estabilidad histórica reflejada en el comportamiento de sus indicadores, la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos se califica como una de la más eficiente del país.

2.2.1. Situación actual y perspectivas de desarrollo

En la actualidad la empresa muestra resultados que evidencian una real recuperación técnica-económica, después que en el quinquenio 1991-1995 la situación fue crítica debido sobre todo a la disminución de la capacidad de compra del país.

La empresa se propuso a partir del año 2001, entre otros, los siguientes objetivos:

- ❖ Elevar el Factor de Capacidad Disponible en un 2 % con respecto al plan.
- ❖ Garantizar el cumplimiento al 100% del programa de mantenimiento, empleando el control de la calidad.
- ❖ Mantener y mejorar la aplicación del Sistema de Mantenimiento por Diagnóstico aplicado.
- ❖ Implantar el Sistema de Gestión Ambiental que minimice el impacto en la empresa y áreas aledañas.
- ❖ Perfeccionar el Sistema de Gestión de los Recursos Humanos.
- ❖ Perfeccionar el Sistema de Gestión de Mantenimiento.

Teniendo en cuenta todo lo antes expuesto el objetivo central de este trabajo será, la creación de una metodología que permita trabajar sobre los resultados de la calidad de la explotación de los equipos, y los resultados del mantenimiento, valorados a partir del control del parámetro de estado vibraciones, respondiendo al propósito de la empresa de implantar el Sistema de Aseguramiento de la Calidad según lo establecen la familia de normas internacionales **ISO 9000**.

2.3. Metodología propuesta para el control de las vibraciones en la ETE Cienfuegos.

Aspectos teóricos.

No existe probablemente en la industria, situación más desagradable que aquella en que, se produce una falla inesperada en un equipo fundamental y posterior a esta no se conozca al menos las posibles causas por lo cual ocurrió la misma, lo anterior ejemplifica claramente la necesidad de crear todo un sistema técnico- organizativo alrededor de esta problemática como única vía para garantizar una solución racional, será pues, el objetivo central de la metodología que se propone, evitar las averías en los sistemas mediante el control de estado de los dispositivos a partir del control del parámetro síntoma vibraciones, técnica ampliamente aplicada a lo largo de estos años, durante su explotación y posterior a los mantenimientos en los mismos. Para lograr tales propósitos a partir de las experiencias acumuladas se deben seguir los pasos o etapas que se relacionan a lo largo del desarrollo de este trabajo como

metodología práctica para el control del parámetro síntoma vibraciones que sirve de guía para aquellos que practican esta técnica así como para quienes comienzan en la actividad.

2.3.1. Primera Etapa, diagnóstico del sistema organizativo del mantenimiento en la ETE Cienfuegos.

El diagnóstico (*Dunn, 2002*), de la situación del objeto de estudio debe abarcar todos aquellos aspectos de la entidad que se relacionan con el mantenimiento constituyendo uno de los pasos fundamentales destinada a esta tarea o investigación técnica, para ello es necesario aplicar herramientas de trabajo con conocidas técnicas como las que se mencionan a continuación entre otras, que permitan orientar el trabajo a la situación con necesidades de cambios.

1. Creación de un equipo de trabajo integrados por técnicos, especialistas y obreros más capaces dentro del desarrollo del mantenimiento.
2. Se realizan de ser necesarios proyectos de trabajos dirigidos al conocimiento del sistema y métodos que vamos a aplicar.
3. Determinar problemas fundamentales a partir de datos estadísticos y estudios de archivos existentes.

Durante el trabajo de equipo para el análisis se aplican las conocidas tormentas de ideas, encuestas dirigidas al tema a tratar, entrevistas, entre otros, mediante las cual se aportan las mejores experiencias en temáticas similares tratando en su caso de aplicarlas y mejorarlas. Estos trabajos realizados con anterioridad en la empresa han permitido la creación de un grupo de diagnóstico que abarca, temáticas como el análisis dinámico, el análisis metalográfico, el análisis eléctrico, el análisis de los lubricantes, desde el punto de vista de control y cambios de parámetros de estados asociados al diagnóstico para mantenimiento según estado.

2.3.2 Segunda Etapa, Clasificación de los equipos en grupos según su importancia productiva y selección del tipo de mantenimiento aplicar.

La categorización de los equipos (*Dunn, 2002*) constituye uno de los pasos elementales para la realización de las operaciones del mantenimiento, referidos a la organización y aplicación técnicas de diagnóstico sobre el mismo. Esta determinará el tipo mantenimiento que se debe realizar sobre cada equipo en particular. Según la importancia de los equipos la clasificación puede ser:

Muy importante o fundamental. (A).

Normales o convencionales. (B).

Auxiliares o poco principales. (C).

Los criterios de selección deben estar avalados por factores a medir en cada uno de los equipos, en la **Tabla 2.1**, a continuación se expone un método adecuado, aplicado en la clasificación de los equipos por el grado de importancia y complejidad técnica que avalan estos requerimientos.

Tabla 2.1 Guía metodológica aplicada para la clasificación de equipos y selección del tipo de mantenimiento. Fuente:(Leiva,1996).

ASPECTOS SELECTIVOS	A	B	C
1- Intercambiabilidad	Irreemplazable	Reemplazable	Intercambiable
2- Importancia Productiva	Imprescindible (50%)	Limitante (10-50 %)	Convencional (menor10 %)
3- Régimen de Operación	Continuo	Seriado	Alterno
4- Nivel de Utilización			
TD			
TH			
HDS			
	Muy Utilizado	Utilización Media	Esporádica
5-Nivel Consumo Energético	Alto (+ 20%)	Medio (5-20 %)	Bajo (Menos 5 %)
<i>ASPECTOS DIRECTIVOS</i>			
6- Complejidad del mantenimiento	Complejidad Alta	Complejidad Media	Complejidad Simple
7- Conservabilidad	Condiciones Especiales	Protegido	Normal
8- Automatización	Automático	Semi-Automático	Mecánico

ASPECTOS GENERALES						
9- Valor del Equipo				Alto	Promedio	Bajo
10- Factibilidad para el Aprovechamiento.				Mala	Regular	Buena
11- Seguridad Operación				Peligroso	Influyente	Poco Influyente
TABLA RESUMEN				Máxima Disponibilidad - Preferencia Predictivo y Preventivo fuerte que evite eventualidades. - Frecuencias altas de Inspección y revisiones engrases Limpiezas.	Reducir Costos sin perder disponibilidad. - No se usa Predictivo solo acciones baratas. - Se usa preventivo en todas su gamas: servicio diario, trabajo periódico etc. - Frecuencia media	Reducir al mínimo los costos de mtto - No se usa el Mtto Predictivo. - Se aplica el preventivo con baja frecuencia en engrase, limpieza etc
Equipo _____						
Parámetro	A	B	C			
1-						
2-						
3-						
4-						
5-						
11-						

<p>Total</p>			<p>Ajuste Verificación de inspecciones, de dimensiones, medición y cambios de piezas. revisiones, engrases, limpiezas y consumibles.</p> <p>- Sé evita el Correctivo.</p> <p>- Máxima Prioridad si ocurre un Fallo,</p> <p>- Registro y seguimiento del Fallo.</p>	<p>- Mas libertad al correctivo en dependencia de la holgura de la máquina.</p>	<p>- Abundante el mantenimiento correctivo pues existe gran holgura.</p>
---------------------	--	--	--	---	--

Fuente: (Leiva,1996)

Donde

TH-Turnos por horas.

TD-Turnos por días.

HDS-Horas del día solamente

Para la aplicación de este procedimiento se toman todos los equipos de planta y se evalúan atendiendo a los 11 puntos evaluativos, (este sistema se aplica a partir de trabajo en equipos o el muestreo con operarios de mayor experiencia, además de tomas de datos propios de archivos existentes), que van desde Aspectos Selectivos, Aspectos Directivos y Aspectos Generales. Dándose una puntuación en las columnas A, B y C según se corresponda de manera que al evaluar resultan clasificados los diferentes equipos según su importancia productiva en:

Grupo I o A: Muy importante o fundamental.

Grupo II o B: Normal o convencional.

Grupo III o C: Auxiliares o poco principales.

Este sistema permite además seleccionar el tipo de mantenimiento más conveniente para el grado de complejidad de los dispositivos.

Tabla 2. Modelo para la Selección de equipos.

No.	Nombre del Equipo o Sistema.	Datos técnico	Datos técnico	Clasificación	Cantidad
1	A	**	**	**	**
2	B	**	**	**	**
n	n	n	n	n	n

2.3.3. Tercera etapa. Aplicación de la técnica de análisis dinámico para determinar lo relacionado con los equipos a seleccionar para la medición del parámetro vibraciones.

Una vez determinado en los pasos anteriores, los equipos a los cuales se les va aplicar el procedimiento pasan a una cuarta etapa que consiste en los Métodos y Técnicas aplicadas para la determinación del Parámetro de Estado vibraciones a controlar durante la aplicación del Diagnóstico.

2.3.4 Cuarta Etapa, Métodos y Técnicas aplicadas para la determinación del Parámetros de Estado vibraciones a controlar durante la aplicación del Diagnóstico.

A partir de la categorización de los equipos y de la definición del tipo de mantenimiento a aplicarle a cada uno de ellos, se pasa a determinar los parámetros que definen el estado de los dispositivos que deben ser objeto de estudio, para el caso que nos ocupa el trabajo en lo adelante se centra en los pasos a seguir para el control y mediciones del parámetro de estado vibraciones.

2.3.4.1 Primer paso, Resultados del Mantenimiento.

Este paso se realiza a partir de estudios en la organización y desarrollo del mantenimiento de la entidad a investigar, para ello se ejecutan un programas para obtener los resultados del mantenimiento y todo lo relacionado con los defectos, averías más corrientes en los dispositivos, de manera que queden registrados las posibles fallas mas frecuentes y su relación con los parámetros de síntomas que las identifican. Existen en ocasiones posibilidades de contar con bases de datos generadas por programas apropiados para la Gestión del mantenimiento que facilitan la extracción de datos. Además se aplican técnicas como las encuestas que permiten tomar de las experiencias de los más experimentados lo cual resulta de gran utilidad.

Estos estudios sirven para la creación de bases de datos para el desarrollo del proceso de las mediciones de vibraciones.

2.3.4.2 Segundo paso, Identificación de los puntos de mediciones.

Se deben identificar correctamente los puntos de mediciones en todos los ejes que se efectúan y teniendo en cuenta que no importa el equipo sino los puntos en los cuales se van a realizar las mediciones.

2.3.4.3 Tercer Paso, Análisis espectral, análisis de la señal en el tiempo

El análisis espectral como componente de esta metodología forma parte de la medición de la vibración ya que esta nos permite separar las características de los movimientos, asociados a una frecuencia que está relacionada con los efectos que acontecen variaciones en los niveles totales de las vibraciones, y su vez nos dan indicaciones del tipo de defecto que se desarrolla en cada sistema.

2.3.4.4 Cuarto Paso, Obtención de los límites de severidad del parámetro óptimo

En este paso es necesario, para la selección de los limites de severidad del parámetro que se controla, la búsqueda de información a partir de carpetas de datos existentes, parámetros de estado nominales del fabricante, bases de datos o programas inteligentes que se apliquen, lo cual permite de forma rápida y clara definir los límites condenatorios de los niveles del parámetro. Además se pueden tomar como bases las Normas Estándar o criterios del fabricante, que se hayan formulado para el control de la magnitud de los estados de estos.

En los criterios actuales se recomienda trabajar la variaciones dinámicas de los parámetros de estado atendiendo a valores bases pre-establecidos a partir de valores promedios históricos de los comportamiento de los parámetros controlados en Análisis de Tendencia En la Fig. 5, se

muestra las formas de control de análisis de tendencia y el establecimiento de los límites condonatorios de severidad. (González, 1996)

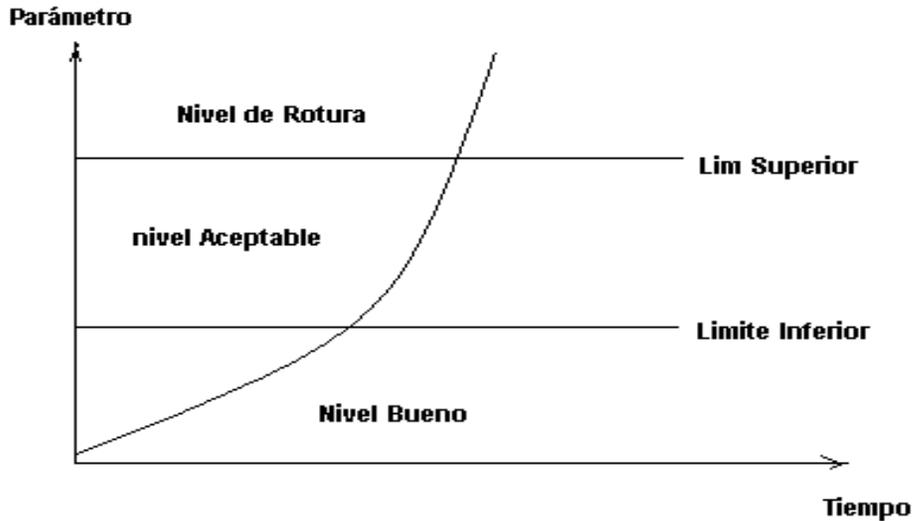


Fig. 5 Análisis de Tendencia y Límites Condonatorios.

2.4. Identificar los elementos que intervienen en el análisis que se relacionan con el parámetro de síntoma vibraciones

En este capítulo se sintetizan los conceptos generales relacionados con las vibraciones que intervienen directa e indirectamente en una metodología para la medición y evaluación del parámetro óptimo vibraciones, objeto central de estudio del trabajo que se presenta, de ella se mencionan brevemente los conocimientos básicos del ensayo no destructivo para el análisis de las mediciones y control del parámetro vibraciones.

2.4.1. Aplicación en la industria del parámetro vibraciones

Atendiendo a los principios de que.

- ❖ Ninguna estructura es absolutamente rígida por lo que toda fuerza actuante dará lugar a pequeños desplazamientos.
- ❖ La vibración es la reacción de un sistema a una excitación o una fuerza externa o interna aplicada al mismo
- ❖ La vibración indeseada de una máquina suele tener su origen en los problemas mecánicos que pueda presentar la misma.

Los procesos industriales tienen numerosas y diversas fuentes de vibraciones, que aparecen con más frecuencia en máquinas rotatorias. Siendo la causa fundamental las imperfecciones en la realización de los equipos, las cuales introducen interrupciones o defectos de la simetría de los campos de fuerza los cuales pueden tener un carácter.

- ❖ Inercial,
- ❖ Magnético
- ❖ Eléctrico.
- ❖ Térmico
- ❖ Aerodinámico.

Estas irregularidades de fuerzas aparecen durante la rotación y se transmiten a través de los cojinetes, partes estacionarias y el fundamento, Con carácter alternativo o a veces en forma de pulso y pueden además ser periódicas o erráticas.

En general, las vibraciones en una máquina no son recomendadas; pueden causar desgaste, fisuras por fatiga, pérdida de efectividad de sellos, rotura de aislantes, ruido, etc. Pero al mismo tiempo las vibraciones son el mejor indicador de la condición mecánica de una maquinaria y pueden ser una herramienta de predicción muy sensible de la evolución de un defecto. Las fallas catastróficas en una maquinaria muchas veces son precedidas, a veces con meses de anticipación, por un cambio en las condiciones de vibración.

Las vibraciones en una maquinaria están directamente relacionadas con su vida útil de dos maneras: por un lado un bajo nivel de vibraciones es un indicador de que la máquina funcionará correctamente durante un largo período de tiempo, mientras que un aumento en el nivel de vibraciones, nos indica que la máquina se encamina hacia algún tipo de falla. Una de las herramientas fundamentales con que se cuenta en la actualidad para el mantenimiento predictivo de una planta o instalación, es la medición y análisis de vibraciones, ya que cerca del 90% de las fallas en maquinarias están precedidas por un cambio en las vibraciones. No todos los tipos de vibraciones son evitables, ya que algunas son inherentes a la operación de la maquinaria en sí misma, por lo que, una de las tareas del especialista es identificar aquellas que deben ser corregidas, como es el caso del desbalance de los equipos y determinar su nivel de vibraciones tolerable.

El movimiento físico de una máquina rotatoria se interpreta como una vibración

Cuyas frecuencias y amplitudes tienen que ser cuantificadas a través de un dispositivo que convierta éstas en un producto que pueda ser medido y analizado posteriormente. Así, la

frecuencia describirá cual es el problema de la máquina, la amplitud cuán severo es. Y la fase la diferentes causas.

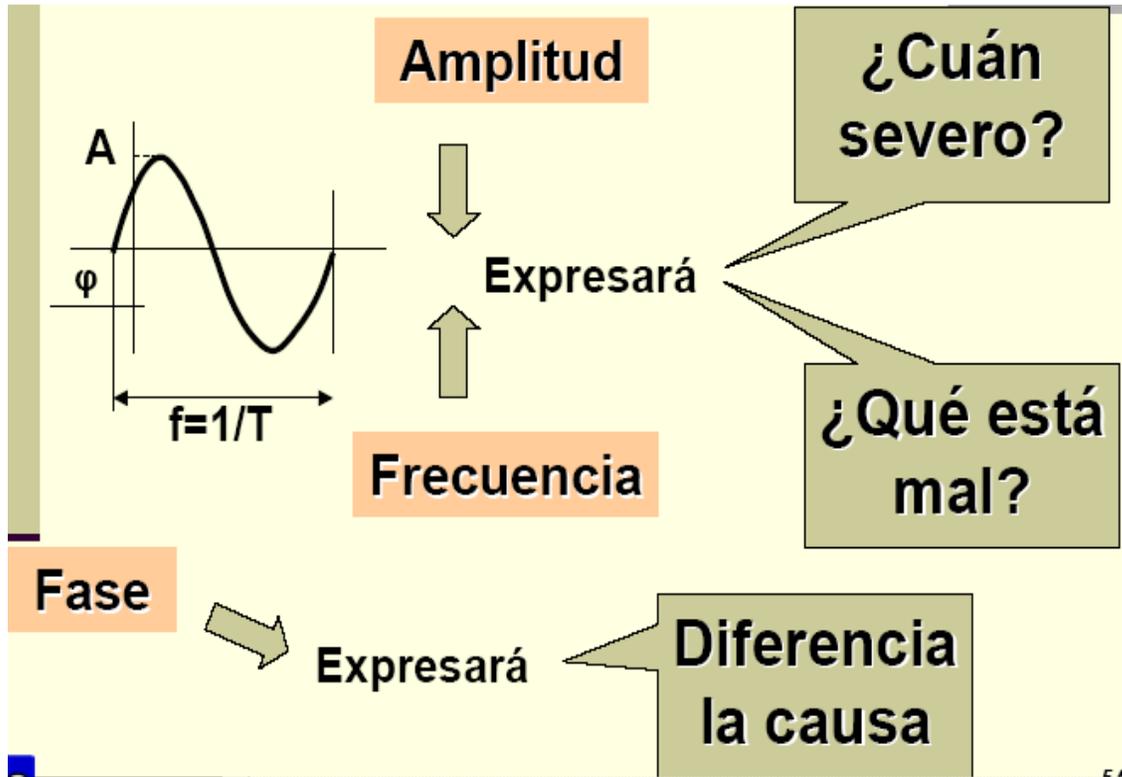
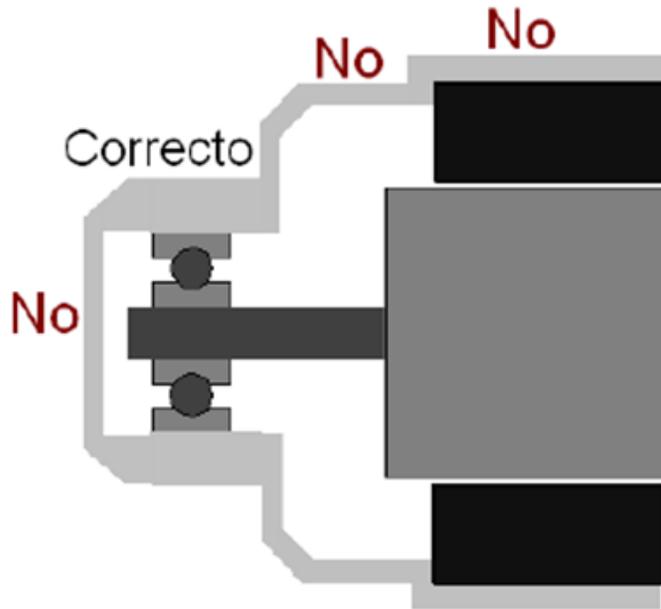


Fig 3.1 Propiedades del movimiento vibratorio

2.4.2 Aspectos prácticos en la medición de Vibración

2.4.2.1 Ubicación de los Puntos de Prueba

En general es deseable colocar el transductor de prueba lo más cerca posible del rodamiento, con metal sólido entre el rodamiento y el sensor. Se debe evitar la colocación en las gornas de rodamientos, ya que son hechas de metal delgado y conducen muy poco la energía de vibración. Si es posible habrá que seleccionar los lugares de ubicación de tal manera que no haya juntas entre metal y metal, entre el rodamiento y el sensor. La junta entre la campana y el cárter del estator de un motor es un ejemplo de esto. Cárters de ventiladores y las extremidades de motores se deben evitar.



Ubicaciones de Acelerómetros

Fig 3.2 Ubicación de los puntos de prueba

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

2.5. Tipo de mediciones, vibraciones absolutas y relativas en eje. Componentes de la dirección de las mediciones.

En un cuerpo que se encuentra en estado vibratorio cada uno de sus puntos realiza, en el caso más general, un movimiento tridimensional con respecto a un sistema espacial de coordenadas convenientemente elegido. Este movimiento se desarrolla en el entorno de una posición de referencia que ocupa un punto en cuestión (con respecto a un sistema de coordenadas) cuando el cuerpo vibra. Para facilitar el estudio de este movimiento se analizan sus proyecciones en los tres ejes de coordenadas y se hace coincidir el origen con un punto conveniente en la geometría del cuerpo en estudio.

2.5.1. Vibraciones absolutas.

En los casos que con mayor frecuencia se realiza, es el estudio de las vibraciones en máquinas rotatorias, gran parte de la tarea se realiza analizando el movimiento en los puntos de apoyo de los rotores. Es decir en sus cajas de alojamiento o pedestales de los cojinetes. Para ello se

asume el sistema de coordenadas coincidiendo con el centro geométrico del cojinete. Y el eje de rotación del equipo.

De esta manera quedan definida las vibraciones verticales, horizontales y axiales.

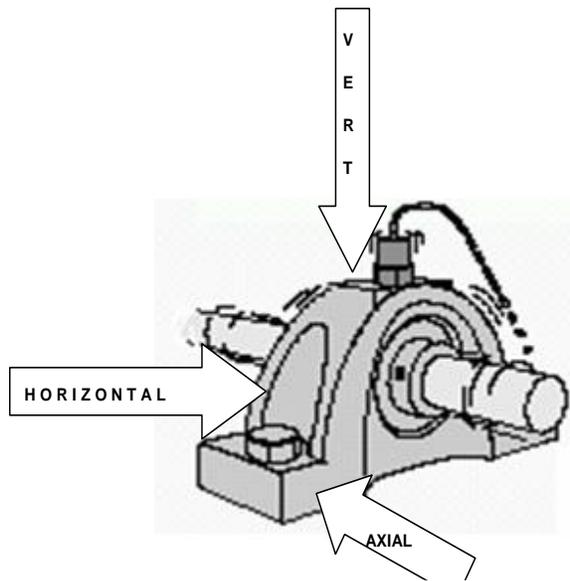


Fig 3.3 Dirección de las mediciones absolutas

2.5.2. Vibraciones relativas en eje.

La medición de vibraciones relativas en eje se miden con sensores de desplazamiento, su forma fundamental está compuesta por 2 sensores de desplazamiento a 45° con respecto a un punto de referencia en la posición vertical del pedestal, quedando insertados por orificios que se comuniquen con observaciones del movimiento del eje. En la figura 2.4 a continuación se representa un esquema de la medición

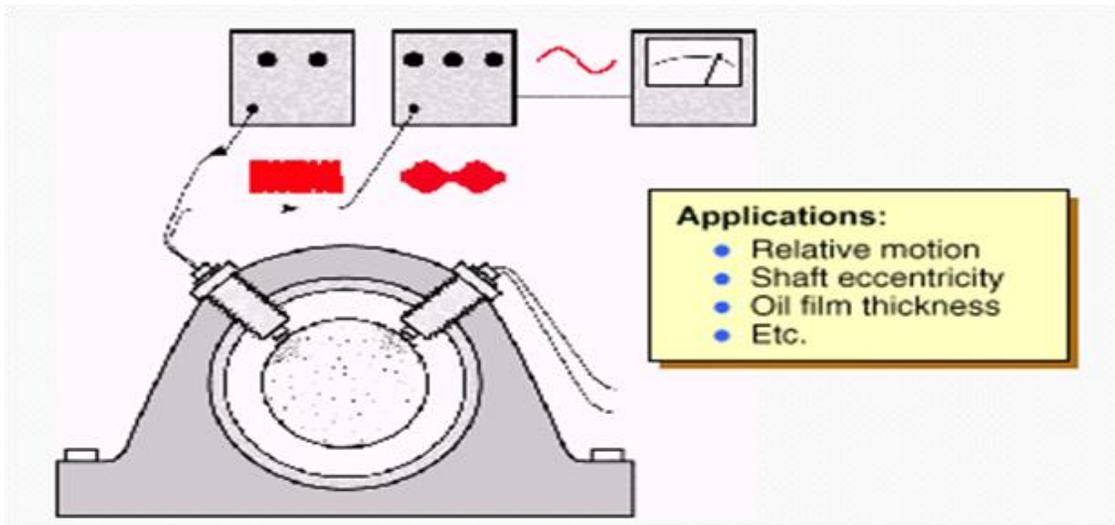


Fig 2.4 Dirección de las mediciones relativas

2.6. Técnicas para medición y análisis de vibraciones

2.6.1 Requisitos de la medición y análisis de vibraciones.

La vigilancia y control de vibraciones en los equipos industriales rotatorios tiene como fin utilizarlas como fuentes de criterios para evaluar el estado técnico junto a otros parámetros característicos para cada caso como.

Presión, Temperatura, Eficiencia, Capacidad de trabajo, Respuesta a los mandos

Así como síntomas para establecer las causas de eventuales anomalías en su funcionamiento. Todo esto ha traído apareado un auge en la difusión asimilación y aplicación en el nivel industrial de diversas técnicas de análisis vibracional, que hasta entonces se mantenían a nivel de laboratorios.

2.6.2. Herramientas para medición y análisis de las vibraciones.

Transductores: Convierten el movimiento vibratorio mecánico en una señal eléctrica que copia fielmente sus características.

Vibro analizadores: Procesamiento de la señal eléctrica de los transductores para acondicionarla en forma de datos numéricos y características gráficas.

Programas de cómputo: Elaboran la información obtenida con fines evaluativos y de diagnóstico mediante normativas o patrones de estado, con la ayuda de algoritmos apropiados.

2.6.2.1. Tipos de Transductores de vibración.

Se clasifican atendiendo a diversos puntos de vista, aunque estas clasificaciones se solapan entre sí, en la forma siguiente.

Por inducción electromagnética. Transductores de velocidad:

Tienen fija una bobina en el entrehierro de un imán permanente mediante una suspensión elástica fijándose este conjunto a la cargaza (cuerpo del Transductor, cuando vibra la cargaza desde el exterior, la bobina vibrara también en su interior con una vibración igual en frecuencia y forma de onda a la exterior y proporcional en magnitud, siguiendo las leyes de las vibraciones forzadas y a las propiedades dinámicas de un sistema oscilatorio (masa de la bobina, rigidez de la suspensión elástica y amortiguamiento. Apareciendo para estas condiciones en los terminales de la bobina una fuerza electromotriz (señal de voltaje) proporcional a la vibración instantánea de la bobina.

Por efecto piezoeléctrico. Transductores de aceleración

Se basan en las propiedades de ciertos materiales de producir carga eléctrica en su superficie cuando son sometidos a esfuerzos mecánicos. En el transductor se encuentra un anillo de material piezoeléctrico con una de sus caras en contacto con la base y con una masa m., este sistema se mantiene unido con un vástago central con una tuerca y un resorte arandela.

Por corrientes parasitas Transductores de desplazamiento

Se basan en el cambio de amplitud de una señal portadora (voltaje), que se produce en una bobina plana situada en el extremo de una sonda cuando varía la distancia de esta a una superficie electro conductiva a causa de las corrientes parásitas que se generan, se conocen también como corrientes de Foucault o "**eddycurrent**" en literatura inglesa.

En resumen, el transductor de corriente parásitas tiene una señal de salida en forma de voltaje proporcional al desplazamiento del objeto que vibra cuando este está en reposo y por la componente oscilante que es proporcional al desplazamiento de la vibración generada.

Transductores de desplazamiento: llamados también de proximidad, como los de corriente parasitas y otros tipos como los de transformadores diferencial, donde: $u = k \cdot s$.

Unidades de medidas de las vibraciones.

Amplitud del desplazamiento.

$\mu m = 0.001 mm = 10^{-6} m.$ (micrones el mas usado).

Amplitud de la velocidad-

Mm/s, cm/s, y en pulgadas /s

Amplitud de la aceleración:

mm/s² o en múltiplos de g (aceleración gravitacional).

Funciones que se pueden realizar con instrumentos actuales, a partir del parámetro óptimo vibraciones.

- 1.- Rutas pre configuradas de medición de vibraciones.
- 2.- Mediciones de vibración en valor global de vibración.
- 3.- Visualizar espectros de vibración y, señales en el tiempo, pulsos de choque (estado de rodamientos y engranes)
- 4.- Medidas de otros parámetros DC y AC, RPM, Angulo de fase, temperatura.
- 5.- Realización de balances in situ
- 6.- Medición de orbitas de eje y chumacera.
- 7.- Características de velocidad. (Velocidad vs vibraciones)
- 8.- Mediciones dinámicas en tiempo real

Tabla 7 Resumen del Análisis Causa-Raíz (Causas Directas)

Tipo de Fallas	Síntomas	Causa Raíz
Sobrecalentamiento en Chumaceras	Altas vibraciones radiales y axiales.	Holguras y Descentramiento. Errores de mantenimiento y de explotación
Desbalance de Masa	Altas Vibraciones Radiales	Tratamiento del agua deficiente.

		Corrosión y desgaste
Sobrecarga del motor	Alto consumo	Defectos de montaje, roce mecánico y desalineamiento.
Rigidez en los Sistemas	Vibraciones radiales	Sistemas de amortiguamiento y dilataciones defectuosas.
Sobrecalentamiento en Chumaceras	Alta temperatura en chumaceras	Deficiencia en el agua de enfriamiento
Bajo flujo bombeado	Baja presión de descarga	Desgaste en aros de sellaje
Problemas con agua de Enfriamiento	Alta temperatura en chumaceras y cabezales	Obstrucción en líneas de agua de enfriamiento
Errores del Mantenimiento	Altas temperaturas en chumaceras	Defectos en juego axial y aprietes en chumaceras
	Vibraciones radiales	Exceso de apriete en los tornillos de anclaje
	Vibraciones radiales	Flexión en ejes y excentricidad
	Vibraciones radiales y axiales	Desalineamiento mecánico

2.7. Normas de vibraciones ISO 10816/96 vibraciones absolutas y relativas evaluación de la severidad de las vibraciones.

A través de la medición de éstas sobre elementos no rotatorios. Chumaceras, pedestales, bases, se puede llegar a conocer el estado con que funciona un equipo, antes y después del mantenimiento y en los complejos procesos de explotación, para ello el empleo de normas como la que relacionamos a continuación, nos permiten si no tenemos criterios del fabricante u valoraciones con datos históricos conocer la severidad de los defectos relacionados con las vibraciones en un sistema.

En la normas ISO se pueden encontrar las partes que relacionamos a continuación con el tipo de maquinaria y el potencial que operan.

Estándar ISO 10816.

Parte 1. Partes individuales de motores y máquinas en general, vinculadas integralmente en condiciones normales de operación. Los motores eléctricos de hasta 15 kW de potencia constituyen ejemplos de ésta categoría.

Parte 2: Grandes turbinas de vapor con capacidad superior a 50 MW.

Parte 3: Máquinas industriales con potencias superiores a 15 kW y velocidades nominales entre 120 r.p.m. y 15000 r.p.m.

Parte 4: Turbinas de gas, incluyendo turbinas de aviación.

Parte 5 Máquinas vinculadas a plantas hidroeléctricas y de bombeo.

Parte 6: Máquinas reciprocantes con potencias superiores a los 100 kW.

Estándar ISO 10816. Parte 3

45.00	No Permissible	No Permissible	No Permissible	No Permissible
28.00				No Permissible
18.00			Límite	
11.20			Límite	
7.10	Límite	Límite	Admisible	Admisible
4.50				Admisible
2.80	Admisible	Admisible	Normal	Normal
1.80					Normal
1.12	Normal			
0.71	Normal			
0.45	Normal	Normal	Normal	Normal
0.28					Normal
↑ Vel. [mm/s] RMS	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV

Fig 5.1 Norma ISO 10816 Severidad s de las vibraciones mm/s RMS

Norma ISO 10816- 3, aplicable es la actualidad a los equipos industriales de planta. Esta contiene toda la gama de equipos existentes en planta, y nos permite relacionar con gran efectividad el estado de la técnica.

Clase I Partes individuales de motores y máquinas en general, vinculadas integralmente en condiciones normales de operación. Los motores eléctricos de hasta 15 kW de potencia constituyen ejemplos de ésta categoría.

ISO 10816. Clase II

Máquinas de medianas dimensiones (típicamente motores eléctricos de entre 15 kW y 75 kW de potencia) montadas sobre bases convencionales. Máquinas de hasta 300 kW montadas en bases especiales

ISO 10816. Clase III

Grandes máquinas motrices y cualquier otro tipo de máquina rotatoria, montadas sobre bases rígidas y pesadas, exhibiendo rigideces relativamente altas en la dirección donde se efectúe la medición de vibraciones.

ISO 10816. Clase IV

Grandes máquinas motrices y cualquier otro tipo de máquina rotatoria, montadas sobre bases relativamente flexibles en la dirección donde se efectúe la medición de vibraciones (por ejemplo, turbogeneradores y turbinas de gas, cuyas potencias sean superiores a 10 MW).

En la figura 4. Se da una breve visión sobre los sistemas rígidos y flexibles que permiten identificar con mayor facilidad la clasificación de los equipos, durante la aplicación de la norma para determinar los estados de los sistemas.

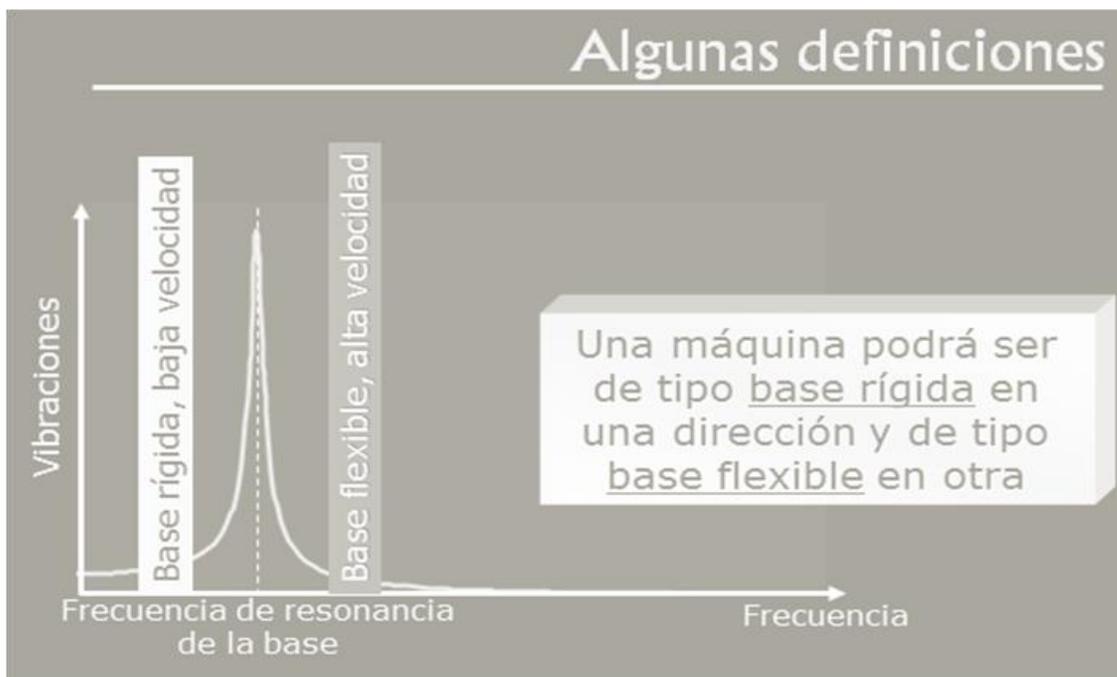


Fig 5.1 Clasificación de sistemas rígidos y flexibles

ZONA DE EVALUACIÓN	VELOCIDAD OPERACIONAL DEL EJE EN RPM			
	1500	1800	3000	3600
	Máximo de la vibración relativa del desplazamiento del eje			
A				
B	100	90	80	75
C	200	185	165	150
D	320	290	260	240

Tabla Equipos industriales con su base en tierra .norma **DIN ISO 7919, mediciones de vibraciones relativas en eje.**

La norma **DIN ISO 7919:** permite la valoración de máxima vibración relativa del desplazamiento en la Zonas límite en micrones.

2.7.1. Zonas de evaluación de acuerdo a la norma DIN ISO 7919:

Zona A. Vibración en máquinas recién instaladas

Zona B. Máquinas normalmente consideradas aceptables con funcionamiento no restringido a largo plazo

Zona C Máquinas normalmente consideradas insatisfactorias con funcionamiento continuo a largo plazo

Zona D Valores de vibración que son considerados de suficiente severidad para causar daño a la máquina

2.7.2. Algunos criterios para Medición y Evaluación

Criterio I:Las vibraciones relativas del eje no deben exceder los valores máximos especificados

Criterio II:Los cambios en la vibración del eje, relativas al límite establecido, no deben exceder los límites especificados

2.7.3. VALORES PATRONES Y VALORES BASES DE FRECUENCIA.

Valores patrones: son el resultado de la limitación de los buenos y malos estados de los niveles de vibraciones que permiten establecer, los límites de explotación de mantenimiento y posibles roturas.

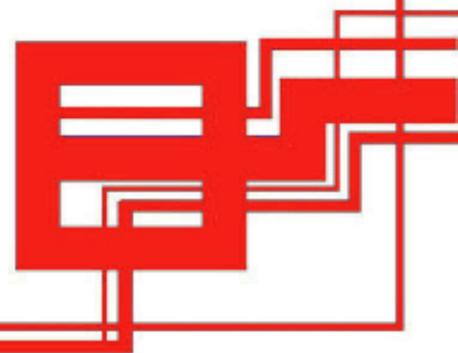
Los espectros patrones se tomas similar a los niveles totales de las vibraciones

2.8 Conclusiones del Capítulo II:

Al finalizar el capítulo se concluye:

1. Se propuso un procedimiento para la evaluación de la calidad de los equipos posterior al mantenimiento y durante la explotación de estos, para ello fue necesario: desarrollar un estudio de la situación actual del mantenimiento en la industria, donde se tuvo en cuenta, las prácticas Nacionales e Internacionales relacionadas con la formas de organización. Y la posición o relaciones del mantenimiento con el proceso productivo; realizar análisis de la situación actual de la gestión del mantenimiento dentro de la empresa, lo que arrojó dentro de otros resultados, la necesidad de implantar un sistema de gestión de la calidad a largo plazo según lo establecen las normas ISO 9000.
2. En virtud de estos resultados fue propuesta la aplicación de un procedimiento que augura las siguientes utilidades: conocer la situación de la organización del mantenimiento a partir de un diagnóstico de la situación actual de la entidad; determinar mediante la metodología propuesta por el autor la categorización y tipo de mantenimiento en cada equipo, Como llegar a determinar los Límites de Severidad Condenatorio del parámetro de estado que se controla, llegar a establecer todo el conocimiento teórico relacionado con las vibraciones, de manera ordenada para establecer la metodología que se desarrolla en el presenta trabajo.

Capítulo 3



CAPITULO III. Aplicación práctica de los métodos y técnicas del procedimiento evaluativo para la medición del parámetro de síntoma vibraciones en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

A lo largo de este capítulo se desarrollan los métodos y técnicas de trabajo que aparecen en la metodología para la evaluación de equipos rotatorios integrados al sistema de mantenimiento por diagnóstico según estado, durante su explotación y posterior a sus mantenimientos, seleccionando aquellos dispositivos que desde el punto de vista funcional y por su importancia en el proceso, son factible de aplicarles este tipo de técnicas.

A partir de la metodología descrita en el capítulo II se lleva a la práctica su desarrollo , para ello se realiza un diagnóstico de la situación del mantenimiento y un estudio de los datos necesarios que permiten realizar un análisis para la categorización de los equipos según sus características y el grado de indisponibilidad que los mismos pueden aportar en un momento dado, por otra parte se aprovechan los volúmenes de información existentes en el área de diagnóstico y planificación del mantenimiento y como resultados de este trabajo en bases de datos así como recomendaciones dejadas por el fabricante, se logra determinar que dispositivos tienen un mayor peso en las averías de la planta y de ahí seleccionar a aquellos a los cuales se le propone un método de diagnóstico determinado para poder reducir el índice de averías con su consiguiente ahorro en los costos directos e indirectos del mantenimiento y el aumento de la confiabilidad operacional de los mismos.

A continuación se realiza un proceso que es aplicable para la medición de las vibraciones según practicas realizadas y derivaciones del estudio realizado en este trabajo

Todo se ejemplifica para el caso del Diagnóstico por el parámetro de estado vibraciones, citando como ejemplo Ventiladores de Tiro Forzados y las turbinas como equipos fundamentales de la entidad entre otros.

3.1 Primera etapa, diagnóstico del sistema de mantenimiento actual en la ETE Cienfuegos.

Antes de adentrarse en los trabajos implícitos al realizar un procedimiento para una determinada entidad, es necesario de manera semejante a otros casos de estudio y, sobre todo cuando estos conducen a cambios con respecto al sistema existente, la realización de diagnósticos de la situación del mantenimiento de la misma, para lograr identificar los problemas y poder proponer soluciones adecuadas.

3.1.1 Situación técnica organizativa del mantenimiento en la ETE de Cienfuegos, antes de la aplicación de las nuevas técnicas para el diagnóstico del estado de los Equipos. (Chaviano,S, 2004)

Con anterioridad a la formación del grupo de diagnóstico en 1993, el sistema de mantenimiento de la empresa se basaba fundamentalmente en el MPP según recomendaciones del fabricante, con la guía y aplicación del Sistema Organizativo de Mantenimiento a Centrales Eléctricas (SOMCE), según normativas de la Unión Nacional Eléctrica (UNE), que posteriormente fue ganando en organización y mejoras técnicas, en la medida que se fue adquiriendo experiencias de trabajo por parte de las áreas de planificación y los mantenedores, presentando en todos los casos los siguientes inconvenientes entre otros:

- ❖ El número de averías no se logra reducir, por cuanto el mantenimiento planificado en ocasiones no era oportuno ya que las fallas podían ocurrir en un tiempo antes de este, o posterior al mismo.
- ❖ Los gastos inadecuados de materiales, por cuanto se desarman equipos y cambian piezas que aún no han rendido el máximo de su vida útil.
- ❖ La mano de obra se encarece por la necesidad de realizar un alto volumen de mantenimiento en las fechas planificadas sea o no necesaria dicha reparación.
- ❖ **No existe un seguimiento de parámetros rigurosamente controlados para definir la calidad del mantenimiento.**

Para diagnosticar el estado del Sistema de Mantenimiento de la empresa y trabajar sobre la base del Mantenimiento Basado en la Condición, se creó un grupo de diagnóstico en el año 2010, el cual esta integrado por:

- ❖ Especialista Principal del Grupo de Diagnóstico. Especialista en Análisis Dinámico
- ❖ Especialista en Análisis Eléctrico
- ❖ Especialista en Metales
- ❖ Especialista en Lubricantes
- ❖ Especialista en Parámetros Funcionales

El equipo de trabajo diseñó y realizó un proyecto de Sistema de mantenimiento en Base a la Condición que sentó las bases para la medición de parámetros para diagnóstico el cual ha servido de guía en el desarrollo de la aplicación del diagnóstico en la empresa.

Problemas fundamentales que se detectaron en el diagnóstico y se han ido solucionando.

1. Problemas de organización, fundamentalmente en lo que se refiere a la planificación y preparación de los trabajos, específicamente los referidos a coordinación de la planificación con cada una de las áreas del mantenimiento.
2. Carencias notables de infraestructura soporte para la ejecución de mantenimiento a saber: Falta de documentación técnica u obsolescencia de la misma, inexistencia de listado de equipos y componentes o listados insuficientes, falta de información y datos técnicos.
3. Defectos importantes en la gestión de repuestos, falta de estandarización y problemas de inventario.
4. Defectos en el control y seguimiento de los trabajos de mantenimiento: Pérdidas de trazabilidad de las órdenes, mala documentación de los trabajos hechos, no existían nomenclatura única para la definición de las averías.
5. Carencia de información y resultados de mantenimiento, con la imposibilidad consiguiente de poder aplicar políticas de mejora, eliminación de actividades innecesarias tras su análisis, solución de fallas sistemáticas y repetitivas, etc.
6. Poca utilización de herramientas informáticas de gestión con las que se puede obtener un procesado rápido y eficaz de la información del mantenimiento.
7. **No existen métodos prácticos que permitan valorar los resultados de la medición del equipo durante la explotación de la técnica, cuantitativa y cualitativamente.**

También se identificaron como puntos fuertes:

1. Profesionalidad y espíritu de sacrificio.
2. Buen conocimiento de los equipos y de su mantenimiento.
3. Receptividad y buena disposición en general para la aceptación de herramientas de mejoras de gestión y técnicas.

3.2 Segunda etapa. Categorización y selección del tipo de mantenimiento a aplicar en equipos de planta. (Jeira& Gibson,2004)

Como parte de la segunda etapa se toma como base la metodología descrita en el capítulo II, y evaluando cada equipo se tiene como resultados del procedimiento aplicado la categorización según se muestran en el **Anexo 3**, quedando definidos como categoría A, B, y C, de acuerdo a su importancia técnico económica dentro del proceso.

Para ello se tuvo en cuenta los aspectos esenciales indicados en la metodología:

*ASPECTOS SELECTIVOS.

*ASPECTOS DIRECTIVOS

*ASPECTOS GENERALES.

Quedando según la categorización los equipos categoría A y B, con un sistema de mantenimiento basado en la condición donde predominan las acciones relacionadas con el diagnóstico por parámetros de esta, donde prevalece el análisis de vibraciones para el caso de equipos roto dinámicos, no siendo así para las categorías C y D donde predomina el mantenimiento preventivo planificado.

3.3. Tercera etapa. Aplicación de la técnica de análisis dinámico para determinar lo relacionado con los equipos a seleccionar para la medición del parámetro vibraciones.

Para la realización de esta tercera etapa se tomaron datos generales por 9 años, procedentes de las carpetas de información de las mediciones programadas en el área, de los equipos, las cuales se presentan en el **Anexo 4**, la misma contiene los datos del tipo de monitoreo así como los equipos medidos según cronogramas de inspección.

Una vez determinado en los pasos anteriores, los equipos a los cuales se les va aplicar el procedimiento se pasa a una cuarta etapa que consiste en seleccionar los pasos que determinan el proceso de mediciones de los dispositivos, durante el desarrollo de este epígrafe, se hace referencia ejemplos prácticos: Ventilador de Tiro Forzado y Turbina (Unidades de 158 Mw-h Japonesas). Su selección se realiza teniendo en cuenta los resultados, donde están definidos 2 sistemas fundamentales para la categoría A y B que además representan los mayores volúmenes de mediciones de vibraciones, que sirven de ejemplo y validan el resto de las acciones restantes en sistemas similares. De forma tal que sirvan como un ejemplo patrón durante el desarrollo de este procedimiento, para lograr esta etapa es necesario desarrollar los pasos que se indican a continuación.

Como resultado del trabajo desarrollado en los incisos anteriores quedaron enmarcados para la realización y evaluación de la metodología propuesta para mediciones de vibraciones los equipos que se relacionan entre otros en la **Tabla 6**.

Tabla 6 Selección de equipos para la aplicación de las técnicas de evaluación.

No.	Nombre del Equipo	Pot.KW/Hors	RPM	Clasificación	Cantidad	Puntos de apoyo por equipo
2	Ventilador de Tiro Forzado Japón	1100	1180	B	4	2 Rodamientos 2 Chumaceras de deslizamiento
7	Bombas de Alimentar Japón	1850	3570	B	6	1 Rodamientos 4 Chumaceras de deslizamiento
8	Bombas Circulación Japón	450	440	B	4	2 Rodamientos 1 Buje de Goma
9	Turbinas de Vapor	158 Mw-h	3600	A	2	2 Chumaceras de deslizamiento

3.4. Cuarta etapa. Métodos y técnicas aplicadas para la metodología mediciones de vibraciones.

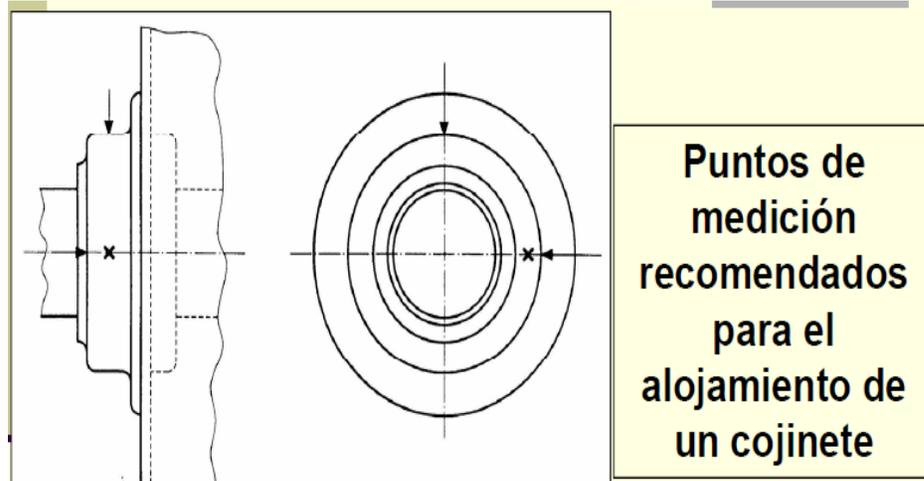
Una vez determinado en los pasos anteriores, los equipos a los cuales se les va aplicar el procedimiento se pasa a una cuarta etapa que consiste en seleccionar los pasos que determinan el proceso de mediciones de los dispositivos, durante el desarrollo de este epígrafe, se hace referencia ejemplos prácticos: Ventilador Tiro Forzado (Unidades de 158 MW-h Japonesas). Su selección se realiza teniendo en cuenta los resultados, donde están definidos 2 sistemas fundamentales para la categoría A y B que además representan los mayores volúmenes de mediciones de vibraciones, que sirven de ejemplo y validan el resto de las acciones restantes en sistemas similares. De forma tal que sirvan como un ejemplo patrón durante el desarrollo de este procedimiento, para lograr esta etapa es necesario desarrollar los pasos que se indican a continuación.

3.4.1. Identificación de los puntos de mediciones. desarrollo practico

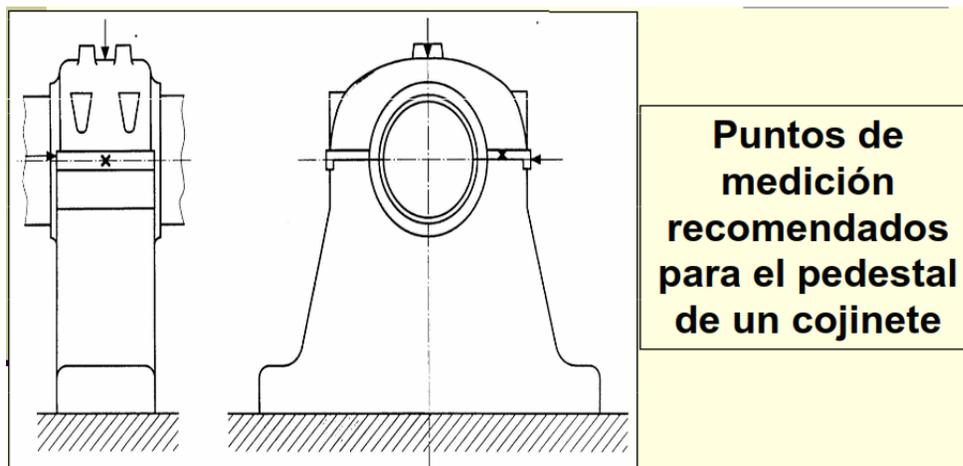
Para los sistemas Ventiladores de Tiro Forzado que están formados por Motor con 2 Rodamientos y ventilador con 2 chumaceras de deslizamiento, y el caso Turbinas que está compuesto por 5 Chumaceras deslizantes, escogidos de forma genérica ya que el resto

presentan puntos similares a ellos. Se sigue el proceso práctico que se presenta en las figuras a continuación.

Para el caso pedestal con alojamiento de cojinetes (rodamientos), (VTF).

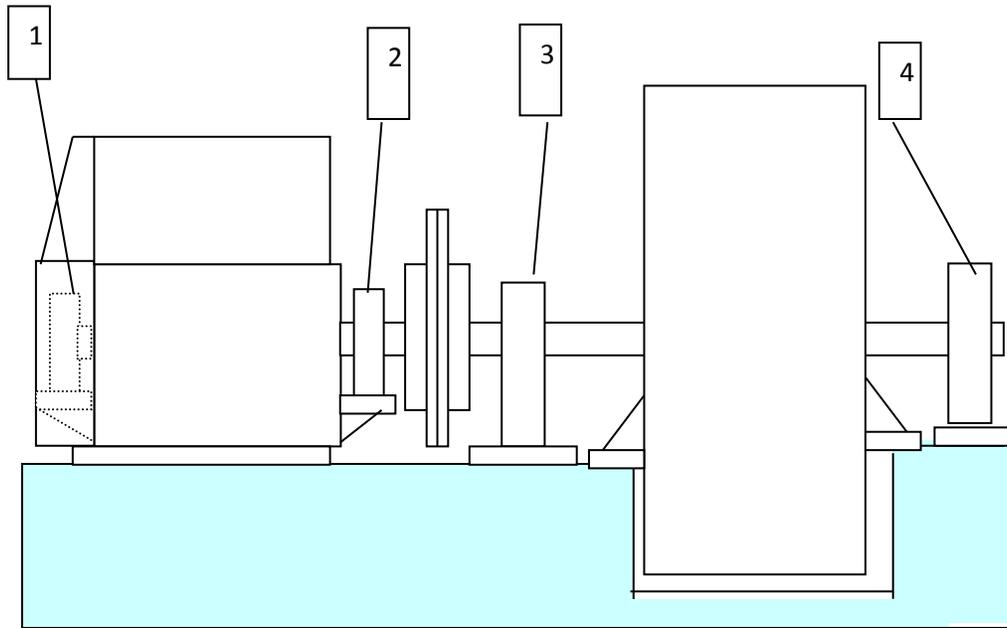


Se debe medir en la tapa de los pedestales en las 3 direcciones vertical, horizontal y axial, o más cercano posible al centro del alojamiento.



Se debe medir en el pedestal de cojinete en las 3 direcciones vertical, horizontal y axial, o más cercano posible al centro del alojamiento.

En la Figura 4. a continuación se sintetiza el modo en que se distribuyen las mediciones, tomándose como referencia siempre, del sistema conductor hacia el conducido. Designándose las indicaciones que aparecen a continuación ejemplifica a continuación para el caso de los Ventiladores.

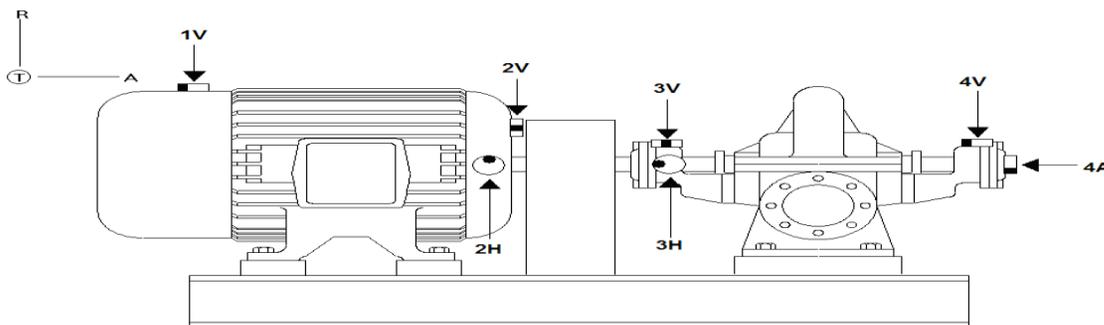


- Punto 1. Chumacera (cojinetes de contacto rodante)
- Punto 2. Chumacera (cojinetes de contacto rodante))
- Punto 3 y 4. Rodamiento (cojinetes de contacto deslizante)

Fig. 4 Esquema simplificado del tiro forzado, y puntos de medición.

Ejemplos prácticos de orientación, para una bomba, otro modo valido de coleccionar datos.

El diagrama 5 .Siguiente enseña las seis orientaciones del sensor para una máquina original.



Donde: V es Vertical, H es Horizontal y A es Axial.

Para el caso particular de sistemas verticales se observa en la práctica el esquema general del diagrama 5 a continuación.

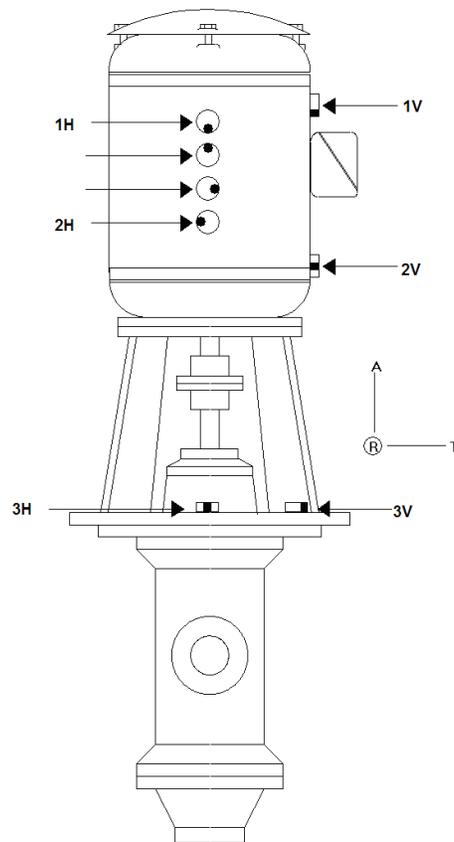


Tabla. 7 Ejemplo de Medición periódicas de vibraciones en mm/s (RMS), Ventilador Tiro Forzado 3A, con fecha 08/03/2019

Chumaceras/	Dirección Radial vertical	Dirección Radial Horizontal	Dirección Axial	Temperatura 0C
Chu. 1 motor lado libre	0.5	1	1.2	58
Chu. 2 motor lado Coopling	0.94	1.5	2.1	59
Chu. 3 Ventilador lado Coopling	1.4	4	3.6	43
Chu. 4 Ventilador lado libre	0.7	3.9	3.4	45

Colocación de los sensores de medición. Modo de fijación para la medición:(Díaz, S, 1994).

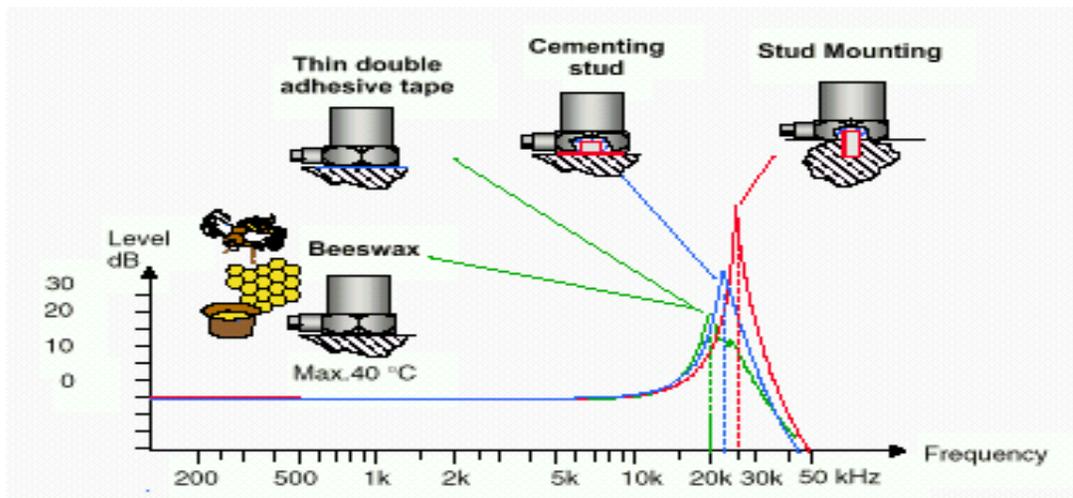
Por regla general los sensores de vibraciones se deben colocar.

- Lo más plano posible a la superficie de contacto con el punto de mediciones.
- No se debe medir con inclinaciones superiores para los sensores con punta de mediciones,
- Una vez predeterminado el punto de mediciones siempre debe ser el mismo para que no existan variaciones de las mediciones.
- Para superficies calientes superiores a los 120 °C, se recomienda esperar hasta 2 minutos como mínimo para establecer paridad en temperaturas del sensor.
- Evitar superficies o zonas de mucha humedad
- Evitar suciedades en la superficie de fijación del sensor
- Evitar zonas con inducciones magnéticas.

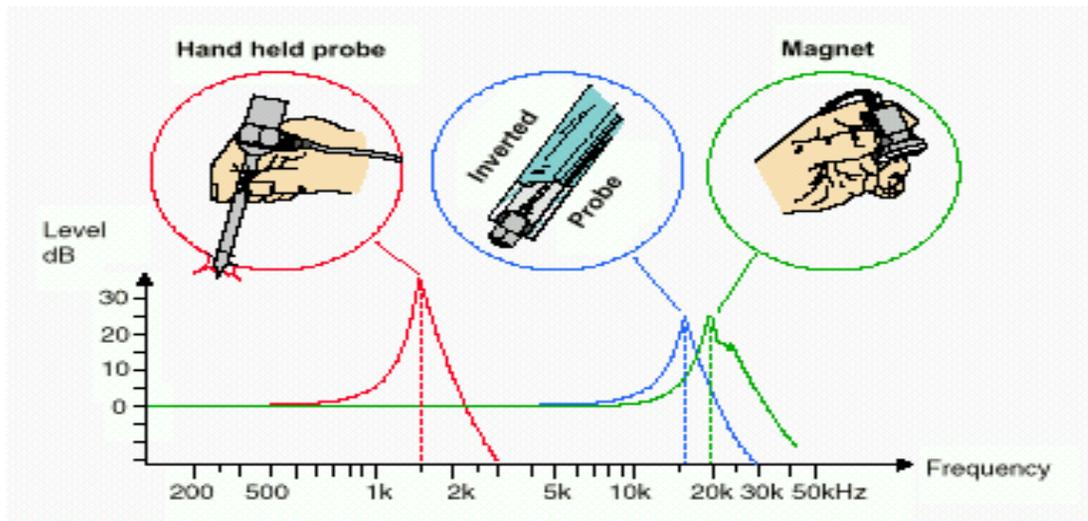
Todo lo antes descrito distorsiona la medición por cuanto hace variar la sensibilidad de respuesta del sensor.

El modo de fijación del sensor puede ser por : Imán, perno roscado, algún pegamento adecuado para ello, con puntero con una presión hasta 2 KG de fuerza, para todos los casos depende del tipo de precisión que se desee o requiera la medición,

En las figuras a continuación ,se expone de manera sintética las variaciones que se producen en la sensibilidad proporcional de los sensores por usos inadecuados.



La figura 5. Muestra el modo de fijación y las limitaciones en la frecuencia de mediciones según la curva de sensibilidad que solo es proporcional en el tramo recto de la curva.



La Figura 6. Muestra algunos modos inadecuados de fijación y las limitaciones en la frecuencia de mediciones según la curva de sensibilidad que solo es proporcional en el tramo recto de la curva.

3.4.2. Desarrollo práctico de la Matriz de Falla y Matriz de Parámetro Óptimo.

De los resultados del epígrafe anterior se desarrolla el tercer paso, la Matriz de Falla la cual permite establecer la relación entre las Fallas y los Parámetros de Estado, de la misma se pueden relacionar los parámetros de la condición de estado que intervienen.

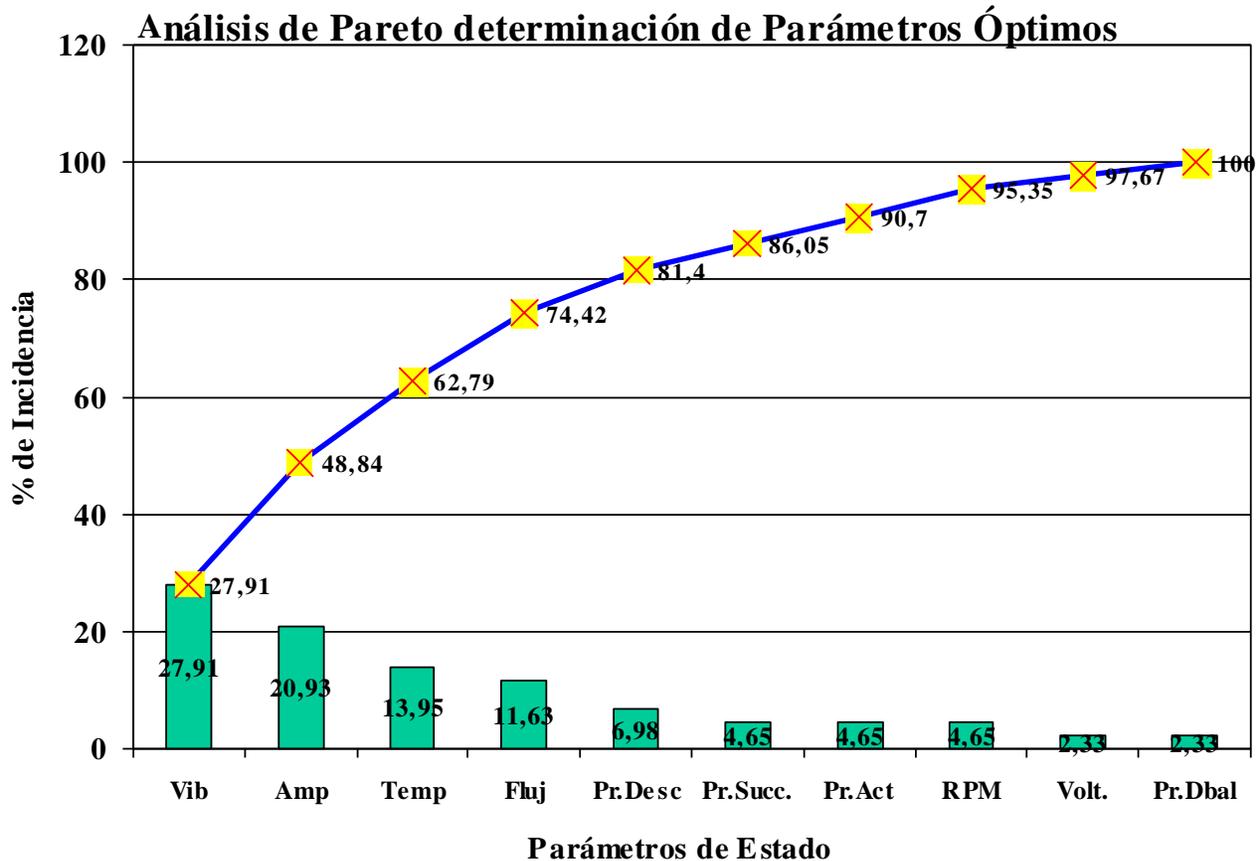
- * Vibraciones
- * Presión de descarga.
- * Presión aceite de lubricación.
- * Voltaje.
- * Presión de succión
- * Flujo de agua de alimentar.
- * Presión del disco de balance.
- * Temperatura aceite de lubricación
- * RPM.
- * Corriente.

3.4.2.1 Determinación de los Parámetros Óptimos de Estado a controlar para Diagnóstico.

A partir de los resultados de la Matriz de Falla se desarrolla las Matriz de los Parámetros Óptimos la cual se presenta en el Anexo 9, las que muestran la Relación Dinámica entre las Fallas y las Variaciones de los Parámetros que las representan. A partir de los resultados de esta Matriz se obtienen los parámetros que se deben muestrear para respaldar la introducción en el MBC del sistema evaluativo de la Calidad de la Gestión del Mantenimiento. La última de las matrices permite obtener una evaluación casuística y/o porcentual de la importancia de los

parámetros en su relación con las Fallas que las representan. No es un mero análisis porcentual, aunque uno de sus indicadores más utilizados, como es el % de Cubrimiento, en cambio existen otros que toman en cuenta el Peso de la Falla.

A continuación en la Figura se muestra el Diagrama de “Pareto” como una aplicación conocida para la selección de los mismos:



Donde:

Vib- Vibraciones

Amp- Amperaje

Temp.- Temperatura en Chumaceras

Fluj- Flujo de la Bomba.

Pr.Desc- Presión de Descarga de la Bomba.

Pr.Succ.- Presión de Succión de la Bomba.

Pr.Acet- Presión del Aceite de Lubricación

RPM- Revoluciones por Minutos.

Volt- Voltaje

Pr.Dbal- Presión del Disco de Balance de la Bomba.

Aplicando la misma metodología de la Matriz de Fallas y la de los Parámetros Óptimos para cada uno de los dispositivos que más indisponibilidad producen, se obtiene la Síntesis de los Parámetros Óptimos más utilizado para el diagnóstico del estado de los mismos. En la tablade la Tabla 8, se exponen dichos resultados para el ejemplo Bombas de Agua de Alimentar:

Tabla 8 Parámetros Óptimos de Estado para control de calidad total

<i>Nombre del equipo</i>	Parámetro de estado para control de calidad.				
	Vibración	Corriente	Temp.	Flujo	Presión.
Bombas Agua Alimentar Checo	X	X	X	X	X
Bombas Agua Alimentar Japón	X	X	X	X	X

Donde:

Temp: Temperatura de fluidos bombeados y aceite de lubricación

Vibraciones: En magnitudes, desplazamiento Pico-Pico, velocidad RMS

Presión: Presión de fluido bombeado, presión de aceite de lubricación

Corriente: Amperes.

A partir de los resultados obtenidos en los epígrafes anteriores y tomando como ejemplo el de las Vibraciones como uno de los parámetro de estado óptimo y uno de los más representativo de aportes de informaciones de los eventos de fallas, en el caso de las Bombas de Agua de Alimentar Checas y Japonesas, se pasa a desarrollar el análisis para la gestión de su evaluación dentro del proceso de funcionamiento de los dispositivos.

3.4.3. Selección de los Límites de Severidad Condensatorios de los parámetros óptimos a controlar.

De los resultados obtenidos en los pasos anteriores se determinó controlar para el caso de la Bomba de Agua Alimentar como parámetro óptimo, las vibraciones, corriente, temperatura, flujo y presión de descarga. A continuación, en el paso cuarto que sigue se desarrolla el parámetro vibraciones teniendo en cuenta, que sus niveles de información aportan un 85.7 % del cubrimiento de los defectos según el análisis de la matriz de fallas..

3.4.3.1 Selección de los límites de severidad de las vibraciones.

En este paso fue necesario realizar estudios sobre las carpetas de datos existentes, lo cual permitió de forma rápida y clara definir los límites condensatorios de los niveles de las vibraciones, válidos para el diagnóstico según estado, del grupo de equipos tomados para la aplicación de la gestión de la calidad.

De los resultados en la aplicación de los análisis de tendencia (Con valores históricos de vibraciones realizado con mediciones de instrumentos de primer nivel);

Con la adquisición e introducción de instrumentos para monitoreo periódico de segundo nivel “Colector de Datos MICRILOG CMVA 55”, y con la aplicación del programa PRISM 2, este análisis de tendencia se mejora y viabiliza a partir de la obtención de resultados de mejor calidad, como se puede observar en los ejemplos: Análisis de Tendencia de la Bomba de Agua Alimentar Checa Fig.9 en la Japonesa Fig10.

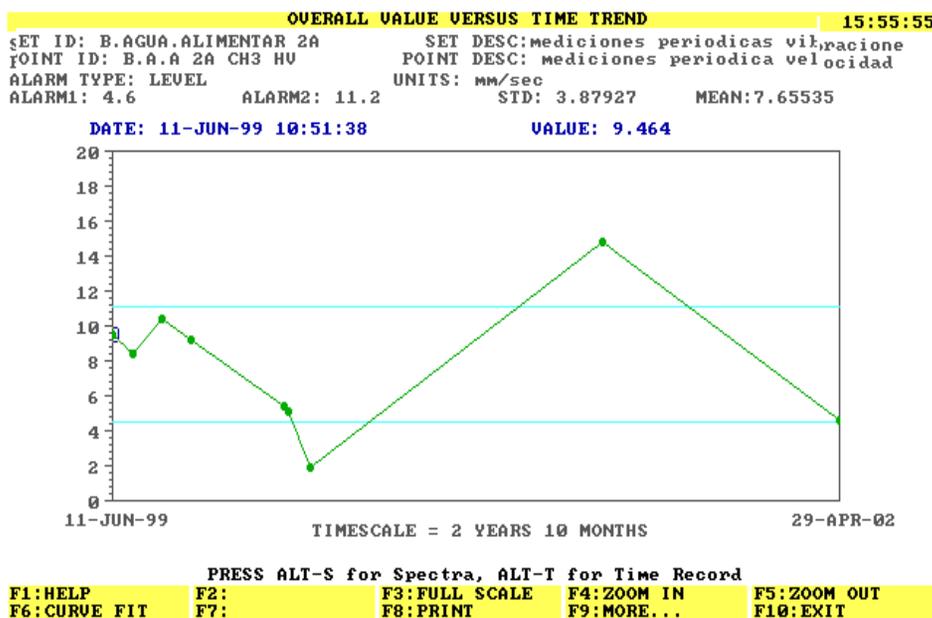


Fig.9 Análisis de Tendencia B.A.A 2A Checa.

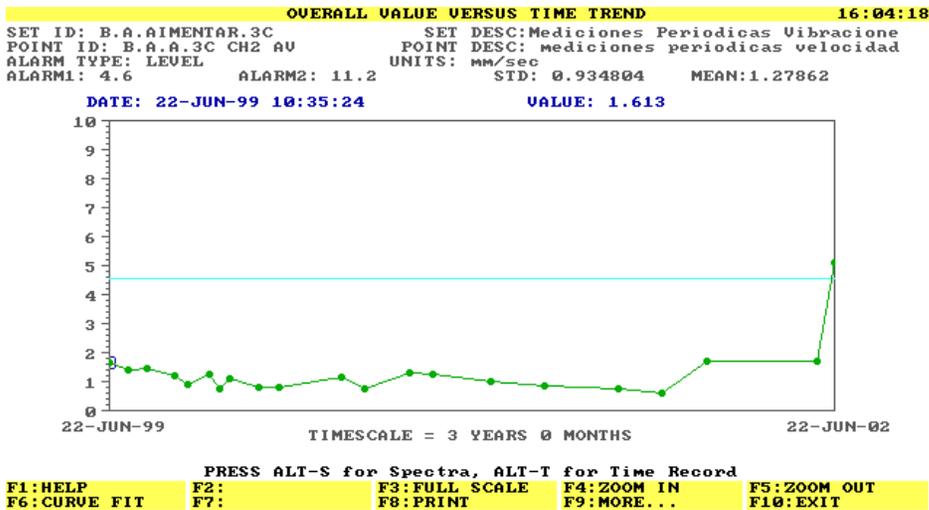


Fig.10 Analisis de Tendencia B.A.A 3C Japonesa.

Como resultado prácticos se obtienen la valoración de los límites de severidad de las vibraciones (Valores de estado), Velocidad Mm/seg (RMS) con valores históricos para todos los equipos similares de planta categoría B, donde se encuentran los Sistemas Bombas de Agua de Alimentar. Objeto de estudio de este procedimiento. A partir de la aplicación de la ecuación, del epígrafe 2.2.5.1, Pág. 29 del capítulo II, que permite encontrar los valores de (Vb) que son el resultado del valor promedio de los menores valores históricos durante la etapa que se evalúa.

Estos valores se modifican periódicamente en la medida que se logran bajar los niveles vibracionales totales del equipo, su empleo práctico a contribuido con el control de la calidad de explotación y reparación de los equipos en plantas.

3.5. Quinta etapa. Sistema evaluativo de la gestión de la calidad en equipos rotatorios.

En esta etapa como resultado de los epígrafes anteriores donde se determinó: Los equipos, parámetros de estado a controlar, sus límites condenatorios entre otros, para el caso ejemplo que se sigue del parámetro óptimo Vibraciones, se realiza una evaluación cuantitativa que permite, valorar a partir de patrones (límites de severidad de Vibraciones) por medio de un proceso comparativo los estados técnicos de los equipos, durante su explotación en planta, posterior a sus mantenimiento y averías no previstas.

3.5.1. Ejemplo de evaluación del mantenimiento a equipos roto dinámicos con datos reales tomados después del mantenimiento

Los datos reflejados en la **Tabla 9 y Tabla 10** a continuación, son el resultado de la aplicación práctica de la Evaluación de la Gestión de la Calidad de los equipos del Sistema Bombas de Agua de Alimentar según la metodología descritas en el epígrafe 2.2.5.1, **Pág.** 28 del capítulo II.

3.5.1.1 Evaluación del estado de explotación del Sistema de Bombas de Agua de Alimentar Unidades Checas y japonesas.

La **Tabla 9**, a continuación muestra la evaluación en explotación con fecha reciente a Bombas del Sistema Agua de Alimentar Calderas la cual se valora a partir de mediciones realizadas por el área de Diagnóstico.

Tabla 9. Ejemplos de evaluaciones de la calidad de **Equipos en Explotación** del Sistema Bomba Agua Alimentar en distintas unidades.

Equipo: Bomba Agua de Alimentar 1B Unidad Checa. Magnitud Velocidad Mm/seg RMS							
Fecha	Ocasión	Ch1 VV	Ch1 HV	Ch1 AV	Ch2 VV	Ch2 HV	Ch2 AV
V.Patrón	Val. (Vh)	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
13/4/05	Val. Inst	1.2	1.5	3.8	4	3.6	9.4
% Cam	(Icex)	-73.91	-67.39	-17.39	-13.04	-21.74	104.35
Fecha	Ocasión	Ch3 VV	Ch3 HV	Ch3 AV	Ch4 VV	Ch4 HV	Ch4 AV
V.Patrón	Val. (Vh)	6.0	6.0	00	6.0	6.0	6.0
13/4/05	Val. Inst	5.4	2.6	00	3.5	3	3.4
% Camb	(Icex)	-10	-56.06	00	-41.67	-50	-43.33
Resultados del análisis de calidad de explotación del equipo.							
Total. Ptos	Positivo	Negativo	<u>Observaciones:</u>				
11	1	10	Ecuación de evaluación.				
% Camb.	9.09	90.91	Icex= ((Vinst / Vb) x 100) -100).				
Valoración del Mtto		Bien					

Tabla 9. Continuación.

Equipo: Bomba Agua de Alimentar 2B Checa. Magnitud Velocidad Mm/seg RMS							
Fecha	Ocasión	Ch1 VV	Ch1 HV	Ch1 AV	Ch2 VV	Ch2 HV	Ch2 AV
V.Patrón	Val. (Vh)	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
13/4/05	Val. Inst	3.8	5.9	9.2	2.2	2.9	8.6
% Cam	(Icex)	-17.39	28.26	100.00	-52.17	-36.96	86.96
Fecha	Ocasión	Ch3 VV	Ch3 HV	Ch3 AV	Ch4 VV	Ch4 HV	Ch4 AV
V.Patrón	Val. (Vh)	6.0	6.0	6.00	6.0	6.0	6.0
13/4/05	Val. Inst	4.9	8.9	3.8	7.0	5.6	3.8
% Cam	(Icex)	-18.33	48.33	-36.67	16.67	-6.67	-36.67
Resultados del análisis de calidad de explotación del equipo.							
Total. Ptos	Positivo	Negativo		<u>Observaciones:</u>			
12	5	7		Ecuación de evaluación.			
% Camb.	41.67	58.33		Icex= ((Vinst / Vb) x 100) -100).			
Valoración del Mtto		Satisfactorio					
Equipo: Bomba Agua de Alimentar 3C Japonesa. Magnitud Velocidad Mm/seg RMS							
Fecha	Ocasión	Ch1 VV	Ch1 HV	Ch1 AV	Ch2 VV	Ch2 HV	Ch2 AV
V.Patrón	Val. (Vh)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
13/4/05	Val. Inst	1.2	2.0	0.6	1.5	1.6	1.2
% Cam	(Icex)	-62.50	-37.50	-81.25	-53.13	-50.00	-62.5

Fecha	Ocasión	Ch3 VV	Ch3 HV	Ch3 AV	Ch4 VV	Ch4 HV	Ch4 AV
V.Patrón	Val. (Vh)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
13/4/05	Val. Inst	2.9	2	0.2	2.3	2.6	0.2
% Camb	(Icex)	-9.38	-37.50	-93.75	-28.13	-18.75	-93.75

Resultados del análisis de calidad de explotación del equipo.

Total. Ptos	Positivo	Negativo	Observaciones:
12	0	12	Ecuación de evaluación. Icex= ((Vinst / Vb) x 100) -100).
% Camb.	0.00	100.00	
Valoración del Mtto	Bien		

Equipo: Bomba Agua de Alimentar 4B Japonesa. Magnitud Velocidad Mm/seg RMS

Fecha	Ocasión	Ch1 VV	Ch1 HV	Ch1 AV	Ch2 VV	Ch2 HV	Ch2 AV
V.Patrón	Val. (Vh)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
13/4/05	Val. Inst	2.4	2.2	1.8	1.9	2.2	1.6
% Cam	(Icex)	-25	-31.25	-43.75	-40.63	-31.25	-50.00
Fecha	Ocasión	Ch3 VV	Ch3 HV	Ch3 AV	Ch4 VV	Ch4 HV	Ch4 AV
V.Patrón	Val. (Vh)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
13/4/05	Val. Inst	1.7	3	0.2	1	3.4	1.5
% Camb	(Icex)	-46.88	-6.25	-93.75	-68.75	6.25	-53.13

Resultados del análisis de calidad de explotación del equipo.

Total. Ptos	Positivo	Negativo	Observaciones:
12	1	11	Ecuación de evaluación. Icex= ((Vinst / Vb) x 100) -100).
% Camb.	8.33	91.67	

Valoración del Mtto	Bien	
---------------------	------	--

De la tabla 9. podemos precisar los resultados siguientes:

Se logra una evaluación cuantitativa de la calidad de las bombas del Sistema Agua de Alimentar durante su explotación , partiendo de valores patrones (Valor Límite superior del estado normal), como base comparativa tanto para el caso de las bombas de las unidades Checas como Japonesas los valores patrones (Vp) fueron los determinados por datos históricos, , de aquellos valores promedio de mejores instantes de funcionamiento de las mismas, o después de un mantenimiento con buena efectividad.

El criterio evaluativo que se sigue es en porcentos por puntos, valorados como Negativos aquellos cuya relación indica que los valores medidos después del mantenimiento están por debajo del valor tomado como patrón de comparación, indicando el mismo resultados normales según se puede apreciar en la curva de la

Fig. 8 (válida para las dos condiciones evaluativas), los valores positivos indican lo contrario y en dependencia de sus niveles permiten valorar las acciones a tomar para la mejora continua de la calidad del equipo durante su explotación).

La evaluación realizada sobre la base de cantidades de puntos negativos y positivos partiendo de criterios predeterminados por ambas partes, Autor y parte técnica del área teniendo en cuenta las experiencias acumulada se pre-establece la valoración que se indica a continuación.

Para valores de % en cantidades de puntos evaluados negativos en el equipo:

- Mayor e igual al 80 % ----- **Bien**
- Menor al 80% y mayor e igual al 40% ----- **Satisfactorio**
- Menor al 40% y Mayor al 20 % ----- **Aceptable**
- Menor al 20 % ----- **Deficiente.**

La tabla que se presenta a continuación nos muestra los resultados de la evaluación realizada al Sistema Agua de Alimentar por equipos en explotación.

Equipos	Unidad	Resultados de evaluación
Bomba Agua Alimentar 1B	Unidad I Checa	Bien

Bomba Agua Alimentar 2B	Unidad II Checa	Satisfactorio
Bomba Agua Alimentar 3C	Unidad III Japonesa	Bien
Bomba Agua Alimentar 3C	Unidad IV Japonesa	Bien

3.5.1.2 Evaluación del Resultado del mantenimiento del Sistema de Bombas de Agua de Alimentar Unidades japonesas.

La **Tabla 10**, a continuación muestra la evaluación realizada a Bombas del Sistema Agua de Alimentar Calderas por el área de Diagnóstico, la cual se valora a partir de mediciones realizadas antes de la salida para mantenimiento y posterior a este.

Tabla 10. Ejemplos de evaluaciones de la calidad de **Equipos Posterior a un Mantenimiento** del Sistema Bomba Agua Alimentar en la Unidad 4 Japonesa.

Equipo: Bomba Agua de Alimentar 4B Japonesa. Magnitud Velocidad Mm/seg RMS							
Fecha	Ocasión	Ch1 VV	Ch1 HV	Ch1 AV	Ch2 VV	Ch2 HV	Ch2 AV
V.Patrón	Val. (Var)	3.34	2.02	2.75	1.98	2.00	2.11
13/4/05	Val. ldr	2.00	2.3	1.5	2.00	2.5	2.3
% Cam	(Icex)	- 40.12	13.86	- 45.45	1.01	25.00	9.00
Fecha	Ocasión	Ch3 VV	Ch3 HV	Ch3 AV	Ch4 VV	Ch4 HV	Ch4 AV
V.Patrón	Val. (Var)	1.61	3.23	0.59	1.06	3.38	0.69
13/4/05	Val. ldr	1.7	3.1	1.0	0.9	3.00	0.9
% Cam	(Icex)	5.59	-4.02	69.49	-	-	30.43

					15.09	11.24	
Resultados del análisis de calidad de explotación del equipo.							
Total. Ptos						Positivo	Negativo

Observaciones:

Ecuación de evaluación.							
Icr= ((Vdr/Var) x 100) -100).							
12	6	6					
% Camb.	50.00	50.00					
Valoración del Mtto		Satisfac					
Equipo: Bomba Agua de Alimentar 4C Japonesa. Magnitud Velocidad Mm/seg RMS							
Fecha	Ocasión	Ch1 VV	Ch1 HV	Ch1 AV	Ch2 VV	Ch2 HV	Ch2 AV
V.Patrón	Val. (Var)	2.17	2.78	2.02	1.81	2.14	3.03
13/4/05	Val. Idr	2.00	1.9	2.00	1.00	1.05	1.00
% Cam	(Icex)	-7.83	- 31.65	-1.99	- 44.75	- 29.91	- 67.00
Fecha	Ocasión	Ch3 VV	Ch3 HV	Ch3 AV	Ch4 VV	Ch4 HV	Ch4 AV

V.Patrón	Val. (Var)	1.11	1.71	0.48	1.03	1.69	0.8		
13/4/05	Val. Idr	1.5	3.7	0.1	0.9	1.1	0.1		
% Camb	(Icex)	35.14	16.37	-	-	-	-		
				79.17	12.62	34.91	87.65		
Resultados del análisis de calidad de explotación del equipo.									
Total. Ptos								Positivo	Negativo

Observaciones:

Ecuación de evaluación.		
Icr= ((Vdr/Var) x 100) -100).		
12	2	10
% Camb.	16.66	83.83
Valoración del Mtto		Bueno

Del análisis de la tabla anterior se obtiene como resultado establecer un criterio de conformidad o no, para la aceptación del resultado de la calidad del estado final del mantenimiento de los equipos.

Estos criterios quedan definidos por la valoración del total de puntos, donde las valoraciones negativas representan que los valores controlados antes del mantenimiento están por encima de las mediciones realizadas con posterioridad al mismo, las valoraciones porcentuales positivas indican lo contrario.

El proceso evaluativo final se realiza atendiendo a la cuantificación que aparece a continuación.

Mayor e igual al 80 % -----	Bien
Menor al 80% y mayor e igual al 40% -----	Satisfactorio
Menor al 40% y Mayor al 20 % -----	Aceptable
Menor al 20 % -----	Deficiente

La tabla que se presenta a continuación nos muestra los resultados de la evaluación realizada al Sistema Agua de Alimentar por equipos posterior a un mantenimiento realizado en la unidad IV Japonesa.

Equipos	Unidad	Resultados de evaluación
Bomba Agua Alimentar 4 B	Unidad III Japonesa	Satisfactorio
Bomba Agua Alimentar 4C	Unidad IV Japonesa	Bien

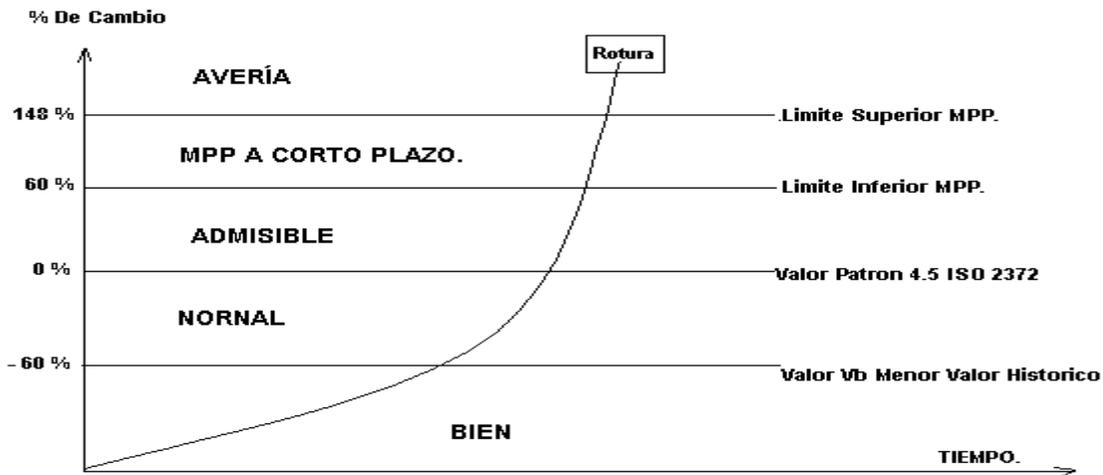


Fig. 8 Curva evaluativo de condiciones de operación de los equipos.

3.5.2 Análisis y medición del nivel total de la vibración y de la frecuencia de fallas.

Unidades de Vibración. La magnitud del desplazamiento, la velocidad y la aceleración en su nivel total. (Mourdoch, F,1994)

Si hasta ahora, solamente hemos considerado el **desplazamiento** de un objeto vibrando como una medida de la amplitud de su vibración. El desplazamiento es sencillamente la distancia desde una posición de referencia, o punto de equilibrio. Aparte de un desplazamiento variable, un objeto vibrando tendrá una **velocidad** variable y una aceleración variable. La velocidad se define como la proporción de cambio en el desplazamiento y en el sistema inglés, se mide por lo general en pulgadas por segundo (PPS). Aceleración se define como la proporción de cambio en la velocidad y en el sistema inglés se mide en unidades **G**, o sea la aceleración promedio debida a la gravedad en la superficie de la tierra.

Por cuanto es válido definir la unidad de medida en que queremos realizar la medición sobre el punto previamente ya seleccionado de la manera que se indica a continuación:

Magnitud de la vibración en desplazamiento, se debe dar en micrones pico-pico, y su mayor empleo es para efectos que aparecen en la baja frecuencia de sus movimientos, como desbalance, excéntrica

Magnitud de la vibración en Velocidad: se debe dar en mm/s (RMS), esta magnitud es la más adecuada por tanto indica la energía del movimiento, y a su vez abarca defectos de Baja, alta y mediana frecuencia del defecto

Magnitud de la vibración en aceleración: se debe dar en mm/s² cero –pico, que asu vez es más conveniente para efectos de alta frecuencia como mediciones de rodamientos, engranes, otros.

En el ejemplo de la tabla 7. Se muestra el modo de recolectar los datos en bases históricas para la magnitud vibraciones, que puede ser en cualquiera de las unidades de medidas antes descritas.

3.5.3 Análisis de espectral en la magnitud del desplazamiento, la velocidad y la aceleración en dependencia de valores de su frecuencia. (Diaz,S,1994)

Para circunvalar las limitaciones del análisis de la forma de onda, la práctica más común es de llevar a cabo un análisis de frecuencias, también llamado análisis de **espectro** de la **señal** de vibración. La gráfica en el dominio del tiempo se llama la forma de onda, y la gráfica en el

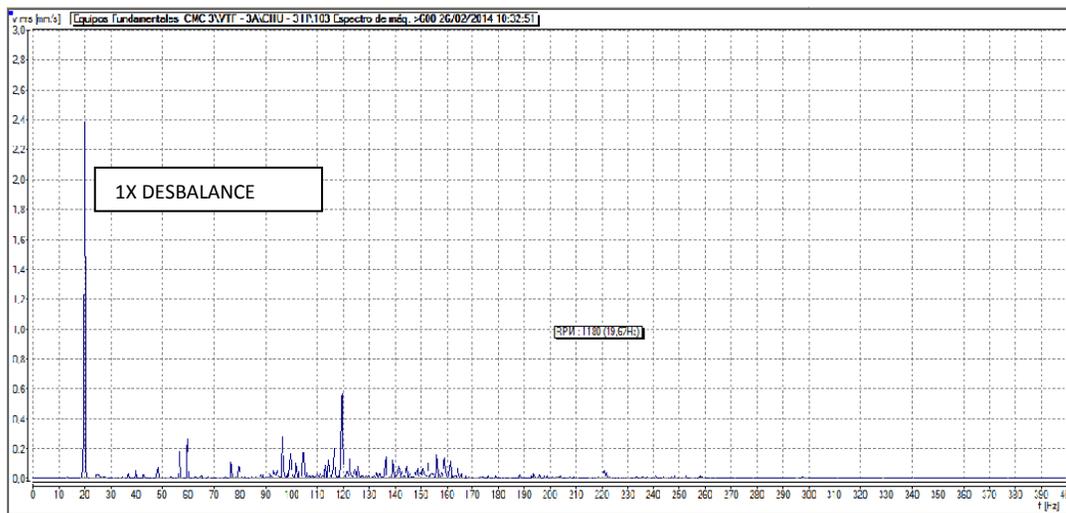
dominio de la frecuencia se llama el espectro. El análisis del espectro es equivalente al transformar la información de la señal del **dominio** de tiempo en el dominio de la frecuencia.

El análisis espectral como componente de esta metodología forma parte de la medición de la vibración ya que esta nos permite separar las características de los movimientos, asociados a una frecuencia que está relacionada con los efectos que acontecen variaciones en los niveles totales de las vibraciones, y su vez nos dan indicaciones del tipo de defecto que se desarrolla en cada sistema.

Ejemplos de defectos más comunes asociados a los equipos en planta con estados vibracionales anormales reconocidos en el análisis espectral.

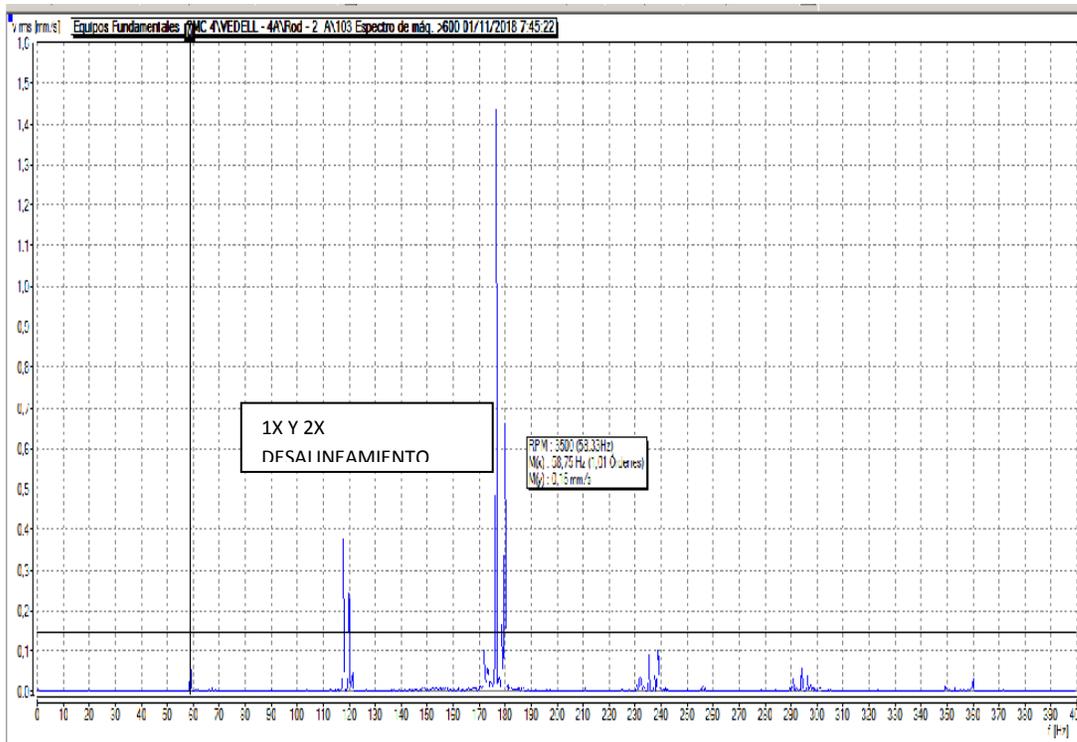
El desbalance de masa.

La figura 7. Muestra un análisis espectral del desbalance de un Ventilador Tiro Forzado 3A.



El desalineamiento.

La figura 8. Muestra un análisis espectral del desalineamiento de un Ventilador Detector de Llama 4A.



Del análisis realizado en el capítulo 2 conocemos que la Amplitud: Magnitud del movimiento dinámico de la vibración, expresión de la señal vibratoria y de acuerdo al instrumento con que se mide se puede expresar en, milivolt, micrones, mm, milésimas, además de ser medidas en Pico, Pico- pico, RMS, Promedio.

La amplitud de la vibración es la medida de cuán severo es el defecto que afecta una máquina.

No se trata de saber **cuánta vibración** debe tener una maquina antes de romperse, si no a que valores debemos intervenir antes de que suceda la falla, para ello es indispensable un cúmulo de conocimientos y valores de monitoreo capaz de realizar evaluaciones históricas del comportamiento de la máquina.

Los límites de vibraciones no resultan absoluto, ya que el hecho de rebasarlos o no, quiera decir la linealidad de una falla, se trata en este caso de un entorno que limitan los buenos estados y malos estados de funcionamiento de los equipos.

En la actualidad se trabaja más bien con los cambios de las vibraciones medidas a nivel total, como medio de control durante la explotación de los equipos.

3.5.4 Normas de vibraciones ISO ISO 10816/96 vibraciones absolutas

Parte 1: Evaluación de la severidad de las vibraciones, a través de la medición de éstas sobre elementos no rotatorios. Chumaceras, pedestales, bases

Parte 2:Grandes turbinas de vapor con capacidad superior a 50 MW.

Parte 3:Máquinas industriales con potencias superiores a 15 kW y velocidades nominales entre 120 r.p.m. y 15000 r.p.m.

Parte 4:Turbinas de gas, incluyendo turbinas de aviación.

Parte 5 Máquinas vinculadas a plantas hidroeléctricas y de bombeo.

Parte 6:Máquinasreciprocantes con potencias superiores a los 100 kW.

Tabla 8. Estándar ISO 10816. Parte 1

SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN ISO STANDARD 10816-1				
mm/s RMS	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0.28	A	A	A	A
0.45				
0.71				
1.12	B	B	A	A
1.8				
2.8	C	C	B	B
4.5				
7.1	D	D	C	C
11.2				
18		D	D	D
28				
45				

A-Normal B- Admisible C- Limite D- No permisible.

ISO 10816. Clase I

Partes individuales de motores y máquinas en general, vinculadas integralmente en condiciones normales de operación. Los motores eléctricos de hasta *15 kW* de potencia constituyen ejemplos de ésta categoría.

ISO 10816. Clase II

Máquinas de medianas dimensiones (típicamente motores eléctricos de entre *15 kW* y *75 kW* de potencia) montadas sobre bases convencionales. Máquinas de hasta *300 kW* montadas en bases especiales.

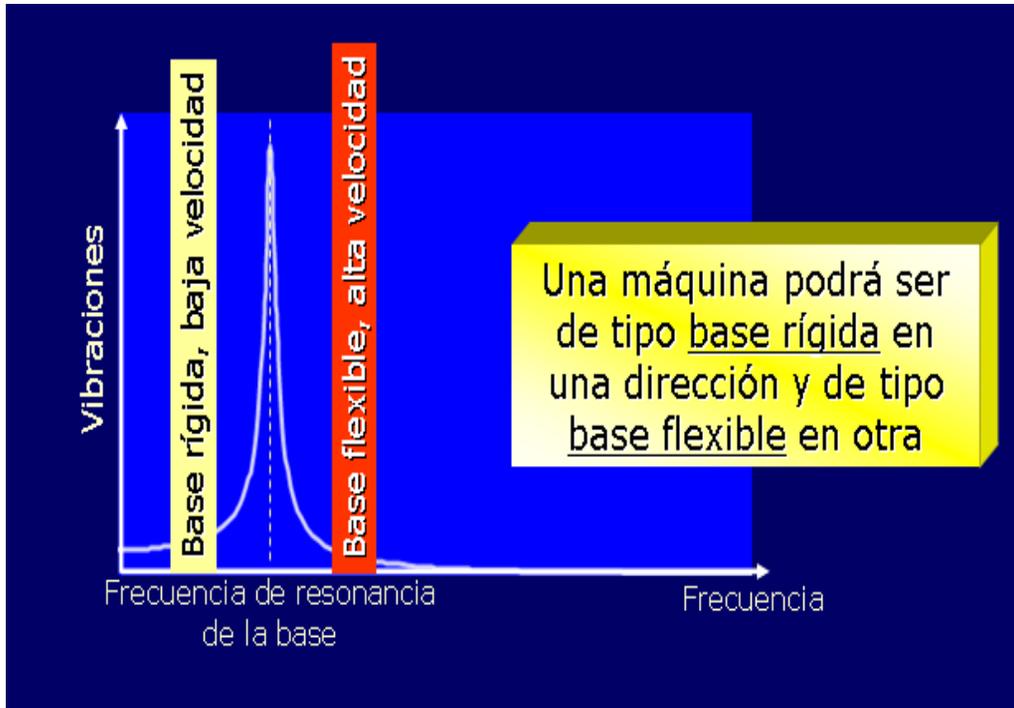
ISO 10816. Clase III

Grandes máquinas motrices y cualquier otro tipo de máquina rotatoria, montadas sobre bases rígidas y pesadas, exhibiendo rigideces relativamente altas en la dirección donde se efectúe la medición de vibraciones.

ISO 10816. Clase IV

Grandes máquinas motrices y cualquier otro tipo de máquina rotatoria, montadas sobre bases relativamente flexibles en la dirección donde se efectúe la medición de vibraciones (por ejemplo, turbogeneradores y turbinas de gas, cuyas potencias sean superiores a *10 MW*).

Fig.9 Grafica relativa para separar los sistemas o equipos con bases rígidas o flexible

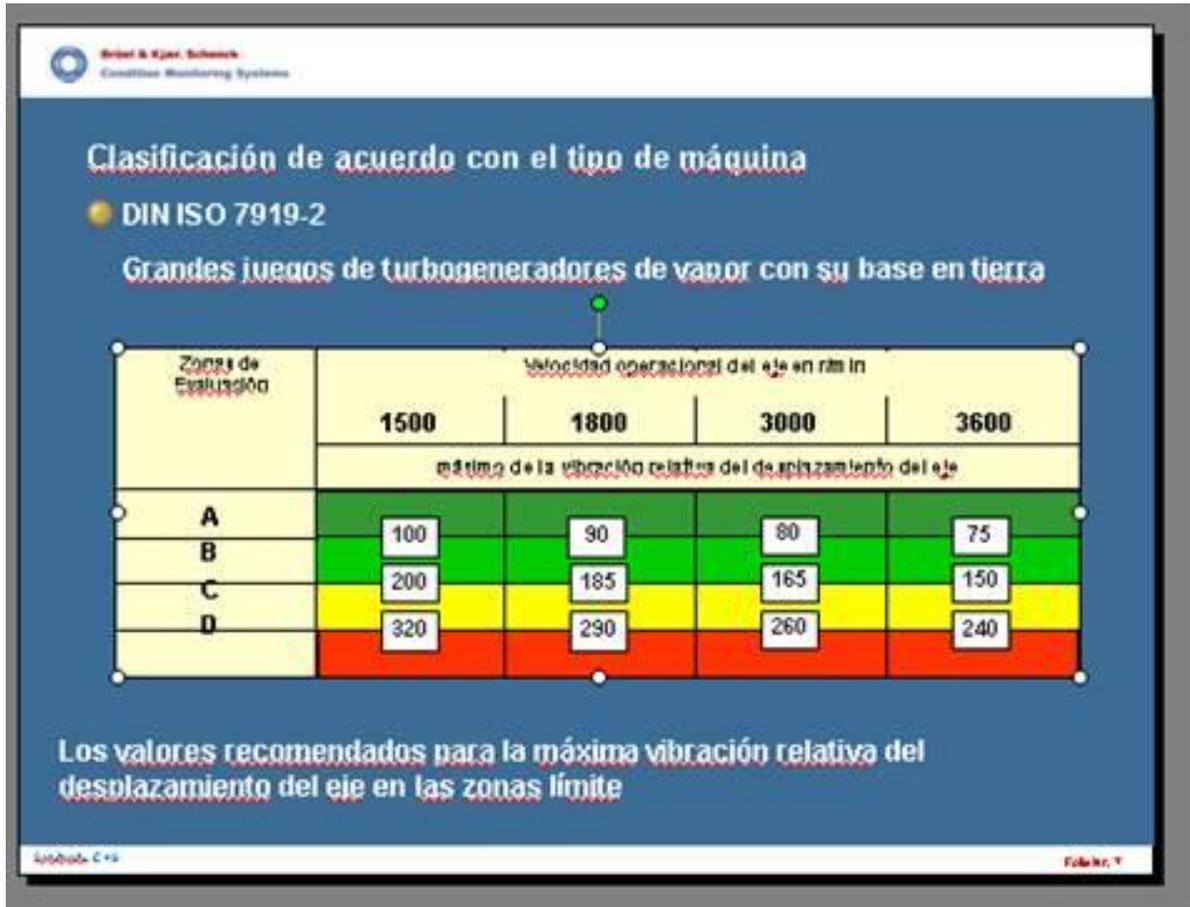


Los valores que resultan más efectivos para comparar el estado de una máquina son: valores históricos y valores sobre las bases después de un mantenimiento resultan más valiosos que los que se establecen en las normas.

3.5.4.1 Normas para vibraciones relativas en eje

Estas normas son aplicables para el caso de turbinas donde se mide la vibración en la magnitud desplazamiento a partir de 2 sensores de desplazamiento de no contacto situados a 90° uno del otro.

Tabla 9.VIBRACIONES EN EJE. RELATIVAS



Clasificación de acuerdo con el tipo de máquina
DIN ISO 7919-2
Grandes juegos de turbogeneradores de vapor con su base en tierra

Zona de Evaluación	Velocidad operacional del eje en rpm In			
	1500	1800	3000	3600
	máximo de la vibración relativa del desplazamiento del eje			
A	100	90	80	75
B	200	185	165	150
C	320	290	260	240
D				

Los valores recomendados para la máxima vibración relativa del desplazamiento del eje en las zonas límite

Zonas de evaluación de acuerdo a la norma DIN ISO 7919:

Zona A. Vibración en máquinas recién instaladas

Zona B. Máquinas normalmente consideradas aceptables con funcionamiento no restringido a largo plazo

Zona C Máquinas normalmente consideradas insatisfactorias con funcionamiento continuo a largo plazo

Zona D Valores de vibración que son considerados de suficiente severidad para causar daño a la máquina

Guías para Medición y Evaluación

Criterio I: Las vibraciones relativas del eje no deben exceder los valores máximos especificados

Criterio II: Los cambios en la vibración del eje, relativas al límite establecido, no deben exceder los límites especificados

Evaluación de acuerdo con la norma DIN ISO 7919.

Vibración mecánica de las máquinas no osciladoras – Mediciones de los ejes rotativos y criterio de evaluación

Parte 2: Grandes juegos de turbogeneradores de vapor con su base en tierra

Parte 3: Acoples de máquinas industriales

Parte 4: Turbinas de gas

Parte 5: Guías para equipos de máquinas de generación de fuerza hidráulica y plantas de bombas

3.5.5. VALORES PATRONES Y VALORES BASES DE FRECUENCIA.

Valores patrones: son el resultado de la limitación de los buenos y malos estados de los niveles de vibraciones que permiten establecer, los límites de explotación de mantenimiento y posibles roturas.

Los espectros patrones se toman similar a los niveles totales de las vibraciones asentados en la magnitud de cada frecuencia de aparición del defecto, según se puede observar en los ejemplos. De la figura 7 y figura 8.

Condiciones para la evaluación del mantenimiento.

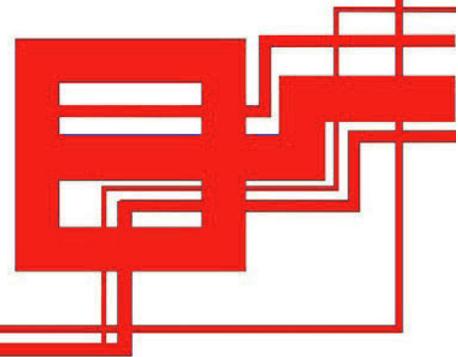
1.- Se deben realizar valoraciones de la calidad del estado de explotación final del equipo posterior al mantenimiento además de la evaluación de la calidad del mantenimiento, para evitar que valores puntuales estén por encima de estos últimos. De manera tal que los resultados denominados como buenos estén dentro los valores normados a estos efectos.

3.6 Conclusiones del capítulo III:

En el presente capítulo donde se evaluó siguiendo los pasos del procedimiento propuesto:

1. Se desarrolló un análisis para la Selección y Categorización de los equipos de acuerdo a una metodología propia del autor.
2. Aplicando un conjunto de métodos y técnicas entre las que sobresalen: Análisis Causa Raíz, Matriz de Fallas, Matriz de Parámetros Óptimos, Pareto, etc se Categorizaron todos los equipos de la CTE por su peso en la indisponibilidad de la misma, costos de los mimos, y otros. De igual forma se encontraron los Parámetros de Estado que permiten conocer la situación actualizada de los dispositivos y de este análisis se obtuvieron los Óptimos.
3. Se encontraron los Límites de Severidad Condenatorio del Parámetro Vibraciones a partir de los datos históricos y análisis de los datos actuales.
4. Se realizó un análisis específico de correlación entre el parámetro vibraciones y las Fallas de los distintos dispositivos de la CTE
5. La introducción de cambios en los sistemas organizativos del mantenimiento y la aplicación de técnicas de diagnóstico para la introducción en el MBC de un método evaluativo de los equipos en la Central permitieron: Un aprovechamiento efectivo de los datos resultantes de las pruebas, mantenimiento y fallas de cada sistema y equipos de la planta; Una clasificación más acertada de equipos atendiendo a su nivel de importancia técnica- económica dentro del proceso; Una mejor selección de los equipos a los cuales se les debe aplicar el método evaluativo de su calidad durante la explotación y posterior a los mantenimientos; Un estudio científico-técnico de las Fallas que se presentan en cada dispositivo de la planta, así como su relación con sus causas y síntomas; Introducir métodos de diagnóstico superiores basado en la relación entre los parámetros, lo cual resulta en un análisis más integral de cada dispositivo de la central; La utilización de herramientas informáticas de diagnóstico al poder introducir las Base de Datos Dinámicas a partir el monitoreo de los parámetros óptimos y de los resultados de pruebas y Realizar un Análisis Metodológico para el Diagnóstico a partir del Parámetro de Estado de las Vibraciones

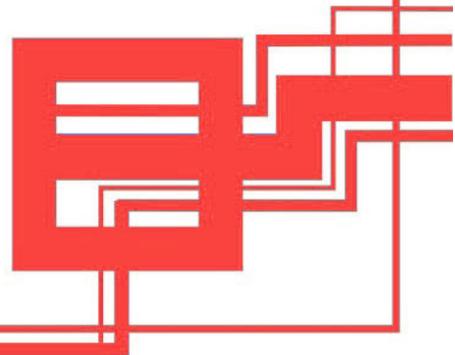
Conclusiones



CONCLUSIONES GENERALES

- Se logra recopilar todos los elementos bibliográficos sobre los elementos, con los cuales se trabaja en la actual metodología.
- Se logra desarrollar un estudio de la situación actual del mantenimiento tanto nacional e internacionalmente y realizar un posterior análisis en este sentido.
- Se logra aplicar un procedimiento para llegar a todos los elementos relacionados con las vibraciones y su uso para el diagnóstico.
- Se evaluaron luego de realizar análisis de selección y categorización de equipos de acuerdo a la metodología del autor todos los pasos del procedimiento propuesto así como se introdujeron cambios en cuanto al aprovechamiento, la selección y clasificación de equipos y para mejores diagnósticos de éstos.
- La metodología es válida porque evita errores de la configuración de los instrumentos y del personal que atiende este acápite y es una guía que sirve para estar al día con éstos temas.

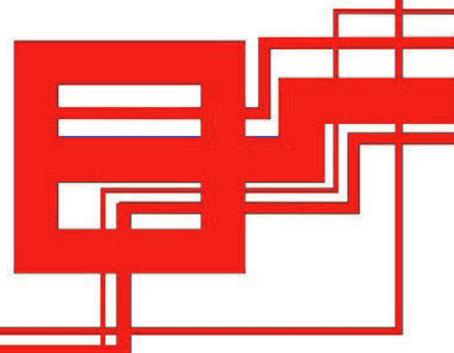
Recomendaciones



RECOMENDACIONES

- Aplicar la fase de Implantación y Control de la metodología desarrollado en la presente investigación.

Bibliografía



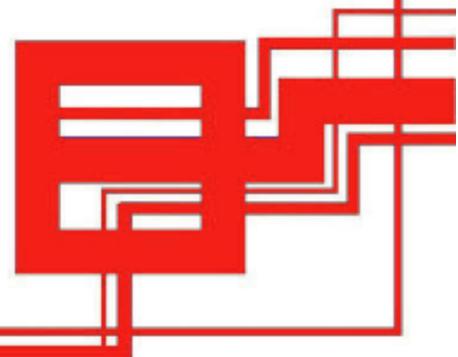
BIBLIOGRAFÍA

- Alkaim, j. (2003). Metodología para incorporar conocimiento intensivo ,Tesis de opción al grado científico de Doctor en ingeniería de Producción .
- Arguelles, J. A. (1987). *Mediciones de eventos mecánicos dinámicos*.La Habana, Cuba.
- Arias, A. (2006). Un modelo de gestión de mantenimiento hacia la excelencia , Ponencia presentada en el V Congreso Cubano de Mantenimiento .La Habana, Cuba.
- Batista Rodríguez, C. (2000). *Contribución al diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento para los centrales azucareros cubanos,(Tesis Doctoral)*.Universidad de Cienfuegos " Carlos Rafael Rodríguez",Cienfuegos, Cuba.
- Borroto Pentón, Y. (2005). *Contribución al mejoramiento de la gestión del Mantenimiento en Hospitales en Cuba, (Tesis Doctoral)*.Universidad Central de Las Villas " Marta Abreu, "Santa Clara,Cuba.
- Bruel, K. (1984). *Mantenimiento predictivo*. La Habana, Cuba.
- Caram, D. P. (1990). *Desarrollo del programa de mantenimiento por diagnóstico en la Refinería Níco López*.La Habana, Cuba.
- Castillo Morales, G. (1999). *Mantenimiento a Equipos, Máquinas e Instalaciones*.La Habana, Cuba.
- Chaviano Bernal, S. (2004). *Factibilidad Técnico-Económica de la Introducción del Sistema MBC en Equipos Rotodinámicos*.Empresa Termoelectrica.Cienfuegos, Cuba.
- De la paz Martínez, E. M. (1997). *Técnica de Fiabilidad y Especialización en gerencia de mantenimiento*. U.C.V.
- De la Torre, S. F., Arce Miranda, J. C., Cintado Hidalgo, R., Nieves Quintana, E., & Sierra Luque, D. (2008). *Influencia de los parámetros de proceso en el comportamiento del parámetro vibración absoluta en turbinas a vapor*. La Habana, Cuba.
- Díaz, S. (1994). *Medición y análisis de vibraciones*.La Habana, Cuba :Gente Nueva.
- Dunn, S. (2002). *Integrating RCM With Effective Planning and Scheduling, west Australian Optimising Maintenance Conference, perth, Australia*.
- Fabro, E. (2003). *Modelo Para Planejamento de manutencao baseado em indicadores de criticidade de processo*.Brasilia,Brasil.
- Fernández García, S. (1994). *Metodología Diagnóstico Integral Para Centrales y Sub-Estaciones Eléctricas*. Cienfuegos,Cuba.
- García Garrido, S. (2010). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial*.La Habana, Cuba.
- García, A. P. (2013). Características de los equipos principales instalados en las plantas térmicas. (M. M. Urquiza, Interviewer)

Bibliografía

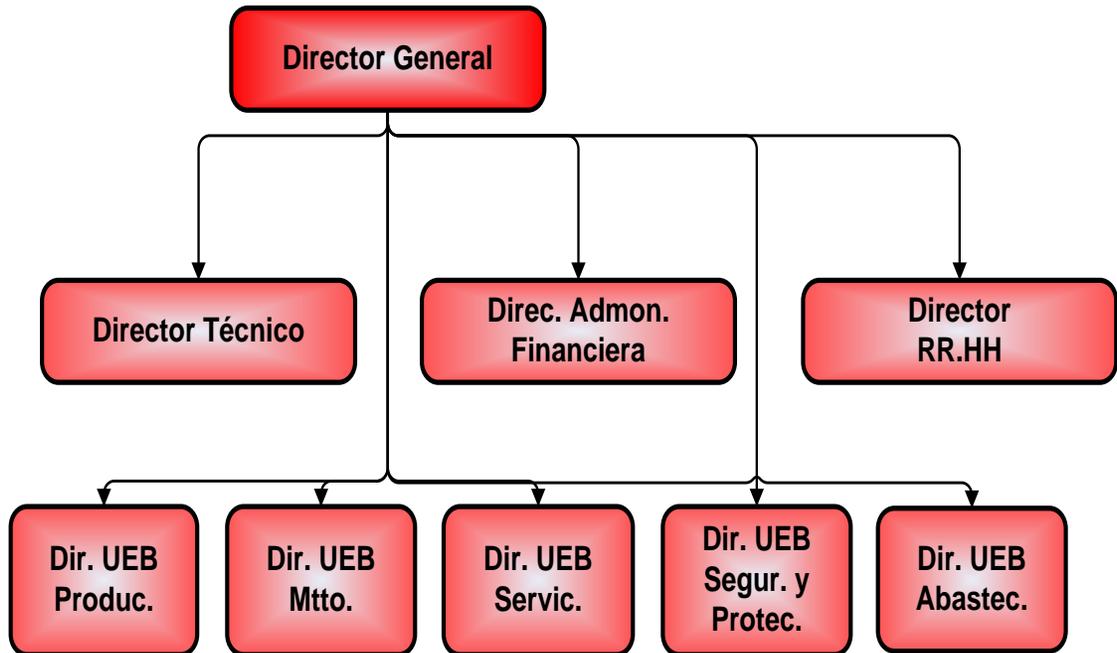
- García, G., & Quijano. (2004). *Mejora en la Confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica, desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo*.
- García-Ahumada, F. (2003). *Función del mantenimiento y las nuevas tecnologías*.
- Gonzales, F. (2007). *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión editorial FC, España*.
- Jaramillo, P. (2004). El Futuro de la Función de Mantenimiento, Publicado en <http://www.soproteysia.com.co>.
- Jeira, & Gibson. (2004). *Aspectos Generales Sobre La gestión Del Mantenimiento. Organización De Esta Actividad y Sus Responsabilidades*.
- Leiva Castro, D. (1996). *Metodología y diseño para la implantación del Sistema Alternativo de Mantenimiento a Equipos Rotatorios en la C.T.E Carlos M. De Céspedes (Tesis de Grado) Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez". Cienfuegos, Cuba*.
- Sexto, L. (2017). *Tipos de mantenimientos, Cuantos y Cuales son. Madrid, España: Editorial Seis Barral*.
- Miranda Chiguay, R. (2015). *Mantenimiento Progresivo o Planificado. La Habana, Cuba*.
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. España: Editorial Ellman, Suerio y Asociados*
- Mourdoch Misa, F. (1994). *El Mantenimiento Predictivo en la industria. España: Editorial Ellman, Suerio y Asociados*
- Mundarain Castañeda, C. H. (2009). *Diseño de un Programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos. La Habana, Cuba*.
- Ochoa Guzman, J., & Urquiza, J. C. (2014). *Pilar del Mantenimiento Progresivo o Planificado*.
- Portuondo Pichardo, F. M. (1990). *Sistema Alternativo de Mantenimiento. La Habana, Cuba*.
- Sematech, N. (2013). *Engineering Statistical Handbook. Los Angeles, EUA: Kotz*.
- Sotoy Blanco, S. (2001). *"Optimización Integral de Mantenimiento (OIM)" Ellmann, Sueiro y Asociados. Recuperado de <http://www.Mantenimientomundial.com/stes/mmnew/bib/notas/oim.asp> Última consulta: 18.01.2015*.
- Torres, I. (2005). *El mantenimiento. Su implementación y Gestión. Córdoba, España: Editorial Universitas*.
- Trocel, D. (2007). *Implementando un efectivo Programa de Mantenimiento Basado en Condición. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba*.

Anexos

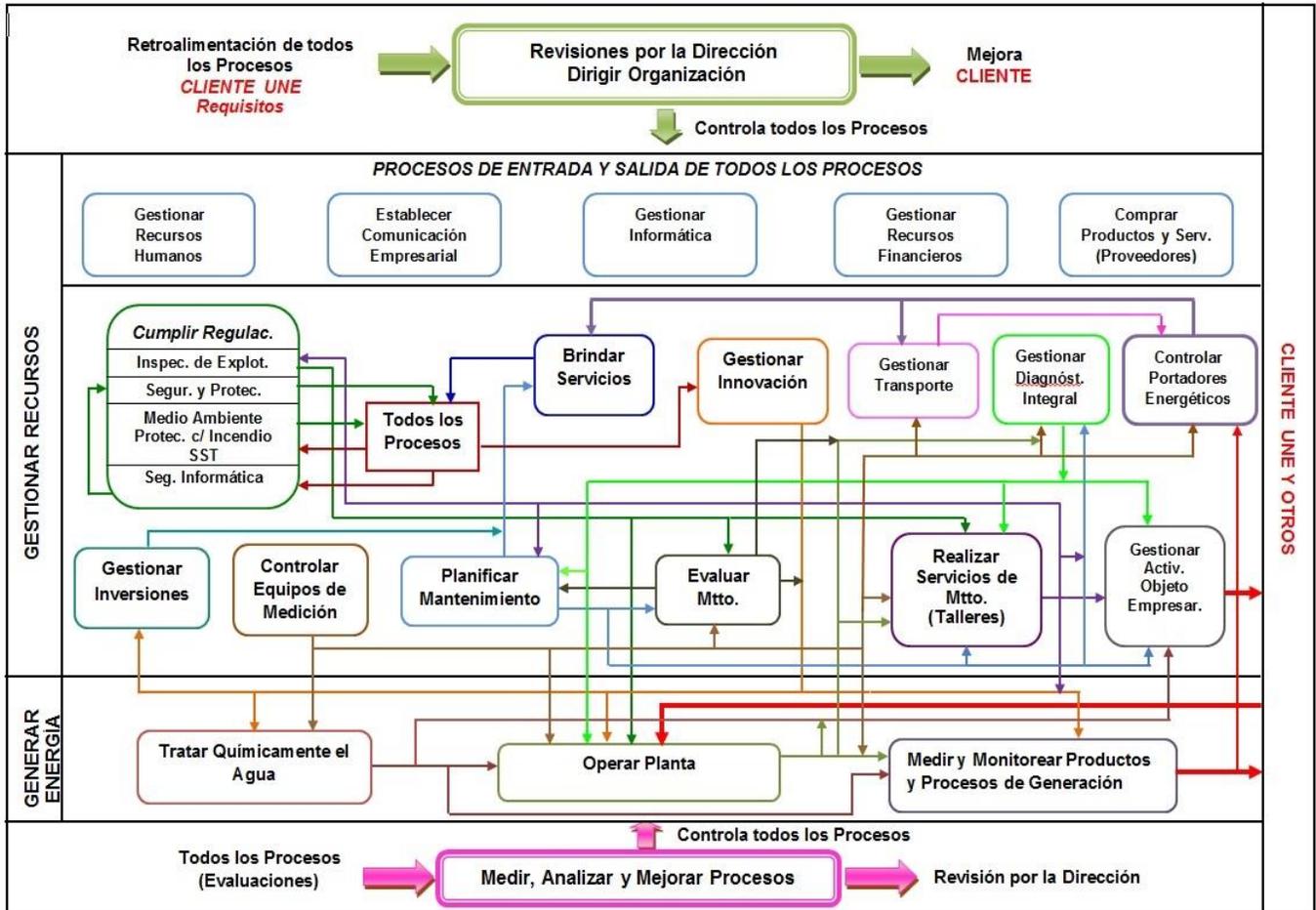


ANEXOS

Anexo No.1: Organigrama de la empresa. Fuente: Departamento de Recursos Humanos de la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos, 2019.



Anexo No. 2: Mapa general del proceso. Fuente: Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos.



Anexo 3. Clasificación de Equipos por Categorías, A, B, C. Fuente: Diaz, S, 1994

No	Equipos por sistemas del proceso productivo	Potencia (KW)	r.p. m	Tipos de clasificación	Aspectos de clasificación											Total de puntos	Clasificación final del equipo	
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
0	CALDERA CHECA																	
1	Ventilador de tiro inducido (VII)IIA	165	1185	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3 8	B*
2	Ventilador de tiro inducido IIB	165	1185	A B C			.	.					.				3 8	B*
3	Ventilador de tiro forzado (VTF)IIA	90	1180	A B C			.	.					.				3 7 1	B*
4	Ventilador de tiro forzado (VTF)IIB	90	1180	A B C			.	.					.				3 7 1	B*

5	Extractor de gases laboratorio central	125	170 0	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11	C
6	Bomba dosificadora de fosfato IIA	1.5	173 0	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1 10	C
7	Bomba IIA petróleo 1 ^{er} impulso	7.5	850	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1 7 3	B
8	Bomba IIB petróleo 1 ^{er} impulso	7.5	850	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1 7 3	B
9	Bomba IIC petróleo 1 ^{er} impulso	7.5	850	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1 7 3	B
10	Bomba IIA petróleo 2 ^{do} impulso	45	176 5	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1 8 2	B

11	Bomba IIB petróleo 2 ^{do} impulso	45	176 5	A													1	B	
				B	.	.	.												8
				C				.									.		2

Anexo 3. Cont.

No	Equipos por sistemas del proceso productivo	Potencia (KW)	r.p.m	Tipos de clasificación	Aspectos de clasificación											Total de puntos	Clasificación final del equipo	
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
	CALDERA JAPONESA																	
	Ventilador de tiro forzado IIIA	1100	1180	A B C		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4 7	B*

23	Bomba de petróleo IIIA	75	175 0	A			.	.										2	B*		
				B																	8
				C	.	.				.	.	.	.	.	.						6
24	Bomba de petróleo IIIB	75	175 0	A			.	.										2	B*		
				B																	8
				C	.	.				.		.	.	.	.						6

70	Bomba circulación IIIA	450	440	A			.	.	.								3	B*		
				B																8
				C	.	.				.	.	.	.	.	.	.	.		.
71	Bomba circulación IIIB	450	440	A			.	.	.								3	B*		
				B															8	
				C	.	.				.	.	.	.	.	.	.	.		.
72	Bomba condensado IIIA	330	177 5	A			.	.									2	B*		
				B															9	
				C	.	.				.	.	.	.	.	.	.	.		.
73	Bomba condensado IIIB	330	177 5	A			.	.									2	B*		
				B															9	
				C	.	.				.	.	.	.	.	.	.	.		.
74	Bomba enfriamiento IIIA	132	174 0	A			.	.									2	B*		
				B															7	
				C	.	.				.	.	.			.	.				2
75	Bomba enfriamiento IIIB	132	174 0	A			.	.									2	B*		
				B															7	
				C	.	.				.	.	.			.	.				2

ANEXO 4. PLAN DE MONITOREO PERIODICO PROPUESTO PARA EL AÑO 2019 (Monitoreo subjetivo y objetivo) Unidad IV.

Fuente: Dirección Técnica Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

ANEXO 4. PLAN DE MONITOREO PERIODICO PROPUESTO PARA EL AÑO 2019 (Monitoreo subjetivo y objetivo) Unidad IV.										
No.	Equipos por sistemas del proceso productivo	Clasificación del equipo	Ensayos no destructivos					Inspecciones (Empleo de los 5 sentidos)		
			Medición Periódicas Vibraciones y BCU, chequeo de parámetros de estado					Toma de parámetros.		
	Unidad Japonesa IV		Mes	Bi-mensual	Tri-Mensual	Semestre	Anual	semanal	Mensual	Por Análisis de defectos
1	Ventilador de tiro forzado IV A	B	X					X		
2	Ventilador de tiro forzado IV B	B	X					X		
3	Ventilador recirculador de gases IV	B	X					X		
4	Calentador de aire regenerativo VI A	B	X					X		
5	Calentador de aire regenerativo IV B	B	X					X		
6	Ventilador enfto. detec. llama IV A	C		X					X	
7	Ventilador enfto. detec. llama IV	C		X					X	

	B									
8	Bomba de petróleo IV A	B	X					X		
9	Bomba de petróleo IV B	B	X					X		
10	Bomba de gas oil IV A	C				X				X
11	Bomba de gas oil IV B	C				X				X
12	Bomba de agua desmineralizada IVA	C			X				X	
13	Bomba de agua desmineralizada IVB	C			X				X	
14	Bomba dosificadora hidracina IV A	C					X			X
15	Bomba dosificadora hidracina IV B	C					X			X
16	Bomba dosificadora fosfato IV A	C					X			X
17	Bomba dosificadora fosfato IV B	C					X			X
18	Bomba ácido sulfúrico	C				X			X	
19	Bomba sosa #1	C				X			X	
20	Agitador TK fosfato	C					X			X
21	Bomba de alimentar IV A	B	X					X		

22	Bomba de alimentar IV B	B	X					X		
23	Bomba de alimentar IVC	B	X					X		
24	TURBINA IV	A	X					X		
25	Bomba circulación IV A	B	X					X		
26	Bomba circulación IV B	B	X					X		
27	Bomba condensado IV A	B	X					X		
28	Bomba condensado IV B	B	X					X		
29	Bomba enfriamiento IV A	B		X				X		
30	Bomba enfriamiento IV B	B		X				X		
	Totales		15	4	2	4	5	17	6	7

ANEXO 3. PLAN DE MONITOREO PERIODICO PROPUESTO PARA EL AÑO 2012 (Monitoreo subjetivo y objetivo) Unidad IV.

No.	Equipos por sistemas del proceso productivo	Clasificación del equipo	Ensayos no destructivos					Inspecciones (Empleo de los 5 sentidos)		
			Medición Periódicas Vibraciones y BCU, chequeo de parámetros de estado					Revisión de parámetros.		
	Unidad Japonesa IV		Mes	Bi-mensual	Tri-Mensual	Semestral	Anual	semanal	Mensual	Por Análisis de defectos
31	Bomba transferencia de condensado	C					X			X
32	Bomba principal de aceite III	C					X			X
33	Bomba auxiliar corriente alterna III	C				X				X
34	Bomba auxiliar corriente directa III	C				X				X
35	Bomba Princ..lubric. B.A.A IV A	B	X					X		
36	Bomba Princ..lubric. B.A.A IV B	B	X					X		
37	Bomba Princ..lubric. B.A.A IV C	B	X					X		
38	Bom. auxiliar de lubric. B.A.A IVA	C					X			
39	Bom auxiliar de lubric. B.A.A IV B	C					X			X
40	Bom auxiliar de lubric. B.A.A IV C	C					X			X

41	Bomprinc aceite sellaje generador IV	B		X						X
42	Bomaux.r aceite sellaje generad IV	B		X					X	
43	Bomba vacío aceite sellaje generad.	B				X			X	
44	Vent. Extac. Gases T.Q. Aceite IV	C		X						X
45	GENERADOR IV	A			X			X		
46	Bomba TQ M325				X					X
47	Bomba TQ M324				X					X
48	Bomba contra incendio			X						X
48	Bomba Maya Giratoria A			X						X
49	Bomba Maya Giratoria B			X						X
50	Bomba achique maya giratoria			X						X
	Totales		3	7	3	3	5	4	2	14

	Unidad Japonesa IV		Mes	Bi- mensua l	Tri- Mensu al	Semestr e	Anual	semanal	Mensual	Por Análisis causas Efecto
	Totales Vibraciones.		18	11	5	7	10	21	8	21

Anexo 5: Especialistas realizando mediciones. Fuente: Elaboración Propia.



Anexo 6: Ejemplo de equipo para realizar las mediciones



Anexo 7: Ejemplo de punto de medición.

