

REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
FACULTAD DE INGENIERÍA



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Valoración técnico - económica de la aplicación del sistema de mantenimiento basado en la condición en la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos.

Autor: Eriel Curbelo Santana.

Tutores: MsC. Ing. Silvino Chaviano Bernal
DrC. Julio R Gómez Sarduy

Cienfuegos, 2018

*“la única
★ lucha ★
que se pierde
es la que se
abandona”*



© Ollo de pez

Dedico este trabajo de diploma a mi familia por todo su apoyo incondicional y a todas las personas que me ayudaron en su confección en la Central Termoeléctrica Carlos M. de Céspedes.

Agradecimientos:

- A mi familia en especial mis padres, esposa y mis hijos por apoyarme incondicionalmente en todo desde el principio.
- Al grupo de diagnóstico de la C.T.E Carlos M. de Céspedes por toda la información brindada para la realización de este trabajo.
- A todos los que de una forma u otra me han ayudado en el transcurso de esta tesis en especial a Ángela C Casteleiro.
- A mis tutores Msc. Ing. Silvino Chaviano Bernal y al Dr.c Julio R Gómez Sarduy que estuvieron siempre para orientarme y responder todas mis dudas.

RESUMEN.

La determinación de los síntomas en correspondencia a los defectos, constituye en la actualidad la base fundamental utilizada en la Central Termoeléctrica de Cienfuegos (CTE), 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.

En esta investigación se evalúan la factibilidad de la aplicación del MBC en la central, que da repuesta a la aplicación de las nuevas formas organizadas, y empleo de tecnologías de primer nivel, en lo referido a las mejoras logradas en la disponibilidad de los sistemas o equipos. El análisis se realiza a partir de dos etapas comparativas, antes de la aplicación del MBC (2006-2010) y posterior a su implantación (2011-2017). Los resultados demuestran que se logró una reducción de pérdidas de Energía Indisponible en un 44.1 %, lo que representan 1156,13 ton de combustible, con una ganancia en este periodo de \$512 602.88, al lograrse una mayor producción de energía con unidades más eficientes en el país.

ABSTRACT

The determination of the symptoms corresponding to the defects is currently the fundamental basis used in the Cienfuegos Thermoelectric Power Plant (CTE), 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.

In this research the feasibility of the application of the CBM in the plant is evaluated, which responds to the application of the new organized forms, and the use of first level technologies, in relation to the improvements achieved in the availability of the systems or equipment. The analysis is made from two comparative stages, before the application of the CBM (2006-2010) and after its implementation (2011-2017). The results show that a reduction in unavailable energy losses was achieved by 44.1%, which represents 1156.13 t of fuel, with a gain in this period of \$ 512 602.88, as higher energy production was achieved with more efficient units in the country.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO. CONCEPTOS SOBRE EL MANTENIMIENTO EN LAS ORGANIZACIONES	1
1.1 Evolución del mantenimiento.....	1
1.2 Sistemas de mantenimiento. Ámbito mundial y nacional.....	4
1.3 El mantenimiento en la Central Termoeléctrica	6
1.4 Tipos de mantenimiento	10
1.5 Mantenimiento basado en la condición MBC, como un complemento armónico del MPP objetivo de análisis del trabajo que se realiza.	11
1.5.1 Antecedentes del MBC.	12
1.5.2 Desafíos que enfrenta el MBC.	15
1.5.3 Tecnologías predictivas elementales para la aplicación del MBC.....	15
CONCLUSIONES PARCIALES.....	20
CAPITULO II: CARACTERIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO Y MÉTODOS APLICADOS DE MBC EN LA CTE CARLOS MANUEL DE CÉSPEDES DE CIENFUEGOS.....	22
2.1 Caracterización de la Central Termoeléctrica de Cienfuegos.....	22
2.2 Estructura de la Central Termoeléctrica Cienfuegos	24
2.3 Principio de funcionamiento de la central sistemas fundamentales que la componen	24
24	
2.4 Caracterización del mantenimiento en la Central Termoeléctrica de Cienfuegos	26
2.5 Situación técnica organizativa del mantenimiento en la Central Termoeléctrica de Cienfuegos, antes de la aplicación de las nuevas técnicas para el diagnóstico del estado de los dispositivos.	26
2.6 Estructura organizativa, parámetros de diagnóstico, instrumentos de mediciones. .	28
2.7 Equipos de última generación adquiridos y en explotación	29

2.8 Sistema organizativo para el diagnóstico y monitoreo de estado aplicado durante la implantación del Sistema de Mantenimiento en Base a la Condición.	36
2.8.1 Ciclos de monitoreo de los parámetros de estado.	38
2.9 Base de datos para el control y análisis de los parámetros de muestreo.	40
CONCLUSIONES PARCIALES.....	42
CAPITULO III: RESULTADOS TÉCNICO-ECONÓMICO OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN. ..	43
3.1 Resultados Técnico del comportamiento de los síntomas y defectos que predicen averías. Aplicaciones de la Técnica Pareto.....	43
3.1.1 Análisis cualitativo y cuantitativo de parámetros síntomas que predicen posibles averías a corto o largo plazo en el proceso de generación	44
3.1.2 Análisis cualitativo y cuantitativo de defectos que predicen posibles averías a corto o largo plazo.	46
3.2 Análisis cuantitativo de sistemas que generan mayor número de defectos.	47
3.3 Análisis técnico del parámetro vibraciones, temperatura, ruido, amperaje como medición predictiva de defectos.	49
3.3.1 Ejemplo: Ventilador Tiro Forzado 3A, análisis de tendencia chumacera 3.	50
3.3.2 Algunos ejemplos de aplicación de técnicas relacionados con la relación parámetro síntoma, causa-efecto.	52
3.4 Resultados económicos de la aplicación del sistema de mantenimiento por Diagnóstico Según Estados (MBC) a equipos categoría A y B	55
3.4.1 Evaluación de la Energía Indisponible (E.I) por años. En las dos etapas	55
3.4.2 Evaluación de la Energía Indisponible por limitaciones, emergencia y averías imprevistas por años, en las dos etapas.....	57
3.4.3 Proceso de cálculo determinación de ganancias por aplicaciones del MBC ..	60
CONCLUSIONES PARCIALES.....	61
CONCLUSIONES GENERALES.....	63
RECOMENDACIONES.	65

Bibliografía	66
NOMENCLATURAS	69
ANEXOS	71

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el área de mantenimiento ha cambiado aceleradamente, principalmente en aspectos de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico. Esto como consecuencia de la importancia que se le atribuye en el ámbito industrial, pasando a formar parte e influyendo de forma directa sobre la gestión y sobrevivencia de cualquier empresa, puesto que actualmente es el encargado de asegurar la condición operativa de una instalación, tomando en cuenta factores importantes como: seguridad del personal y del medio ambiente, gastos generales y utilización de recursos disponibles.

En búsqueda de mejoras sobre la gestión de mantenimiento, se han creado técnicas, metodologías y filosofías, denominadas como Mantenimiento de Clase Mundial, las cuales se fundamentan en cubrir principalmente aspectos importantes y generar propuestas tanto para contextos generales como específicos. Entre las nuevas tendencias encontramos: Mantenimiento Productivo Total (MPT), Optimización Costo Riesgo (OCR), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) y Mantenimiento Basado en Condición (MBC) éste último utilizado en este trabajo.

En general se ha establecido que el incremento de dos tercios en los tiempos de respuesta ha significado incrementos de más del 50% en las acciones proactivas necesarias. Partiendo de lo anterior, la Central Termoeléctrica Cienfuegos (CTE), con actitudes proactivas, encargada de explotar sistemas u equipos, para producir energía, se encuentra validando políticas de mantenimiento actualizadas, por lo que el propósito de este trabajo consistió en evaluar un plan de mantenimiento Basado en la Condición, para sistemas de equipos rotodinámicos. La evaluación del MBC fue elegida en este caso por encontrarse disponible historiales y registros confiables.

Ahora bien, la aplicación de tecnologías actuales, durante la gestión del mantenimiento, aplicado en sus tres variantes en la Central Termoeléctrica mantenimiento contra averías, el Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP) y el Mantenimiento Basado en la condición aplicado este último por el grupo de diagnóstico, desde sus inicios en el año 2010 y fortificado con altas tecnología, y un grupo de marcado nivel profesional en los últimos tiempos, se ha convertido en un factor de alto nivel y confiabilidad en la

reducción de las inesperadas averías que conllevan a la reducción de los altos costos del mantenimiento innecesario.

Para ello fue necesario que el mantenimiento fuera organizado, eficiente, desarrollado y que garantizara a un costo competitivo en su disponibilidad. Un ordenamiento muy bien definido de la secuencia de las operaciones, un control riguroso y periódico de los parámetros de estado fundamentales, un adecuado sistema de monitoreo de los parámetros de estado, así como la aplicación de altas tecnología para la realización de ensayos no destructivos, precisando en todos los casos de una organización del mantenimiento tal, que lo hagan competitivo y avanzado en base al estado técnico de los equipos y comprometido no sólo con la reparación sino con la previsión y anticipación de los fallos.

Para conocer los resultados de la aplicación práctica del MBC a partir del 2010 es necesaria la evaluación y control de la gestión de mantenimiento en la empresa ya que se necesita saber cuán eficiente es la aplicación de la política de mantenimiento que se ha planificado, para el entorno productivo de la empresa. Teniendo esta información de bases de datos, se puede actuar de forma rápida y precisa sobre los resultados por el método comparativo de la efectividad de aplicabilidad del sistema. Demostrándose que una buena política para controlar y evaluar la gestión de mantenimiento en la empresa resulta de la implantación, estudio y análisis de los parámetros de estado en el mantenimiento.

De ahí que se declare el siguiente **Problema Investigación:** La necesidad de evaluar los resultados de la aplicación del MBC, como una demostración práctica de su efectividad técnica y económica en los sistemas con equipos rotatorios

La investigación tiene como **Objetivo General:** Evaluación de los resultados técnico organizativos y económicos alcanzados durante la aplicación práctica del MBC, a equipos y sistemas rotodinámicos previamente seleccionados en la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos.

Derivándose como objetivos específicos:

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre temas relacionados con los sistemas de mantenimiento a nivel Mundial y Nacional.
2. Realizar un estudio que permite la categorización de la CTE, relacionado con su, funcionamiento, producciones, sistemas organizados de mantenimiento y aplicaciones de la actividad del diagnóstico.
3. Realizar una evaluación técnica de la aplicación del sistema de mantenimiento MBC, atendiendo al control que se realiza sobre los parámetros de estado, y su relación con las causas-efecto. Que redundan en la reducción de averías en CTE.
4. Realizar una evaluación técnico económica de los resultados del MBC

Justificación de la Investigación:

Con la investigación se le proporciona a la organización una metodología que le permite evaluar parámetros de estado en los equipos durante el mantenimiento, posterior a este, y durante la explotación, con la realización del trabajo se demuestra como los cambios en el sistema de mantenimiento permiten mejoras en el MPP, lográndose disminuir la tendencia a la aplicación del mantenimiento contra averías, a partir de la introducción de un seguimiento más efectivo del estado de los equipos al igual que la organización del mismo, quedando demostrado que la aplicación de la metodología que permite la valoración de la aplicabilidad del MBC : aporta entre otros resultados:

1. Disminución de averías, aumentando de forma considerable la disponibilidad y la confiabilidad de la empresa.
2. Alargamiento en la vida útil de los equipos.
3. Disminución del costo del ciclo de mantenimiento.
4. Utilización más adecuada de los medios técnicos, herramientas de trabajo y recursos humanos con que cuenta la empresa en la esfera del mantenimiento.

La tesis está estructurada en tres capítulos como sigue:

Capítulo I. Marco teórico. Conceptos sobre el mantenimiento en las organizaciones

Capítulo II: Caracterización del objeto de estudio y de los métodos de mantenimiento aplicados en particular el MBC

Capítulo III. Resultados técnico-económico obtenidos a partir de la aplicación del sistema de mantenimiento basado en la condición

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO. CONCEPTOS SOBRE EL MANTENIMIENTO EN LAS ORGANIZACIONES

El mantenimiento se define como el conjunto de acciones que permite mantener o restablecer un dispositivo a un estado específico de operación, para cumplir un servicio determinado. También puede definirse como conjunto de técnicas y procedimientos orientados a preservar las funciones de los activos industriales. El ingeniero de mantenimiento de hoy debe definir las acciones proactivas y preventivas para minimizar el desgaste de los componentes de la maquinaria y asegurar que esta opere de manera segura, eficiente y confiable, garantizando, además de la integridad del activo físico, la seguridad personal y ambiental.

1.1 Evolución del mantenimiento

Durante los últimos veinte años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización de esta actividad y sus responsabilidades (Moubray, 1997), (Jeira & Gibson, 2004). El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar: hasta qué punto las fallas en los equipos afectan la seguridad y el medio ambiente, la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo.

Varios autores (Alkaim, 2003), (Jaramillo, 2004), (Arias, 2006), consideran estos cambios acontecidos a través de tres generaciones, las cuales representan cómo han venido creciendo las expectativas respecto al desempeño del mantenimiento, la visión de la naturaleza de los fallos del equipamiento y las mejores prácticas utilizadas en una época determinada (ver Figura 1.1). Sin embargo, (García & Quijano, 2004), y (González, 2007), plantean que a los desarrollos en la tercera generación del mantenimiento se han ido añadiendo nuevas tendencias, técnicas y filosofías (ver Figura 1.2), de tal forma que actualmente se puede hablar de una *cuarta generación* del mantenimiento. A modo de resumen, en la Figura 1.3 se presenta como han ido

evolucionando las expectativas y técnicas del mantenimiento durante estas cuatro generaciones.

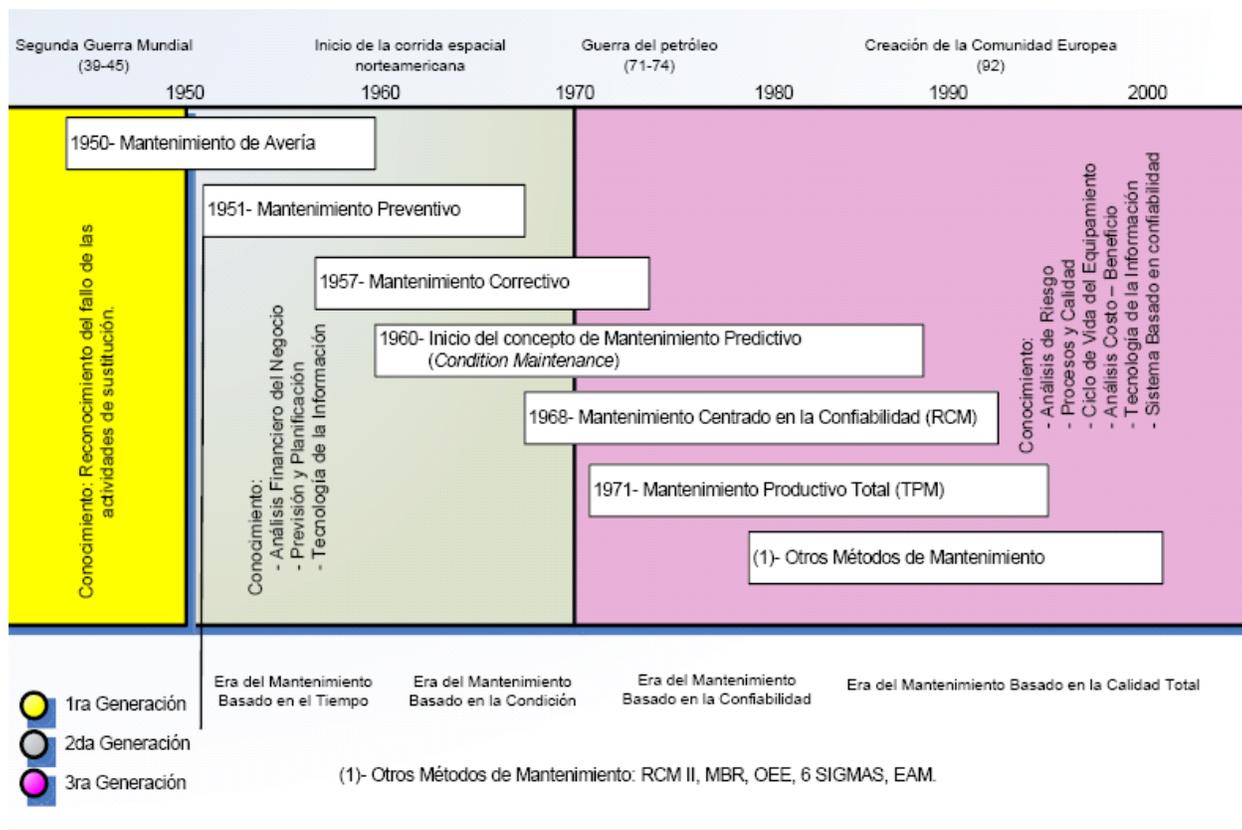
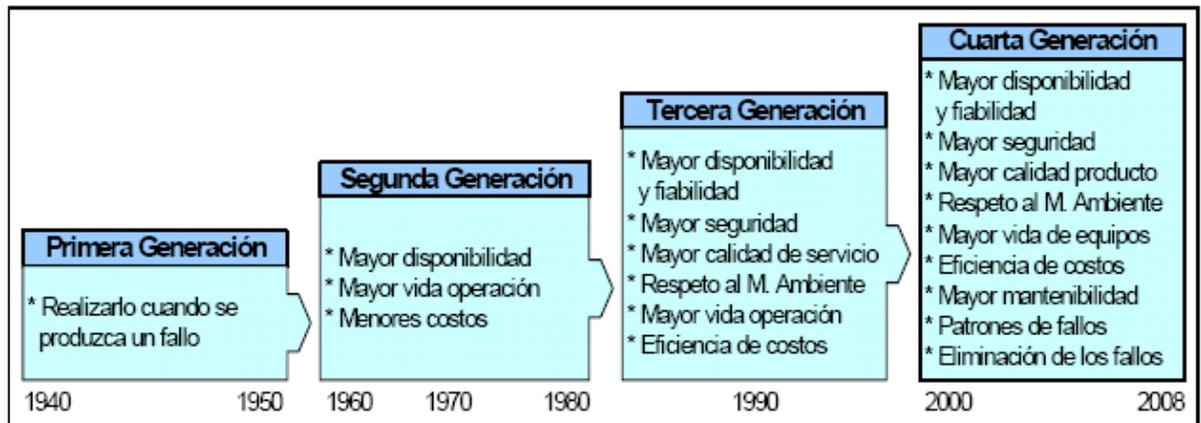


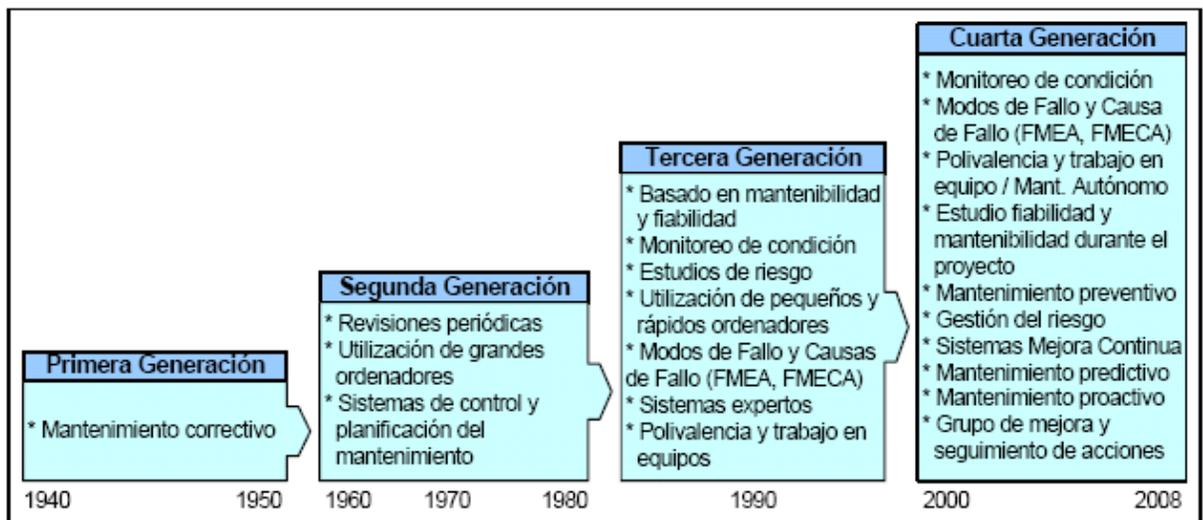
Figura 1.1 Síntesis evolutiva del mantenimiento. Fuente: (Alkaim, 2003)



Figura 1.2 Cuarta generación del mantenimiento. Fuente:(García González-Quijano, 2004)



a) Evolución de las expectativas del mantenimiento



b) Evolución de las técnicas de mantenimiento

Figura 1.3 Evolución de las expectativas y técnicas del mantenimiento.

Fuente: (García González-Quijano, 2004) y (González Fernández, 2007)

La definición del término mantenimiento ha sido expresada en diferentes libros, revistas, páginas *Web*, y otros documentos con puntos de vista similares y pequeñas diferencias o adaptaciones al caso de la empresa u organización de que se trate. Varios son los estudios realizados, (De la paz Martínez, 1997); (Batista Rodríguez, 2000); (Luis Felipe Sexto, 2017), 2001; (Dunn, 2002); (Alkaim, 2003); (García & Quijano, 2004), (Borroto Pentón, 2005) en los cuales se hace una caracterización del largo camino recorrido en el desarrollo del concepto de mantenimiento, definiendo las particularidades y elementos comunes de cada propuesta, así como sus objetivos, tareas y funciones.

Independientemente de la definición que se utilice, se percibe que los conceptos citados utilizan las expresiones “mantener”, “restablecer”, “conservar”, “restaurar” o “preservar” la función pretendida del activo hasta el estándar de funcionamiento deseado por sus usuarios. El autor se identifica con el concepto presentado por, (De la paz Martínez, 1997), dado que proporciona una visión más integral de esta actividad, en consonancia con la dimensión que ha alcanzado esta función en la actualidad y con su impacto en el entorno empresarial cubano.

Concerniente al objetivo principal del mantenimiento, además de los autores abordados en los estudios referenciados anteriormente, existe un grupo de planteamientos, (Mourdoch Misa, 1994); (Moubray, 1997); (Batista Rodríguez, 2000); (Sotoyo Blanco, 2001); (Torres, 2005); (Ochoa Guzman & Urquiza, 2014), que coinciden en definirlo, de manera general, como: *conseguir el máximo nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y/o de servicios con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible*. Todo lo anterior implica: conservar el sistema de producción y/o servicios funcionando con el mejor nivel de fiabilidad posible, reducir la frecuencia y gravedad de las fallas, aplicar las normas de higiene y seguridad del trabajo, minimizar la degradación del medio ambiente, adaptación rápida a los cambios del entorno (flexibilidad), controlar y reducir los costos a su mínima expresión, entre otros.

1.2 Sistemas de mantenimiento. Ámbito mundial y nacional

En la literatura especializada, han sido tratados indistintamente los sistemas de mantenimiento como políticas, estrategias o filosofías, métodos y tipos de mantenimiento, (Borroto Pentón, 2005), En la tabla 1.1 se muestra una recopilación de tipos de mantenimiento extraídos de la bibliografía consultada. Lo más común en las denominaciones es el término de sistemas. En Cuba, algunos autores, (Leiva Castro, 1996), (Miranda Chiguay, 2015); (Portuondo Pichardo, 1990); referenciados en, (Borroto Pentón, 2005), han identificado como sistemas de mantenimiento a los siguientes: sistema controlado mediante la supervisión en la producción, sistema regulado, sistema por interrupción en la producción o contra avería, sistema inspectivo, predictivo o por diagnóstico y sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP). También es conocido en la industria cubana, el Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM) como un sistema integrador de varios de los sistemas tradicionales; (De la paz Martínez, 1997)

Hoy en día existen infinidad de herramientas, técnicas, metodologías y filosofías de mantenimiento. Algunas de las más utilizadas pueden ser (Mundarain Castañeda, 2009); (Alkaim, 2003), (Fabro, 2003); (Trocel, 2007), (De la Torre, Arce Miranda, Cintado Hidalgo, Nieves Quintana, & Sierra Luque, 2008), (Fernández García, 1994), entre otros.

Tabla 1.1 Tipos de mantenimiento según varios autores.

Tipos de mantenimiento	de	Referencias
Mejorativo o modificativo		(Castillo Morales, 1999)
Programado, periódico o sistemático		Normas AFNOR, (De la paz Martinez, 1997)
Contra avería, reactivo, o correctivo		Normas AFNOR, (Leiva Castro, 1996)
Preventivo o basado en el tiempo		(De la paz Martinez, 1997), (Bruel, 1984)
Predictivo o basado en la condición		(Mundarain Castañeda, 2009), (Trocel, 2007), (Caram, 1990)
Proactivo		(Díaz, 1994), (Arguelles, 1987), (García-Ahumada, 2003), (García Garrido, 2010)

Resumen de otras fuentes: adaptado de (Borroto Pentón, 2005)

- Mantenimiento Autónomo/Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional (MCO)
- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC/RCM)
- Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR)
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en Reversa (MCC-R)
- Análisis Causa Raíz (ACR)
- Análisis de Criticidad (AC)
- Optimización Costo Riesgo (OCR)
- Inspección Basada en Riesgo (RBI)

Actualmente uno de los mayores retos para las personas encargadas en temas de mantenimiento no es sólo aprender todas las técnicas existentes, sino identificar cuáles son las adecuadas para aplicar en su propia organización y cuáles no, tanto desde el punto de vista técnico como económico (Jaramillo, 2004)

Ante las nuevas reglas de producción y la importancia que se le concede a la actividad integral de mantenimiento para el logro de esta, varios autores (De la paz Martinez, 1997); (Batista Rodriguez, 2000), (Borroto Pentón, 2005), han coincidido que, en principio, no es justificable pensar que toda una planta debe estar sujeta a un único tipo de mantenimiento. Cada equipo ocupa una posición desigual en el proceso industrial, y tiene unas características propias que lo hacen diferente del resto, incluso de otros equipos similares.

Con el objetivo de decidir sobre el tipo de mantenimiento más apropiado en cada caso se han presentado disímiles propuestas en la literatura. Estas propuestas pueden dividirse en dos tendencias fundamentales, la primera está relacionada a la presentación de metodologías que, considerando varios factores, permiten decidir directamente la política de mantenimiento a seguir en cada situación específica; la segunda estrategia, de mucho auge en la actualidad, consiste en la determinación del nivel de criticidad de cada activo dentro del proceso productivo para luego, en función de éste, asignar la política de mantenimiento que resulte pertinente.

1.3 El mantenimiento en la Central Termoeléctrica

El mantenimiento en la Termoeléctrica se enfoca como misión en garantizar la creación de condiciones óptimas en el estado técnico de los equipos, partes, piezas e instalaciones productivas en general, que permitan alcanzar altos niveles de disponibilidad técnica todo el año, con eficiencia y eficacia al menor costo posible, apoyados en el uso de las técnicas de diagnóstico y la automatización de la información, aplicar la ciencia y la técnica, crear condiciones para asimilar y desarrollar nuevas tecnologías así como la reducción de los costos impactantes en correlación al tema.

Las funciones principales y generales del mantenimiento se dirigen a:

- ✓ Organizar el proceso de prestación de servicio de mantenimiento y producción de piezas y componentes, utilizando las técnicas más modernas de diagnóstico para garantizar los altos niveles de disponibilidad técnica del equipamiento y la maquinaria.
- ✓ Organizar y entrenar la fuerza de trabajo en brigadas con un amplio perfil profesional.
- ✓ Proyectar y ejecutar sus planes y presupuestos, así como los objetivos y metas a alcanzar en cada período.
- ✓ Aplicar rigurosamente el sistema de mantenimiento establecido, apoyado en sistema de gestión automatizados para la toma de decisiones.
- ✓ Aplicar la política de innovación tecnológica de toda la maquinaria en general y asimilación de nuevos equipos y tecnologías para mejorar la eficiencia económica de la empresa, incrementar su competitividad y convertirla en un factor decisivo para el cambio tecnológico.
- ✓ Dirigir el proceso inversionista y contratar la ejecución de las obras.

Durante los últimos treinta años, se ha tenido en cuenta en la Empresa y UNE, que el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos en todos nuestros sistemas de generación de energía, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización de esta actividad y sus responsabilidades. El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar: hasta qué punto las fallas en los equipos afectan la seguridad y el medio ambiente, la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo, producto de todas estas exigencia surge la cuarta generación, donde se ha insertado la valoración del presente trabajo, que tiene como objetivo central, realizar una valoración técnico económica de la aplicación de MBC donde se tiene en cuenta aspectos esenciales como:

La Falla.

Se dice que un componente o equipo ha fallado cuando llega a ser completamente inoperante, puede todavía operar, pero no puede realizar satisfactoriamente la función

para la que fue diseñado o por serios daños es inseguro su uso, es decir, no puede o ha perdido la capacidad para cumplir su objetivo a satisfacción, ya sea en cantidad, calidad u oportunidad.

Incapacidad de un sistema o de uno de sus componentes para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado. Una condición de falla es simplemente un estado de operación insatisfactorio.

Tipos de Falla.

- ✓ **Falla Evidente:** Situación en la que la persona encargada de operar un equipo puede detectar una condición anormal utilizando únicamente sus sentidos, por ejemplo, cuando observa un incremento en la presión diferencial de un filtro, puede advertir que este se está taponando, o cuando observa que una bomba no descarga la presión requerida por posible excesivo desgaste del impulsor, o cuando nota una alta temperatura de un rodamiento como consecuencia de deficiencias en la lubricación.
- ✓ **Falla Oculta:** No se puede detectar durante la operación normal del equipo, estas fallas ocurren cuando se activa un evento secundario, por ejemplo una válvula de seguridad se mantiene stand by hasta que cierta presión es alcanzada por el recipiente que esta protege, en ese momento es cuando sabemos si trabaja correctamente o no.
- ✓ **Falla Incipiente:** En la mayoría de los casos las fallas son producto de un proceso de deterioro progresivo y cuantificable permitiéndose la predicción del tiempo para la falla. Incipiente es el momento en el que la falla se hace detectable. Vigilando los parámetros apropiados y definiendo valores permisibles esto resulta una tarea relativamente sencilla, la falla incipiente desde el punto de vista de la Confiabilidad es una falla funcional, es decir una de las funciones del sistema ha caído a límites inaceptables y deben planificarse las acciones proactivas, preventivas y/o correctivas oportunas para evitar la falla de la función principal del sistema.

El Equipo.

Está constituido por un grupo de partes ubicadas dentro de un paquete identificable, el cual cumple al menos una función de relevancia en forma independiente. Además, se

considera como un bien económico y técnico sujeto a mantenimiento. (Ej. Motores, bombas, intercambiador de calor, compresores de turbinas, cajas reductoras, etc.)

El Sistema.

Es un nivel de detalle constituido por un grupo de equipos que cumplen una función en específico. También suele definirse como un conjunto de elementos dinámicamente relacionados formando una actividad para alcanzar un objetivo. (Ej. Sistema de Bombeo, Sistema de Tratamiento de Agua, Sistema de Generación Eléctrica, etc.)

La Efectividad Operacional.

Puede definirse como la capacidad, que posee un equipo o sistema, de cumplir con sus funciones específicas y producir el efecto esperado. La efectividad relaciona las horas que el equipo está produciendo y las horas que dispone para hacerlo. Esta relación se evidencia en la ecuación para el cálculo de la efectividad, mostrada a continuación:

$$Efectividad = \frac{Horas\ Efectivas}{Horas\ Disponibles} \times 100$$

La efectividad operacional está estrechamente relacionada con las siguientes variables:

La Confiabilidad.

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una función específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin falla, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Si la efectividad de un equipo disminuye, es posible que este se haga menos confiable debido a la reducción del tiempo entre fallas.

La Disponibilidad.

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. Si la disponibilidad disminuye, es probable que también lo hagan las horas en que el equipo produce, y por ende, se hace menos efectivo.

La Energía Indisponible.

La Energía Indisponible es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de pérdidas de generación total que se genera por la limitación o parada de un equipo, al no cumplir la función para la cual fue destinado. Si la indisponibilidad disminuye, aumenta el proceso de producción de energía.

La Mantenibilidad.

Está definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). La mantenibilidad aumenta a medida que el tiempo fuera de servicio (TFS) disminuye. Un aumento del TFS trae como consecuencia elevación de las horas de parada y por ende reducción en la efectividad.

1.4 Tipos de mantenimiento

En correspondencia con el estudio realizado anteriormente se pueden sintetizar que se han definido los diferentes tipos de mantenimiento que se le aplican a equipos, máquinas e instalaciones de la termoeléctrica. De la manera que se describen a continuación, de una manera combinada como un Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM), atendiendo las condiciones particulares de los mismos.

Mantenimiento Correctivo.

Es una actividad que se realiza después de la ocurrencia de la falla. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones originales, por medio de la restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgastes, daños o roturas. Este se subdivide en dos grupos, los programados que se sabe con antelación que es lo que debe hacerse, y los no programados es el mantenimiento de emergencia (reparación de roturas). Debe efectuarse con urgencia ya sea por avería imprevista reparar lo más pronto posible o por una condición imprevista que hay que satisfacer.

Mantenimiento Preventivo Planificado. (MPP)

Esta forma de mantenimiento surge debido a la necesidad de remediar los inconvenientes del mantenimiento correctivo. A diferencia del anterior, la sustitución de las piezas o partes del sistema que pudieran causar averías se realiza con una cierta periodicidad, determinada mediante criterios estadísticos. Así la sustitución de un determinado elemento puede realizarse después de un cierto tiempo programado con anterioridad. Para la planificación de actividades de mantenimiento preventivo, es necesaria una correcta aplicación de criterios estadísticos para determinar los tiempos adecuados de intervención.

El mantenimiento preventivo, involucra todas las acciones que se planean y programan con el objetivo de ajustar, reparar o cambiar partes en equipos, antes de que ocurra una falla o daños mayores, eliminando o reduciendo al mínimo los gastos de mantenimientos y por supuesto, estableciendo controles para aumentar la productividad.

Mantenimiento Predictivo.

Se basa principalmente en el análisis de la condición. Su punto fuerte está en que es capaz de brindar información que permite conocer el estado de un elemento en un momento determinado y cómo ha sido su comportamiento a través del tiempo. Es decir, permite asignar los recursos de acuerdo a las necesidades de cada equipo conocidas antes de que ocurra la falla, mediante el monitoreo de la condición. El monitoreo de la condición no es más que un proceso que consiste en medir periódicamente una o varias variables asociadas a la máquina e interpretarlas con el fin de conocer el estado en que se encuentra.

1.5 Mantenimiento basado en la condición MBC, como un complemento armónico del MPP objetivo de análisis del trabajo que se realiza.

La detección y diagnóstico de problemas en una máquina sin detener su funcionamiento es el método de mantenimiento más conveniente. Según esto, se pueden detectar los problemas anticipadamente cuando los efectos que causan la falla son incipientes y no afectan por lo tanto el funcionamiento del equipo, además permite diagnosticar la naturaleza del problema con la máquina en funcionamiento. El objetivo del monitoreo de la condición de la maquinaria es recopilar el mayor número de datos representativos de

su funcionamiento con la finalidad de detectar las fallas en sus primeras etapas. El esquema mostrado en la **Figura 1.4** a continuación, representa el proceso general del mantenimiento basado en condición, el cual inicia con el monitoreo rutinario de los activos.

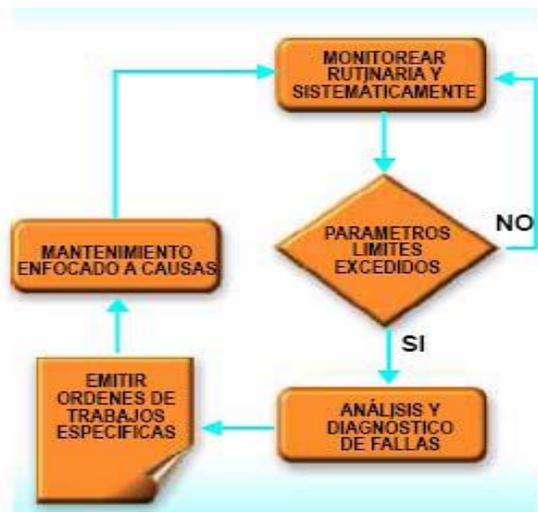


Figura 1.4 Proceso del mantenimiento basado en la condición. (Castillo Morales, 1999)

1.5.1 Antecedentes del MBC.

En los últimos años, se ha generalizado a nivel mundial una reducción de plantillas de mantenimiento. En muchos casos esto no se ha realizado racionalmente, lo que ha llevado a dos problemas.

Por un lado, el incremento en los tiempos de respuesta ante fallos de equipo, por falta de disponibilidad de personal. Con frecuencia esto se resuelve trabajando horas extra, o recurriendo a terceros para que den el apoyo técnico necesario.

Por otro, la imposibilidad de realizar ciertas tareas de mantenimiento proactivo, que se venían desarrollando hasta el momento de reducir las plantillas. En esta situación, el problema se hace más complejo ya que si se eliminan tareas proactivas se incrementan necesariamente las acciones correctivas en el futuro. En muchos casos su eliminación es inaceptable debido a que, si ocurren determinados fallos, las consecuencias serán muy graves (accidentes, paradas costosas, daños secundarios importantes). Esta situación es aceptada por los niveles gerenciales, que admiten que una parte de esas tareas proactivas deben seguir efectuándose.

Pero con la nueva estructura, la velocidad de respuesta habrá disminuido. Por lo tanto, ahora no podemos evitar esas consecuencias, con lo cual será necesario desarrollar acciones proactivas que antes no se justificaban.

En general (González, 2007) se ha establecido que el incremento de dos tercios en los tiempos de respuesta ha significado incrementos de más del 50% en las acciones proactivas necesarias.

Durante los últimos años y a raíz de todo lo expuesto, el concepto de mantenimiento basado en condición (MBC), ha suscitado enorme atención entre Gerentes y/o Jefes de Operaciones Industriales (tanto de Mantenimiento como de Producción) y Personal de Ingeniería de Mantenimiento.

El tradicional mantenimiento preventivo se basa en el concepto de prevenir el fallo antes de que ocurra. En efecto, se tienen dos formas clásicas de prevenir un fallo funcional. Ambos son “Mantenimiento Pro-Activo”: hago algo antes de que el fallo me haga algo.

En ambos casos, se busca restaurar o cambiar el elemento que produce el modo de fallo, antes de que ese modo de fallo produzca el fallo funcional.

Con esto se evitan las consecuencias que el fallo funcional traería consigo si lo de deja ocurrir, es decir, se evita “esperar el fallo” para corregirlo sólo después de ocurrido”.

Nótese que no se evitará la reparación ni el costo que ocasionará dicha reparación.

Pero sí se evitará las consecuencias que se tendrían si se deja que el fallo ocurra (consecuencias que pueden afectar a la seguridad, al medio ambiente o a la economía operativa).

Casi todos los fallos funcionales dan “algún aviso” de que están ocurriendo o por ocurrir: “el rodamiento hace ruido audible antes de fallar”; “el neumático del automóvil muestra visible desgaste cuando comienza a perder su funcionalidad”; “la temperatura del radiador aumenta cuando pierde agua”. Un ventilador vibra (desbalance), por desgaste o cúmulos de suciedad.

Esto permite evitar que la falla ocurra si se encuentra la forma de “chequear” si esas “condiciones” están presentes, efectuando la reparación antes de que el fallo ocurra

cuando la condición chequeada se presenta. No hacer nada, si la condición NO se presenta.

Es decir: existe un fallo potencial que advierte que un fallo funcional ha comenzado a ocurrir. Si se conoce ese fallo potencial, si es técnicamente factible chequearlo y si merece la pena ser efectuado, se encontró una tarea “predictiva” o “a condición” que permite realizar el mantenimiento nuevamente, antes de que la falla funcional y sus consecuencias ocurran.

Algunos pasos para implementar un efectivo MBC.

a) Recopilar las especificaciones técnicas de los activos.

El proceso de análisis de los datos y diagnóstico de las fallas depende en gran medida de la información técnica de los activos a monitorear, se deben conocer las características mecánicas, eléctricas y operacionales de estos activos. ¿Qué tipo y modelo de rodamientos usa?, ¿se trata de una bomba centrífuga o de tornillo?, ¿cuál es el producto manejado?, ¿velocidad, presión y temperatura de trabajo?

b) Identificar los activos a incluir en el programa.

Se trata de listar la maquinaria que será monitoreada, esta selección principalmente se basa en la criticidad de los equipos. ¿Qué tan sensibles son los activos para el proceso productivo?, ¿Cuál es su impacto a la seguridad y al ambiente en caso de fallas?, ¿Cuál es el costo o complejidad de su mantenimiento?, ¿Cuáles equipos tienen fallas recurrentes o con mayor frecuencia? Las respuestas a estas preguntas nos indican el estatus de criticidad de estos equipos y son la primera referencia para seleccionar los activos que integrarán el MBC. Comenzar con los más críticos es una buena práctica y luego progresivamente incluir los de menor criticidad. Este paso se apoya en el denominado Análisis de Criticidad.

c) Determinar el modo y efecto de falla de los equipos seleccionados.

Se debe conocer cuáles son los mecanismos que pueden desencadenar en una falla y las consecuencias de esto. Esta información es importante a fin de seleccionar la tecnología y los procedimientos de inspección. Esto requiere del conocimiento de la maquinaria desde el punto de vista mecánico, eléctrico y operacional. Saber cómo la máquina está conformada y como trabaja indica los modos en que puede fallar, así se

definirá la mejor forma de captar los síntomas de estas fallas en su estado prematuro. Este proceso se conoce como Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).

d) Seleccionar la tecnología predictiva.

Existe un arsenal de tecnologías que permiten captar el lenguaje de la maquinaria. El como la máquina expresa su salud a través de diversos parámetros, es la clave para seleccionar la tecnología adecuada, aquella capaz de captar condiciones anormales en estado prematuro, antes de que las fallas se hagan incontrolables. Estas tecnologías especializadas miden y registran variables representativas del estado funcional de la maquinaria a un nivel tal que permita hacer seguimiento a la evolución de los diversos problemas detectados y activen el potencial de la planificación y programación oportuna y específica del mantenimiento

1.5.2 Desafíos que enfrenta el MBC.

Los desafíos más importantes que enfrentan las personas dedicadas a mantenimiento, en lo que respecta al Mantenimiento Basado en la Condición son los siguientes:

- ✓ Conocer las técnicas de mantenimiento “Basado en la condición” que existen en el mercado (hay casi un centenar de técnicas predictivas, teniendo en cuenta su grado de desarrollo).
- ✓ Decidir cuál de todas las técnicas de mantenimiento “Basado en la condición” es técnicamente adecuada para sus equipos.
- ✓ Si la inversión requerida merece la pena.
- ✓ Poder decidir entre más de una técnica aplicable a su búsqueda, cuál es la más conveniente.
- ✓ El proceso de MBC-MCR ayuda a resolver cada uno de estos puntos partiendo de la información sobre casi un centenar de técnicas predictivas, teniendo en cuenta su grado de desarrollo, aplicaciones más frecuentes, (definirá la frecuencia de inspección), destrezas requeridas, ventajas y desventajas.
- ✓ Asegurar la mejor decisión.
- ✓ Contar con una evidencia objetiva de la decisión tomada.

1.5.3 Tecnologías predictivas elementales para la aplicación del MBC.

Las tecnologías predictivas son herramientas que permiten detectar con suficiente anticipación cambios en las condiciones mecánicas, eléctricas y operacionales de la

maquinaria a través del monitoreo de variables como temperatura, ultrasonido, vibración, entre otras. En los programas de mantenimiento basados en la condición, se utilizan distintas herramientas predictivas que permiten inspeccionar aspectos claves, sobre los activos físicos industriales. Estas pronostican la ocurrencia de un evento o falla de un componente, en función del nivel de riesgo y la condición de operatividad de un equipo crítico. La **Tabla 1.2** muestra de las técnicas y variantes medidas dentro del mantenimiento predictivo.

Tabla 1.2. Ejemplo de mediciones de parámetros usados para el diagnóstico.

Rendimiento	Mecánica	Eléctrica	Análisis de aceite, calidad de producto y otros.
Consumo de energía. Eficiencia. Temperatura. Termografía. Presión. Flujo.	Expansión térmica. Posición. Nivel de fluido. Vibración Ruido audible. Ultrasonido: ondas. Parámetros de estado Excentricidad Flexiones	Corriente. Voltaje. Inductancia. Resistencia. Capacitancia. Campo magnético. Aislamiento.	Análisis de aceite. Análisis de trazas de hierro. Dimensiones de producto. Propiedades físicas de producto. Propiedades químicas. (color, olor, apariencia) Otras pruebas no destructivas.

Fuente: ISO 13379. Condition monitoring and diagnostics of machines- General guidelines on data interpretation and diagnostics techniques, 2003. Pág. 8

Usando varias tecnologías se pueden revisar y confirmar los hallazgos entre tecnologías. Así, una técnica puede encontrar problemas que no pueden ser detectados con otra. Esta es la principal razón de aplicar varias tecnologías, ya que hay muy pocos beneficios al utilizar solo una o dos técnicas predictivas. Es posible que no se detecten las señales de advertencia que se están presentando, así que los equipos fallan de cualquier manera.

Como se puede apreciar en la **Tabla 1.3** a continuación, existe un sinnúmero de parámetros que sirven para conocer la condición de un equipo, al momento de la medición.

Tabla 1.3. Parámetros de monitoreo por tipos de equipos.

Parámetros	Tipo de equipo.						
	Motor eléctrico	Turbina de gas	Bomba	Compresor	Generador eléctrico	Motor de combustión	Ventilador
Temperatura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Presión		✓	✓	✓		✓	✓
Cabeza de presión			✓				
Flujo de aire		✓		✓		✓	✓
Flujo de combustible		✓				✓	
Flujo de fluido de trabajo		✓	✓	✓		✓	
Corriente	✓				✓		
Voltaje	✓				✓		
Resistencia	✓				✓		
Entrada/salida de energía	✓		✓	✓	✓		
Ruido	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vibración	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Técnicas acústicas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Presión de aceite	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Consumo de aceite	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tribología	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Torque	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Velocidad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eficiencia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: ISO 13379. *Condition monitoring and diagnostics of machines- General guidelines on data interpretation and diagnostics techniques*, 2003. Pág. 10

Entre las tecnologías predictivas más importantes se encuentran:

❖ **Análisis de Vibraciones.**

Esta tecnología (Chaviano Bernal, 2004) se ha convertido en una de las herramientas de inspección más usadas en el monitoreo de maquinaria rotativa, se aplica sobre una gran variedad de tipos de máquinas y genera información muy confiable para el

diagnóstico y predicción de diversas fallas. La vibración posee características que hacen posible el diagnóstico de distintas fallas a través de su medición, registro y análisis:

Toda maquinaria vibra implícitamente como parte de su operación normal. Los niveles anormales de amplitud de vibración son consecuencia de la presencia o avance de alguna falla. La gran mayoría de las fallas mecánicas generan señales de vibración con patrones característicos. Actualmente la industria cuenta con diferentes referencias para establecer los niveles de amplitud de vibración permisible para sus equipos rotativos:

- Estándares industriales como las normas API, ISO, AGMA, VDI, NEMA.
- Recomendaciones de los fabricantes de máquinas.
- Recomendaciones de los fabricantes de instrumentación y equipos para el Monitoreo y análisis de vibraciones.
- Siendo lo más recomendables los comportamientos históricos de Bases de Datos.

Los estándares son criterios establecidos por autoridades, organizaciones o consenso general. Un estándar debe representar un amplio consenso de opiniones de una gran variedad de usuarios, debe ser aceptado y aplicado en toda su plenitud. Los estándares deben ser claros, concisos y fácilmente entendibles. En materia de monitoreo y análisis de la señal de vibración en equipos rotativos se cuenta hoy en día con una variedad de estándares que regulan los límites máximos aceptables de amplitud para diversos tipos de máquinas y aplicaciones, los estándares además regulan los procedimientos de medición y adquisición de los datos.

La Organización Internacional de Estándares (ISO) estableció una serie de normas para regir el monitoreo de vibraciones. La serie ISO 7919 (**Tabla 1.4**), regula los criterios de evaluación en máquinas no recíprocamente para mediciones en el eje de máquinas rotativas. La serie ISO 10816 (**Tabla 1.5**), establece los criterios para mediciones sobre los pedestales o carcasa de las máquinas no recíprocamente.

Tabla 1.4. Criterios de evaluación y medición de vibración mecánica en ejes para máquinas no recíprocamente.

Norma	Descripción
-------	-------------

7919 – 1 / 1996	Criterios generales
7919 – 2 / 2001	Turbinas y generadores apoyados en tierra mayores de 50 MW. con velocidad normal de operación de 1500, 1800, 3000 y 3600 rpm
7919 – 3 / 1996	Máquinas industriales acopladas
7919 – 4 / 1996	Conjunto de turbinas de gas
7919 – 5 / 1997	Máquinas que generan potencia hidráulica

Tabla 1.5. Criterios de evaluación y medición de vibración mecánica en carcaza para máquinas no reciprocantes.

Norma	Descripción
10816 –2 / 2001	Criterios generales
10816 –3 / 1998	Máquinas industriales con potencias superiores a 15 KW. y velocidad normal entre 120 y 15000 rpm.
10816 –4 / 1998	Conjunto turbinas de gas excluyendo las aeroderivativas

❖ **Tribología y Análisis de Aceite.**

La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la fricción entre superficies con movimiento relativo entre sí, incluye también el estudio de la lubricación y el desgaste. Los aceites y grasas lubricantes representan la “sangre” de la maquinaria industrial, sus funciones básicas son disminuir la fricción, el desgaste y disipar el calor, por lo tanto, el monitoreo del aceite o el de sus propiedades es de vital importancia para definir el estado o condición de una máquina. el monitoreo de la condición de los lubricantes comprende el estudio y análisis de sus propiedades físicas y químicas como la viscosidad, la temperatura, la acidez, nivel de aditivos, la presencia de elementos contaminantes como agua o partículas sólidas y el estudio de los elementos de desgaste de componente.

El análisis de lubricantes como tecnología de inspección predictiva-proactiva se ha convertido en una herramienta de amplio uso en los programas de mantenimiento industrial. Como un instrumento de mantenimiento, el monitoreo y análisis de lubricantes es usado para determinar la condición de una amplia gama de maquinarias

y equipos, la meta de esta aplicación es incrementar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de las plantas industriales a través de la minimización de las fallas inesperadas, reducción de los costos asociados al consumo de lubricantes, consumo de energía, repuestos y sobre tiempo.

❖ **Termografía Infrarroja.**

La termografía es aplicada en algunos casos particulares para inspeccionar equipos rotativos como motores eléctricos, rodamientos y acoples; pero su mayor campo de aplicación y efectividad se observa en el monitoreo de equipos estáticos como hornos, líneas de tuberías, entre otros.

❖ **Análisis de Corriente en Motores.**

Los motores eléctricos están presentes en la mayoría de las aplicaciones industriales, además de las fallas mecánicas que pueden afectar su desempeño, fallas de tipo eléctrico, que pueden originarse bien por deficiencias en la alimentación o por deficiencias en el ensamblaje. El monitoreo de la condición eléctrica se basa en la medición y registro de señales de corriente, voltaje velocidad y flujo magnético. Entre otros.

CONCLUSIONES PARCIALES.

- 1 Del estudio anterior se puede sintetizar, la evolución de las técnicas de mantenimiento ha sido motivada por el desarrollo tecnológico de la industria y disciplinas como la electrónica y la informática que han ayudado a la obtención de herramientas para el diagnóstico.
- 2 La recopilación de las características técnicas de los activos, la identificación de sus funciones y su importancia en el sistema permiten una adecuada y mejor aplicación del sistema de mantenimiento a emplear.
- 3 Existen tres variantes fundamentales del mantenimiento, que son aplicable en todas las industrias el Mantenimiento Contra Averías, el Mantenimiento Preventivo Planificado y el Mantenimiento Predictivo, este último en la actualidad tiene varios matices y enfoques técnico en dependencia del modo de empleo, técnicas aplicadas en su organización y equipamiento para análisis de parámetros de estado.
- 4 El Mantenimiento en Base a la Condición, como modalidad del Predictivo, tiene resultados positivos en la aplicación en equipos rotodinámicos, si se relaciona con

parámetros óptimos (vibraciones, temperatura, ruido otros) y si se cuenta con tecnologías acorde al desarrollo actual.

CAPITULO II: CARACTERIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO Y MÉTODOS APLICADOS DE MBC EN LA CTE CARLOS MANUEL DE CÉSPEDES DE CIENFUEGOS

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 MBC para determinar el acierto y veracidad de su aplicabilidad en los sistemas fundamentales en la CTE.

2.1 Caracterización de la Central Termoeléctrica de 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 y parar la producción ya que dicho acto iba a 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 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.

Tecnologías de Fabricación Instaladas posterior al triunfo de la Revolución

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 sistema por presentar un alto consumo específico y 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 MW-h 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 de 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 Termoeléctrica Cienfuegos

La estructura organizativa (ver **Anexo No.1.**) se presenta acorde a las exigencias actuales del desarrollo industrial, donde pondera el manteniendo 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 explotación de los sistemas asociados al proceso de generación de energía

2.3 Principio de funcionamiento de la central sistemas fundamentales que la componen

La producción de energía eléctrica en plantas térmicas se centra en un proceso de transformación de energía como se relaciona esquemáticamente en la **Figura 2.1**

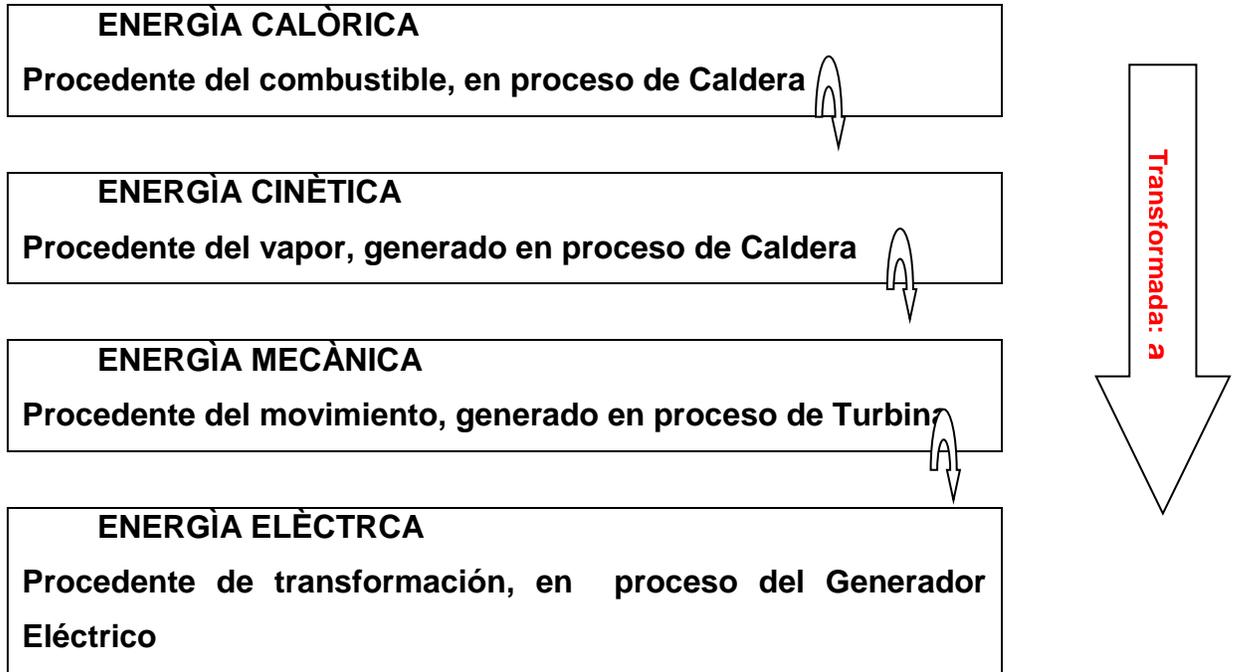


Figura 2.1 Proceso de transformación de energía. Fuente: elaboración propia

Para este proceso de transformaciones de energía, se hace necesaria la presencia de agua para la producción de vapor, combustible y aire en caldera para la producción de calor, finalmente una turbina de vapor acoplada a un generador eléctrico, que consumiendo la energía mecánica desarrolla la transforman en energía eléctrica.

En la **Figura 2.2** a continuación se muestra el esquema elemental de una planta termoeléctrica

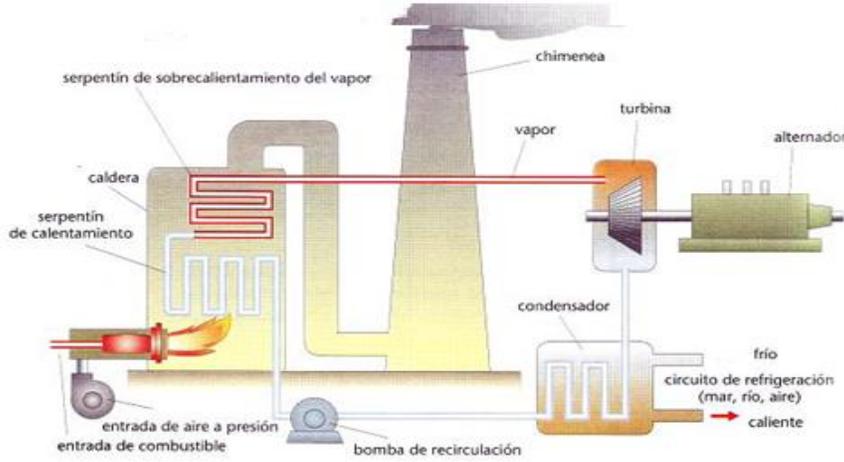


Figura 2.2: Esquema general de una central térmica. (González, 2007).

Del esquema presentado para cumplir las condiciones de este proceso la Central Termoeléctrica de Cienfuegos requiere de dos sistemas elementales, Sistema Caldera y equipos auxiliares, Sistema Turbina y equipos auxiliares. Otros sistemas comunes que apoyan estos dos sistemas. Donde se centran los objetivos del presente trabajo. En el Anexo 2 se presenta un esquema con los equipos que componen los Sistemas Caldera Equipos Auxiliares, Turbina y Equipos Auxiliares, así como los Sistemas Comunes a ambos sistemas.

2.4 Caracterización del mantenimiento en la Central Termoeléctrica de Cienfuegos

El mantenimiento en la empresa lo centra el Grupo Inspección y Planificación del Mantenimiento (ver Anexo 1), con el apoyo de un grupo de diagnóstico que se ubica en la Dirección Técnica, cuya función fundamental es coordinar todas las actividades del área de mantenimiento con vistas a lograr la máxima disponibilidad de los equipos, así como una operación eficiente. Para esto cuenta con el trabajo de apoyo de los talleres de mantenimiento: Taller Mantenimiento Mecánico, Taller Mantenimiento Eléctrico, Taller Mantenimiento Automático y Taller de Maquinado.

La base de trabajo actual del grupo de planificación y los talleres de mantenimiento de la empresa es un Sistema Flexible o Alternativo de Mantenimiento el cual se basa en lo fundamental en la combinación de un sistema organizativo de los tres tipos de mantenimiento: el Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP), Mantenimiento Correctivo, y el Mantenimiento Predictivo en la fase fundamental el MBC, este último introducido a partir de un proyecto en el año 2004.

2.5 Situación técnica organizativa del mantenimiento en la Central Termoeléctrica de Cienfuegos, antes de la aplicación de las nuevas técnicas para el diagnóstico del estado de los dispositivos.

Con anterioridad a la formación del grupo de diagnóstico en 1993 (Chaviano Bernal, 2004), 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).

En la medida que se fue ganando en organización y mejoras técnicas, por parte de las áreas de planificación y los mantenedores, se diagnostica a partir de estudios algunos inconvenientes a resolver en largo plazo.

- ❖ 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 desarmen 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 existen 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 MBC se creó un equipo de trabajo, el cual estuvo integrado por:

- ❖ Técnico Principal del Grupo de Diagnóstico.
- ❖ Grupos de trabajo de Diagnóstico por Talleres de Mantenimiento
- ❖ Apoyo de la Universidad de Cienfuegos

Problemas fundamentales que se detectaron 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. 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.

También se identificaron como puntos fuertes:

1. Profesionalidad y espíritu de sacrificio.
2. Buen conocimiento de los equipos y de su mantenimiento.

2.6 Estructura organizativa, parámetros de diagnóstico, instrumentos de mediciones.

El completamiento del grupo de diagnóstico con una estructura que abarcara todas las variantes de control de parámetros de estado para diagnóstico, creada en el año 2010, permite, con las experiencias adquiridas, establecer un diagnóstico de estado técnicamente profesional y al alcance de los estatus actuales del desarrollo industrial. Para ello fue imprescindible una inversión que abarcara, la preparación profesional de los integrantes de la nueva estructuración de trabajo, así como, la adquisición de instrumentos que dieran respuesta al nuevo sistema MBC.

En la **Figura 2.3** que sigue se relaciona la nueva estructura constituida por 6 especialistas en la actividad del diagnóstico

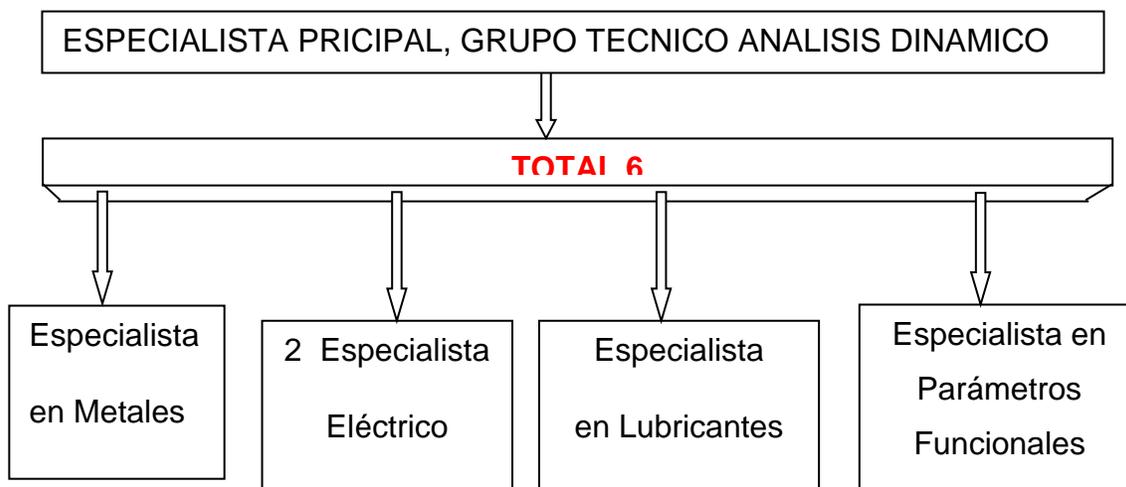


Figura 2.3 Estructura del grupo de diagnóstico actual. **Fuente:** Elaboración Propia

Parámetros de estado a controlar.

En la Figura 2.4 a continuación, se presentan los parámetros de estado fundamentales a controlar a partir de un sistema de monitoreo planificado para la actividad del diagnóstico.



Figura 2.4 Parámetros de estado a controlar.

Además de los indicados anteriormente, se trabaja en lo particular el análisis de los parámetros relacionado con los lubricantes entre otros,

- Viscosidad
- % de Agua
- Densidad
- Presencia de partículas ferrosas y no ferrosas en aceite y grasas.

2.7 Equipos de última generación adquiridos y en explotación

La inversión en equipos de última generación realizado en la central para la aplicación del diagnóstico, presentan un alcance técnico a nivel mundial, en lo que sigue se presentan a nivel de muestra algunos de ellos.

Instrumentos fundamentales para Análisis Dinámico



Vibrotest 60

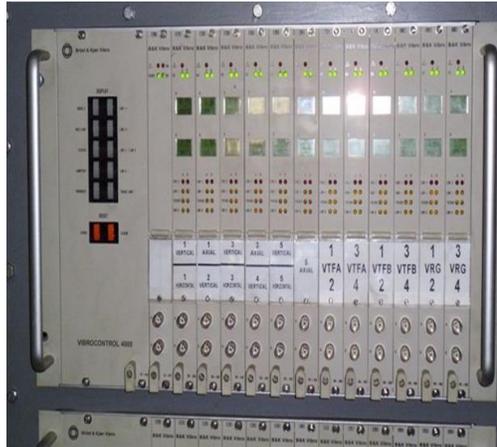
- 1.-Para realizar rutas preconfiguradas de medición de vibraciones.
- 2.-Para medir vibración en valor global del estado de rodamientos BCU
- 3.-Para visualizar espectros de vibración y espectros, para rodamientos BCU
- 4.-Medidas de otros parámetros en DC
- 5.- Medidas ángulos de fase de las ondas de vibración y RPM
- 6.-Para realizar equilibrados in situ



VIBXpert II

- 1.- Para realizar rutas de medición de vibraciones.
- 2.-Para medir vibración en valor global.
- 3.-Para visualizar espectros de vibración y, señales en el tiempo, pulsos de choque (estado de rodamientos y engranes)
- 4.-Para medidas de otros parámetros DC y AC, RPM, Angulo de fase, temperatura.
- 5.-Para realización de balances in situ
- 6.- Para medición de órbitas de eje y chumacera.
- 7.- Para realizar características de velocidad. (Velocidad vs vibraciones)

VIBROCONTROL 4000 (Sistema de monitoreo en tiempo real, de Turbina) Costo \$ 142832.00



1.- Mediciones dinámicas en tiempo real

2.-Para medir vibración en valor global, mediciones Absolutas y Relativas en eje.

3.- Para visualizar espectros de vibración

4.- Mediciones de RPM.

5.- Expansiones relativa y absoluta de turbina

Nota: con este instrumento se miden y guardan a partir del Programa VCM 400, todas las mediciones del parámetro de estado Vibraciones, en los equipos fundamentales de planta en tiempo real.



UTRAPROBE 2000. Costo

\$4000.00

1.- Detección de la falla en rodamientos

2.-Detección de Fugas

3.-Revisión de transformadores, interruptores otros aparatos eléctricos

4.- Detección de arco eléctrico, corona y seguimiento

Instrumentos fundamentales para Análisis Eléctrico

Equipo para comprobación de devanado RISATTI



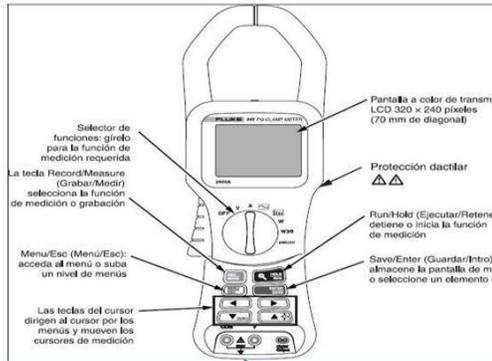
RISATTI Costo: \$57510.98

Este equipo es particularmente indicado para pruebas de laboratorio, para el mantenimiento y reparación. Apropiado para pruebas en estatores y motores, tanto mono como trifásicos y en corriente directa; transformadores; devanados en general; rotores en jaula de ardilla y armaduras; para medio y bajo voltaje.

Con él se pueden realizar las siguientes pruebas:

- Prueba de impulso tipo rayo
- Prueba de aislamiento eléctrico
- Prueba de resistencia del aislamiento
- Prueba de impulso normalizada de 1,2/50 (tipo rayo)
- Medición de resistencia óhmica

PINZA AMPERIMÉTRICA



**PINZA AMPERIMÉTRICA COSTO:
\$ 4056.44**

Mediciones de corriente, voltaje y calidad de potencia.

Esta puede medir:

- ✓ **Voltaje y corriente alterna**
- ✓ **Potencia activa, reactiva y aparente monofásica**
- ✓ **Potencia trifásica activa, reactiva y aparente balanceada**
- ✓ **Frecuencia de la red**
- ✓ **Formas de ondas**
- ✓ **Armónicos**
- ✓ **Corrientes de arranque INRUSH**
- ✓ **Reproducción y guardado de las mediciones**

SPINTERÓMETRO Costo \$19648.11



La más Importante de las Pruebas

Prueba fundamental de la característica del Aceite simple y Segura

Da una buena idea de la condición del Aceite, se aplica un Voltaje entre dos electrodos inmersos en Aceite y se aumenta el voltaje hasta encontrar el voltaje de ruptura o arco

<p>MEGGER MIT 1020 COSTO: \$ 6350.24</p>	<p>Prueba de tiempo corto o prueba de Spot</p> <p>Pruebas de Tiempo-Resistencia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Razón de absorción dieléctrica - Índice de Polarización - Prueba de voltaje de escalón <p>Prueba de Descarga Dieléctrica (DD)</p>
---	--

Instrumentos fundamentales para control de metales

<p>ESPECTROMETRO PMI MASTER PRO \$82401.23</p>	<p>El Espectrómetro PMI-Máster PRO es un equipo de precisión que se distingue por su fácil manejo, el cual se utiliza para la Clasificación y Análisis de los Metales, fundamentalmente las aleaciones de Hierro, Níquel, Aluminio y Cobre, Aplicaciones en planta.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Análisis de materiales almacenados. 2.- Análisis de materiales para soldar. 3.- Análisis de piezas de repuestos a fabricar por maquinado
---	--

MEDIDOR DE ESPEORES
COSTO \$1088.57



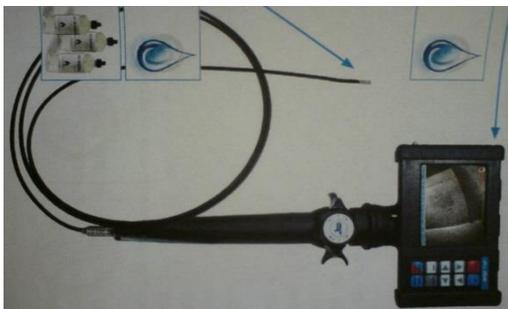
❖ El medidor de espesores Ultrasónico Testboy 75, es un instrumento manual para hacer mediciones rápidas y precisas de distintos espesores de materiales, es capaz de medir los espesores de varios materiales con una alta precisión en el rango de ± 0.5 mm (± 0.1). Entre los materiales que pueden ser medidos se encuentran: Acero, Cobre, Aluminio, PVC, Polietileno, entre otros.

DURÓMETRO PCE-2500 COSTO \$1626.77



El medidor de dureza PCE-2500, es un avanzado mini medidor de dureza que se caracteriza por su alta precisión, gran rango de medición y su facilidad de uso. Es adecuado para medir la dureza de metales y puede ser usado en infinidad de sectores industriales

VIDEOSCOPE COSTO \$41498.21



La diversidad de objetos a inspeccionar, materiales y malas condiciones de iluminación hacen difícil una inspección y obtener imágenes de alta calidad, con el iRis DVR 360° Industrial Videoscope es posible acceder a estos lugares y obtener en la inspección imágenes óptimas aún en condiciones extremas.

Instrumentos fundamentales para análisis general.

CAMARA TERMOGRÁFICA COSTO: \$25935.86	<ol style="list-style-type: none">1. Instalaciones y líneas eléctricas de Alta y Baja Tensión.2. Cuadros, conexiones, bornes, transformadores, fusibles y empalmes eléctricos.3. Motores eléctricos, generadores, bobinados, etc.4. Reductores, frenos, rodamientos, acoplamientos y embragues mecánicos.5. Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
--	---



2.8 Sistema organizativo para el diagnóstico y monitoreo de estado aplicado durante la implantación del Sistema de Mantenimiento en Base a la Condición.

La característica principal de todas las formas organizativas avanzadas de mantenimiento es que se basan en el conocimiento del estado técnico real de las máquinas objeto de análisis. Por ello la aplicación de un sistema de muestreo de datos como el que se presenta a continuación en la **Figura 2.5**, responde a las exigencias actuales del central aplicado en el Mantenimiento por Diagnóstico en Base a la Condición.

Este Sistema Organizativo, para los equipos de Categorías A y B ha permitido el muestreo de datos por parte de las diferentes áreas de la central, de manera tal que cada forma y técnica aplicada para la adquisición de la información necesaria convergen en un solo análisis. Este tipo de organización ha permitido establecer la dinámica de los parámetros de estado y su correlación con las posibles fallas en los dispositivos, con el propósito de evitar las averías.

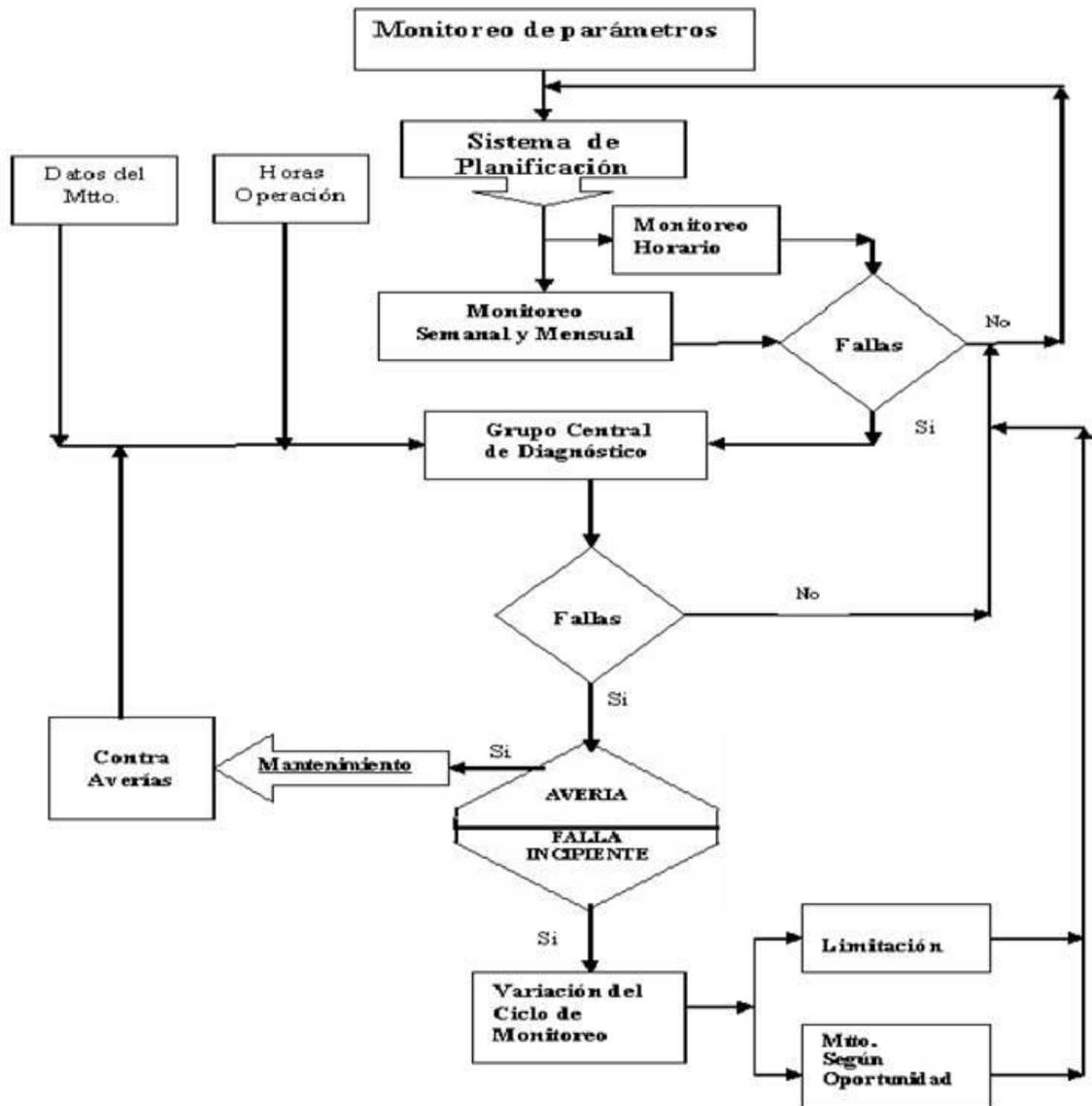


Figura 2.5 Diagrama funcional de monitoreo y muestreo de parámetros de estado.

Donde:

Todo el control se establece por el Grupo de Diagnóstico, con un Sistema Dinámico Planificado para el monitoreo y análisis de datos de la manera siguiente:

El Monitoreo Horario: Realizado por Operadores de Planta con una frecuencia horaria.

El Monitoreo Semanal: Realizado por el Grupo de Diagnóstico con una frecuencia semanal.

El Monitoreo Mensual: Realizado por el Grupo de Diagnóstico con una frecuencia mensual.

Las Horas de Operación y Datos del Mantenimiento: Proviene del área de planificación de mantenimiento su frecuencia depende de la dinámica propia del mantenimiento.

Los análisis de las posibles Fallas: Son realizados por Grupo de Diagnóstico Central, a partir de: los datos obtenidos del Sistema de Muestreo, de las horas de funcionamiento y de los datos provenientes del área de planificación de mantenimiento. Para la realización de este análisis se utilizan software de un mayor nivel de diagnóstico, estadísticos, etc. Dependiendo de la calidad del muestreo y del nivel técnico y profesional de los especialistas del grupo central, las Fallas podrán ser detectadas con suficiente tiempo, de manera que permita tomar medidas adecuadas a cada caso. En general se presentan dos tipos opciones:

- **Cuando ocurre la Avería:**

Mantenimiento Contra Avería.

- **Cuando la Falla es detectada en su inicio:**

Mantenimiento por Oportunidad

Limitaciones.

En ambos casos con la correspondiente variación del ciclo de monitoreo para controlar el desarrollo del defecto.

2.8.1 Ciclos de monitoreo de los parámetros de estado.

El control periódico del muestreo de los Parámetros de Estado (Ensayos no destructivos), permiten detectar prematuramente las posibles Fallas Incipientes y de esta forma poder planificar de forma adecuada las acciones del mantenimiento con vistas a evitar averías no planificadas. En la Tabla 2.1, se muestra un resumen del Tiempo entre Muestreo de los parámetros de estados que varía en dependencia de la importancia productiva del equipo (atendiendo a su categorización), a continuación, se cita un ejemplo para las bombas de agua de alimentar japonesas.

Tabla. 2.1 Tiempos de muestreo de los parámetros que intervienen en el diagnóstico del estado ejemplo, de la bomba de agua de alimentar japonesa.

Parámetro de Estado	Monitoreo Continuo(T.R.)	Monitoreo Por hora	Monitoreo Semanal	Monitoreo Mensual	Pruebas Antes y después de Mtto
Corriente (PO)	No	X	X	X	X

Voltaje	No	X			X
Insumo (PO)	No	X		X	X
% de reg. Rama Alimentar	No			X	X
Flujo de Bomba (PO)	No	X		X	X
Flujo de Agua Alimentar	No	X			X
Flujo Atemperar Vapor Sobrecalentado	No				X
Flujo Atemperar Vapor Recalentado	No				X
Presión de Descarga (PO)	No	X		X	X
Presión de Succión (PO)	No	X		X	X
Presión de Aceite en chumaceras	No	X		X	X
Temperatura Aceite en chumaceras (PO)	No	X	X	X	X
Temperatura del Motor (PO)	No	X	X	X	X
Presión Disco Balance (PO)	No	X	X	X	X
Presión Agua de sellaje (PO)	No	X	X	X	X
Vibraciones (PO)	No	X	X	X	X
Viscosidad del aceite	No			X	
% de Agua en aceite	No		X	X	
Vibraciones (PO)	si	X	X	X	X
El resultado espectral de la vibración	No			X	X

Donde:

T.R: Tiempo Real

PO: Parámetro Óptimo

Nota: En estos sistemas de monitoreo su periodicidad en el tiempo puede variar estando sujeta a las variaciones crecientes o decrecientes de la magnitud y severidad del parámetro vibraciones, así como a la posible causa de los defectos.

Con este sistema organizativo representado en las tablas anteriores, se logra mantener una estrecha vigilancia del desarrollo y evolución de los parámetros de estado, con lo cual logra recopilar toda la información necesaria para realizar un análisis preciso del estado técnico de los mismos. Permitiendo predecir los defectos con la finalidad de:

- ❖ Evitar Fallas no planificadas.

- ❖ Establecer de manera fácil, la dinámica de los cambios en los parámetros de estado y su relación con las posibles fallas.
- ❖ Controlar de la calidad de la explotación de los dispositivos al mantener la información del parámetro de estado antes y posterior a las reparaciones o mantenimientos de los mismos.
- ❖ Mantener una mayor flexibilidad en los ciclos del monitoreo en correlación con la severidad del deterioro del mismo.
- ❖ Aportar la información necesaria para los cambios en los ciclos de mantenimiento según estado.

2.9 Base de datos para el control y análisis de los parámetros de muestreo.

Como es sabido, el conocimiento del diseño y condiciones de funcionamiento de los equipos resulta importante para el análisis de los parámetros de estado y de los posibles fallos que se producen en los mismos. De igual forma estos guardan una relación entre sí, que es necesario tener en cuenta en cualquier análisis dinámico de ellos.

En correspondencia con lo anteriormente señalado se infiere la necesidad de la creación de las bases de datos para la aplicación del MBC a cualquier tipo de dispositivo. Estas deben agrupar: sus características constructivas, sus condiciones de explotación, los datos necesarios relativos a todas las pruebas y a los mantenimientos, de forma tal que permitan un análisis dinámico y profundo del estado del mismo.

En la **Tabla 2.2**, a continuación se muestra, a modo de ejemplo las componentes fundamentales que se deben generalizar en una base de datos

Tabla 2.2 Ejemplo de algunas componentes de base datos de las bombas de agua de alimentar japonesas.

Datos de Fabricación, Pruebas del Fabricante Datos de Puesta en Marcha	Parámetros de Estado a Monitorear	Datos del Diseño Mecánico
Corriente	Corriente	Tipo

Voltaje	Insumo	Numero de impelentes
Potencia Consumida.	Flujo de Bomba	Compensación axial
% de Regulación. Rama Alimentar	Presión Disco Balance	Nº de Polos del Motor
Flujo de Bomba	Presión Agua de sellaje	Velocidad
Flujo de Agua Alimentar	Vibraciones	Holguras de Chumaceras
Flujo Atemperar	Presión de Descarga	Juego Axial
Flujo Atemperar Vapor Sobre Calentado	Presión de Succión	Valores Máximo del Alineamiento
Presión de Descarga	Presión Agua de sellaje	Temperaturas Máximas y Mínimas
Presión de Succión	Flujo de Agua Alimentar	Planos de Balance
Presión Aceite de Lubricación	Presión Aceite de Lubricación	Holgura del Entrehierro
Temperatura de Aceite Lubricación	Temperatura de Aceite	Tipo de Lubricante
Temperatura de Chumaceras	Temperatura de Chumacera	Flexiones máximas en eje
Temperatura del Motor	Temperatura de del Motor	
Vibraciones	Propiedades lubricante.	
Presión Disco Balance		
Presión Agua de Sellaje		
Tipo de Aceite y Cantidad		

La aplicación de técnicas, cambios en el sistema de mantenimiento dada la aplicación de sistemas MBC, presupone cambios favorables en la política del mantenimiento de la central de manera positiva, que se evidencian en los resultados económicos alcanzados por la central en los últimos años, en indicadores como mayor disponibilidad, reducción del índice de avería, lo que se traduce en una mayor producción energía eléctrica.

CONCLUSIONES PARCIALES.

En este capítulo se ha desarrollado el estudio de la situación técnica organizativa de la Central Termoeléctrica y del tipo de mantenimiento que se aplicaba en la misma.

Del estudio técnico organizativo del mantenimiento se concluye que:

1. Solo se aplica el Sistema de Mantenimiento MPP, que fue enriquecido con el MBC.
2. Existe en la actualidad una buena organización en lo referido a la coordinación de las tareas del mantenimiento, que permitieran aprovechar los datos resultantes de pruebas y controles para realizar cambios en su Sistema de Mantenimiento.
3. Existen, los métodos y el equipamiento necesario para determinar el estado de los equipos, en general, que permiten la aplicación del MBC.
4. La aplicación de análisis dinámico de los datos y del estudio de su correlación admite un cambio cualitativo a sistemas de mantenimiento superiores como el MBC.
5. En el caso del diagnóstico por vibraciones, así como para otro tipo de técnica, se tiene en cuenta toda la información que aporta los parámetros de estado en el análisis de cada uno de los dispositivos y de su relación con las fallas.
6. Existen los medios adecuados que garantizaran la superación permanente y colegiada de los profesionales que trabajaban en el grupo de diagnóstico y de los que trabajaban en los grupos relacionados con esta actividad.
7. En todos los casos, se le da a la actividad de diagnóstico la importancia que requiere teniendo en cuenta las orientaciones técnicas del Grupo Central de Diagnóstico.

CAPITULO III: RESULTADOS TÉCNICO-ECONÓMICO OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN.

La aplicación del MBC posterior al año 2010, a partir el empleo de nuevas técnicas y organización del mantenimiento, ha permitido resultados Técnicos-Económicos como los que se muestran a lo largo del desarrollo de este capítulo, donde se presentan:

- ❖ Un control de las cantidades de síntomas y defectos por sistemas, relacionados con las posibles averías, que permite conocer predictivamente la relación causa-efecto, del parámetro síntoma asociado al defecto que se desarrolla.
- ❖ Una valoración de los gastos por costos directos e indirectos (mano de obra y materiales), durante la aplicación del MBC.
- ❖ Los gastos por concepto de inversión durante la aplicación de nuevas técnicas para el control de los parámetros de estado.
- ❖ Las ganancias que ha aportado la aplicación del MBC. Sobre la base de comparaciones antes y posterior, todo ello a los equipos fundamentales categorías A y B previamente seleccionados por su incidencia en las pérdidas por Energía Indisponible

3.1 Resultados Técnico del comportamiento de los síntomas y defectos que predicen averías. Aplicaciones de la Técnica Pareto.

De los sistemas indicados en el Capítulo II, (**Anexo 2**), esquema de equipos que componen los sistemas turbina y caldera), se centra este trabajo en los equipos roto dinámicos tanto del sistema caldera, turbina y otros sistemas comunes que conforman en total 11 sistemas, estando entre ellos los equipos fundamentales que aportan las mayores pérdidas de Energía Indisponible, a continuación, se relacionan los mismos.

Bombas de Agua Alimentar	Cantidad	6
Bombas de Condensado	Cantidad	4
Ventiladores de Tiro Forzado	Cantidad	4
Ventiladores Recirculadores de Gases	Cantidad	2
Calentadores de Aire Regenerativo	Cantidad	4

Bombas de Circulación

Cantidad 4

Turbina de Vapor

Cantidad 2

3.1.1 Análisis cualitativo y cuantitativo de parámetros síntomas que predicen posibles averías a corto o largo plazo en el proceso de generación

Un buen inicio para valorar la aplicación del MBC, lo constituye los sistemas de monitoreo donde se recolectan datos a partir de ensayos no destructivos, como las vibraciones, temperaturas, ruido, amperaje, parámetros de operación de los sistemas u equipos entre otros y todo ello guardado en bases de datos para los análisis del comportamiento histórico de los procesos. En la relación que se presenta en el **Anexo 3** y **3.2** (Fuentes Bases de Datos, del Informe mensual de la actividad de Diagnóstico GM-PD0001.A5), del cual se muestra a continuación en la Figura 3.1, un resumen gráfico del comportamiento de los síntomas por sistemas comprendidos en la aplicación del MBC, (Periodo 2010 al 2017) , en el cual se puede observar la efectividad del control del diagnóstico en equipos roto-dinámicos, que permite determinar qué sistemas están presentando un mayor indicador de defectos y hacia donde debemos encaminar los estudios y aplicación de las técnicas para la aplicación del MBC. Con el objetivo de la reducción de pérdidas por Energía Indisponible en la entidad.

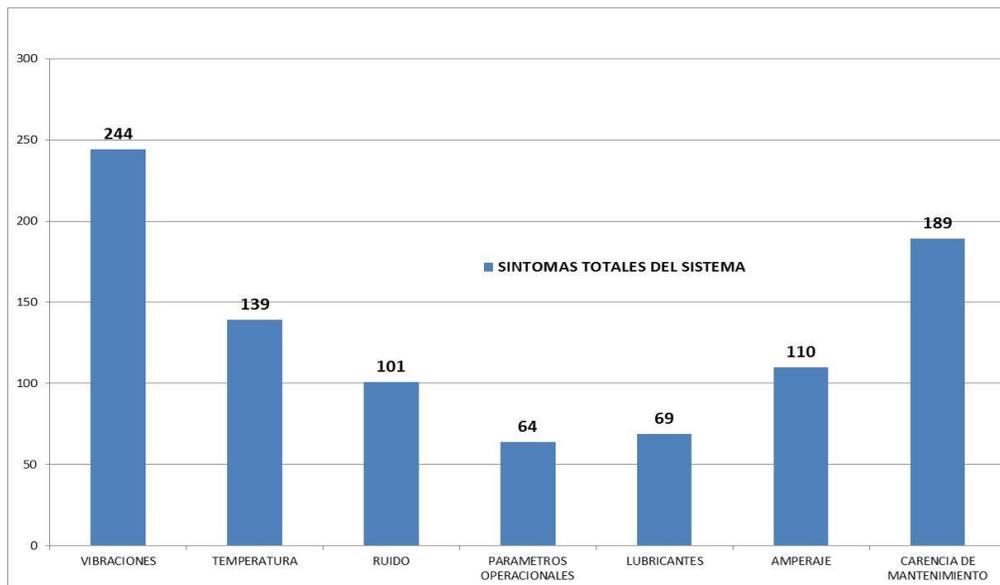


Figura 3.1. Gráfico comportamiento de síntomas por sistemas aplicaciones del MBC.

Fuente: Elaboración Propia

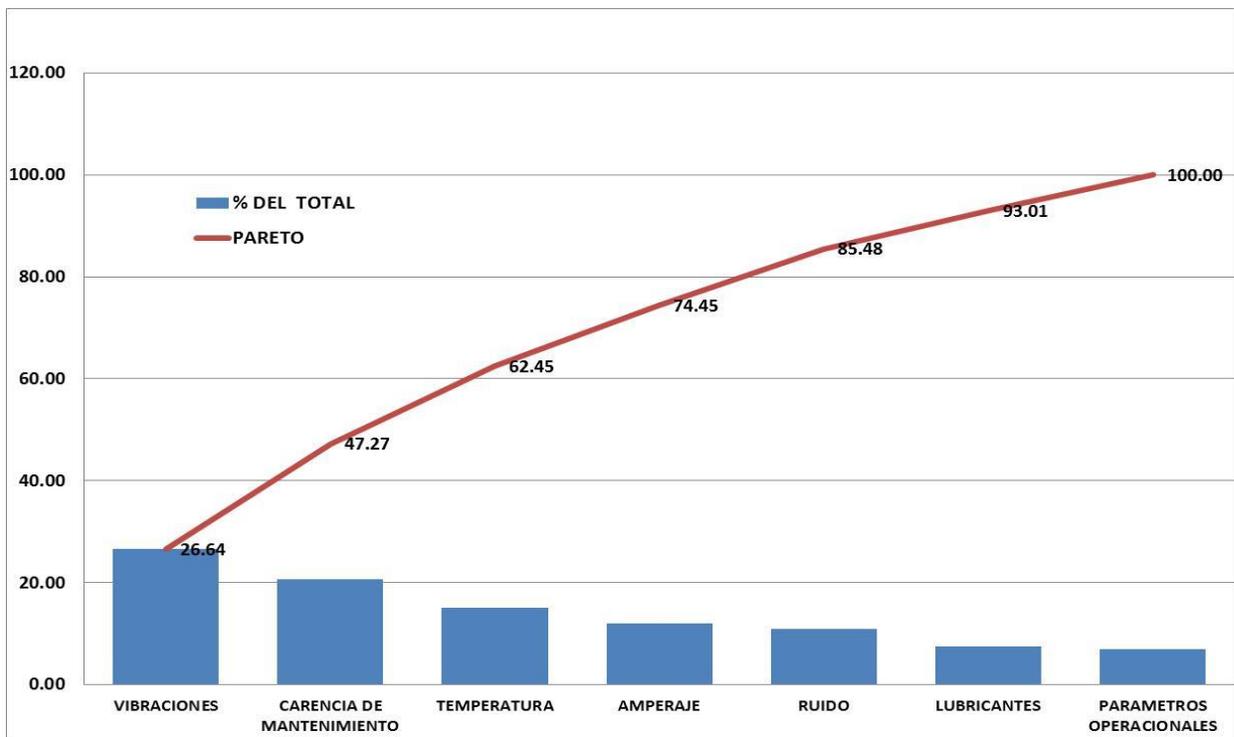


Figura 3.2. Diagrama de Pareto de los síntomas en el sistema. **Fuente:** Elaboración Propia

Del análisis de la técnica de Pareto, Figura 3.2, que plantea trabajar con los defectos con mayor incidencia en porcentaje según resultados de la figura, si nos centramos en los síntomas por debajo del 80% ,correspondiéndose a los parámetros de estado estudiados , se puede resumir los síntomas vibraciones, carencia o déficit de mantenimiento, temperatura, amperaje y ruido, para hacer más fiable el estudio de los síntomas anteriores se descarta el parámetro carencia de mantenimiento, al estar relacionado con holguras, desgastes que son medibles cuantitativamente en los procesos propios de paradas para desarmes de equipos o sistemas, el resto es controlable con los equipos en funcionamiento. Además, la carencia de mantenimiento se puede valorar cuantitativamente con el parámetro síntoma vibraciones.

Del estudio anterior se puede establecer además prestar una atención especial al parámetro vibraciones considerado Parámetro Optimo en estudios durante la introducción del MBC (Chaviano Bernal, 2004). Para el análisis de averías asociadas o este síntoma.

3.1.2 Análisis cualitativo y cuantitativo de defectos que predicen posibles averías a corto o largo plazo.

De la relación que se presenta en el **Anexo 3.1** y **3.3** (Fuentes Bases de Datos Informe mensual de la actividad de Diagnóstico GM-PD0001.A5), se muestra a continuación, en la Figura 3.3, un resumen gráfico del comportamiento de los defectos en los sistemas comprendidos en la aplicación del MBC periodo 2010 al 2017), en la misma se pueden observar los defectos de mayor a menor incidencia y sus variadas características,

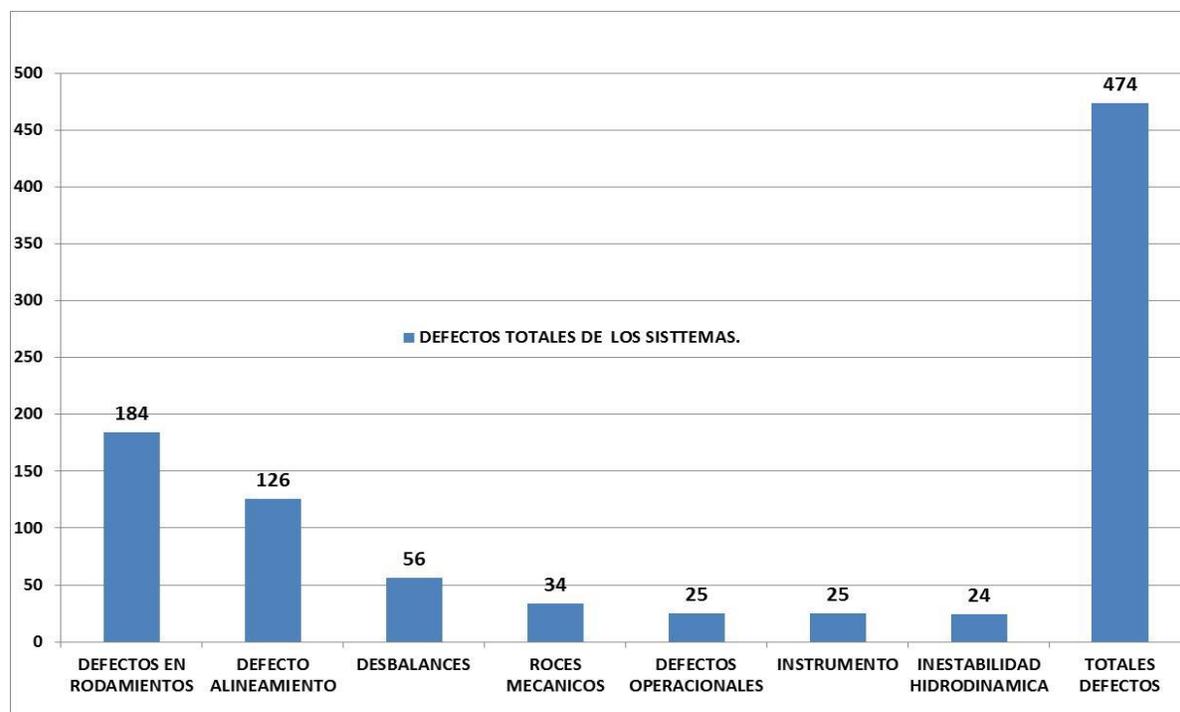


Figura 3.3. Gráfico comportamiento de defectos en sistemas aplicaciones del MBC.

Fuente: Elaboración Propia

En el Análisis de Pareto Figura 3.4, que se presenta a continuación se puede determinar los defectos fundamentales asociados a los síntomas estudiados anteriormente, destacándose en orden descendente, los defectos en rodamientos, defectos alineamiento que incluye la excentricidad, flexión en ejes, excesos de holguras, defecto desbalance, los roces mecánicos, portadores por excelencia del síntoma temperatura, los restantes no menos importantes no están relacionados directamente con los movimientos rotodinámicos de los sistemas que se estudian en este trabajo. Ejemplo los defectos en instrumentos de mediciones que tienen ponderadamente un determinante valor para la fidelidad de los datos recolectados.

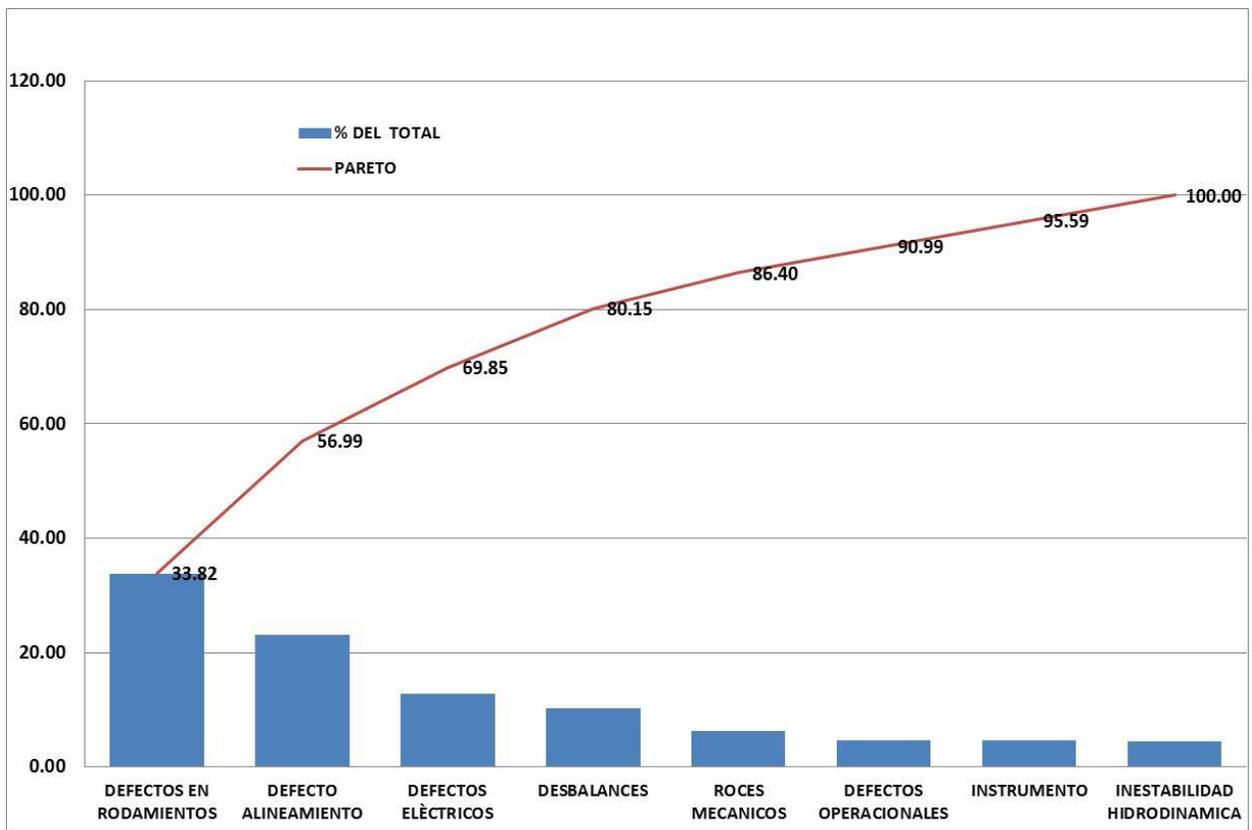


Figura 3.4 Gráfico comportamiento de defectos en sistemas aplicaciones de Pareto.
Fuente: Elaboración Propia

3.2 Análisis cuantitativo de sistemas que generan mayor número de defectos.

De los resultados anteriores epígrafes 3.1 y 3.2 respectivamente, en las tablas Anexo 3 y 3.4, (Fuentes Bases de Datos Informe mensual de la actividad de Diagnóstico GM-PD0001.A5), se presentan los sistemas para el análisis, que mayor incidencia tienen en los síntomas indicios de defectos en equipos de planta para el periodo de 7 años del 2010 al 2017.

De la relación que se presenta en el Anexo 3, se muestra a continuación, en la Figura 3.5, (Análisis y selección de sistemas por síntomas asociados a los defectos), la estadística que nos permite identificar en orden descendente cuales son los sistemas de mayor afectación para probables averías en planta.

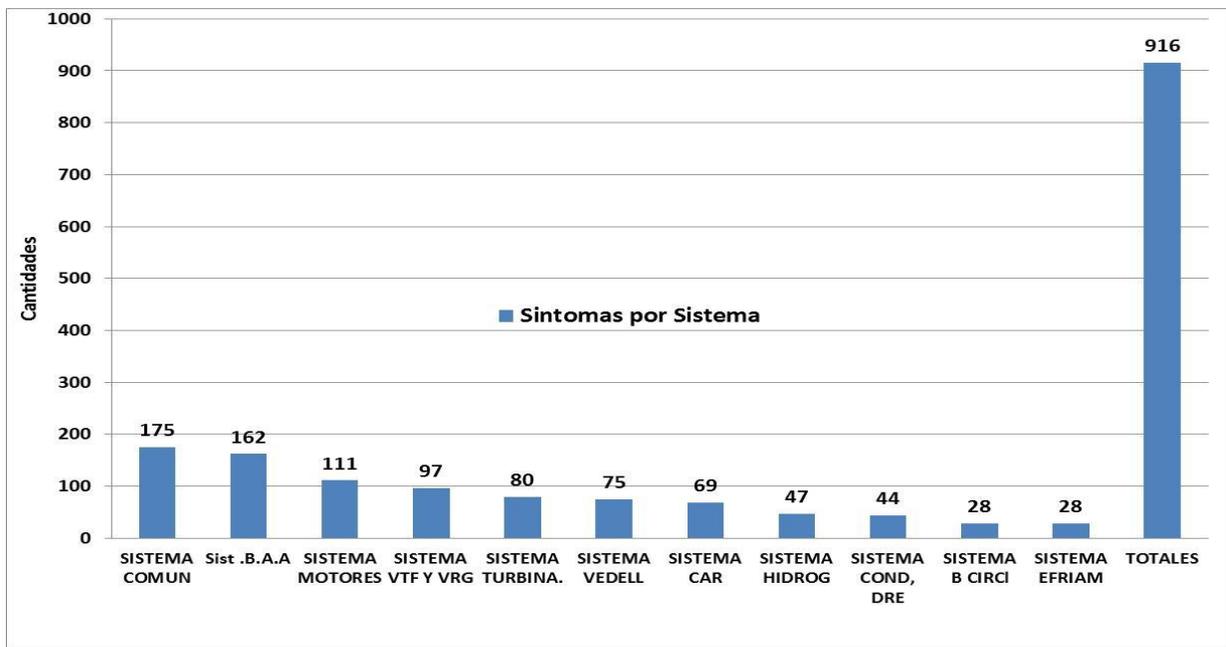


Figura 3.5. Análisis y selección de sistemas por síntomas asociados defectos. **Fuente:** Elaboración Propia

Del análisis de Pareto Figura 3.6, que se presenta a continuación se puede determinar los sistemas fundamentales asociados a los síntomas estudiados anteriormente, destacándose en orden ascendente, aquellos sistemas que por designación del principio de Pareto alcanzan valores por debajo del 80%. Atendiendo a lo antes expuesto se puede seleccionar como sistemas con mayores índices de síntomas, los sistemas comunes que abarcan el sistema contra incendio, las mallas giratorias, tratamiento químico del agua, otros que están asociados en los fundamental a equipos categoría C, que no forman parte de los equipos fundamentales que generan pérdidas por Energía Indisponible en planta, en igual condiciones se descartan el Sistema Motores y el Sistema Vedell (Ventiladores Detectores de Llama). Atendiendo al análisis anterior en lo adelante se centra el estudio en los equipos que conforman los Sistemas: **bombas de agua de alimentar, ventiladores de aire, ventiladores de gases, turbina y los calentadores de aire regenerativos.** Estos sistemas generan pérdidas de Energía Indisponible, limitaciones y emergencias que contribuyen en algunos casos a paradas de las unidades con considerables pérdidas económicas.

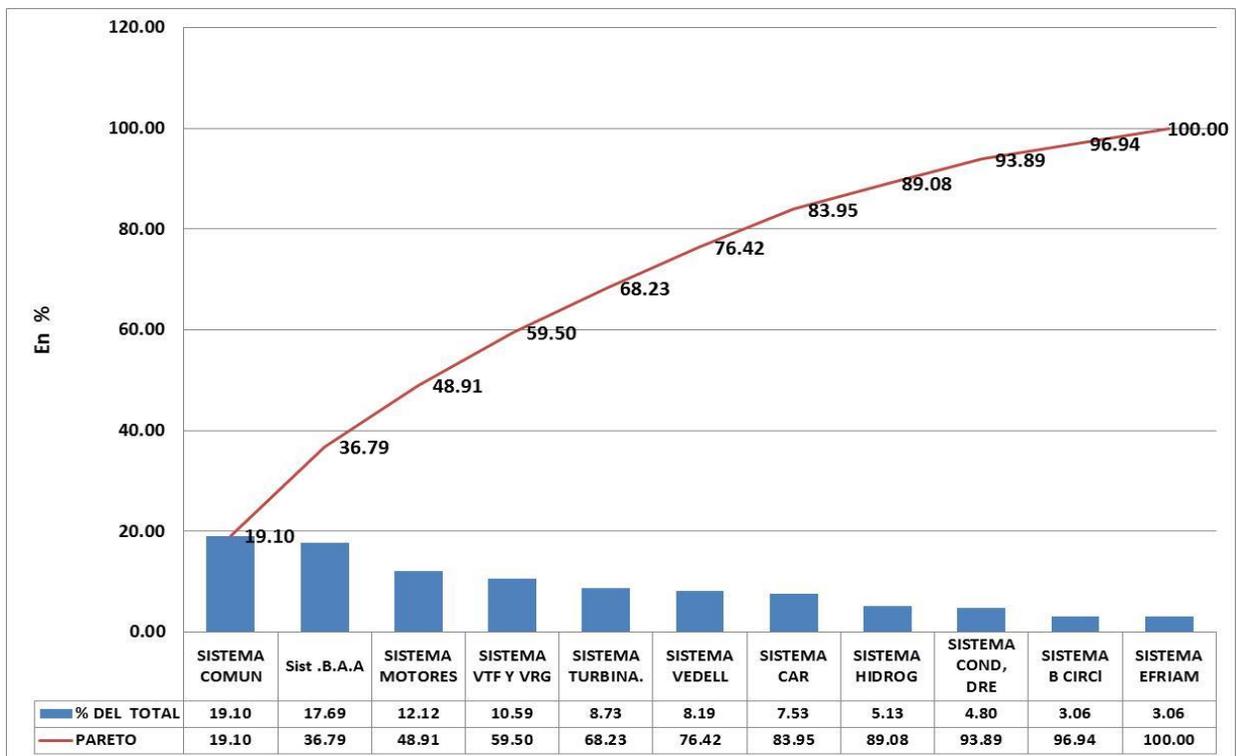


Figura 3.6. Análisis y selección de sistemas por síntomas aplicación de Pareto. **Fuente:** Elaboración Propia

3.3 Análisis técnico del parámetro vibraciones, temperatura, ruido, amperaje como medición predictiva de defectos.

A modo de sintetizar en este trabajo se toman en lo adelante ejemplos para los sistemas por debajo del 80% considerados fundamentales, según análisis de la función Pareto de la Figura 3.6, serian, los sistemas bombos de agua de alimentar (B.A.A), ventiladores tiro forzado (VTF), ventilador recirculador de gases (VRG), turbina y los calentadores de aire regenerativos (CAR).

De los estudios antes descritos, se deriva que el control de parámetros de estado permite una información adecuada de los sistemas que mayor probabilidad de averías presentan en planta, a partir de los síntomas que presentan. Una de las operaciones importantes que hace complejo el trabajo, es la investigación de las variabilidades de los parámetros de estado, donde cobra un valor verosímil la aplicación de análisis de tendencia, tema central de las bases de datos, integradas en la especialidad de parámetros Funcionales, conformada del monitoreo periódico como partes de la planificación del trabajo a realizar por el Grupo de Diagnóstico de la entidad **Anexo 4**. Plan de trabajo anual del grupo de inspección dinámica. En el **Anexo 4.1**. Plan de

monitoreo periódico (Monitoreo subjetivo y objetivo), se puede observar la planificación anual del diagnóstico

A modo de ejemplo, se presenta a continuación los resultados de la aplicación de nuevas técnicas y las bondades que brindan las informaciones, las cuales nos permiten realizar, análisis de diagnóstico, variar los planes del mantenimiento y estar en modo predictivo ante el fenómeno de las averías irrentables y sorpresivas.

3.3.1 Ejemplo: Ventilador Tiro Forzado 3A, análisis de tendencia chumacera 3.

Resultados a partir de un muestreo de análisis de tendencia del parámetro vibraciones con el instrumento VIBEXpert II y su programa inteligente OMNITREN. En magnitud de valores absolutos de la vibración, la estadística que muestra la gráfica de la figura 3.7, se realiza de manera automática en el programa, a partir del ciclo de muestreo seleccionado de manera que se puede predecir los cambios que se producen en los sistemas de la magnitud vibraciones que es controlada a partir de normas y criterios de los niveles alcanzados, que definen el estado crítico de la magnitud propensa a las averías, en el grafico figura 3.7, estos valores se alcanzan cuando sobrepasas los niveles de vibraciones por encima de 5.5 mm/S (RMS). Este comportamiento alerta sobre una investigación de las causas, una parada de inmediato, o la programación de un mantenimiento.

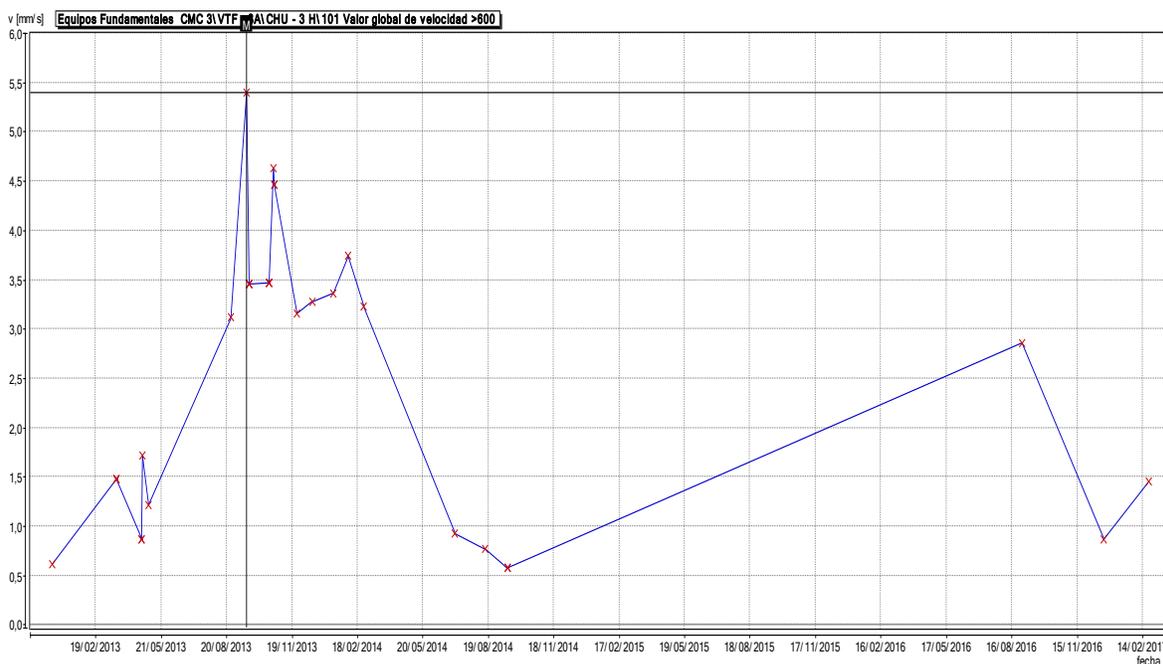


Figura 3.7. Análisis de tendencia magnitud vibraciones Ch3 VTF. (2013 al 2017)

Del ejemplo: Ventilador Tiro Forzado 3A. Análisis espectral

En la figura 3.8 se muestra el análisis espectral de las vibraciones. El control espectral permite junto a otras técnicas, sintetizar las posibles causas de los altos niveles de la magnitud vibración que se relacionan con las frecuencias de aparición de los picos más altos en el espectro desde 1 a 1 kHz, para el caso se puede predecir si tenemos en cuenta que la frecuencia fundamental (f_0) del equipo es 20 Hz, los defectos posibles en el caso pueden ser un desbalance, y para el resto de los picos en otras frecuencias que aparecen un desalineamiento, excentricidad que se manifiestan a $2f_0$, $3f_0$, $4f_0$, de manera tal que el espectro nos da una posible información de los defectos que se desarrollan en el tiempo en los sistemas.

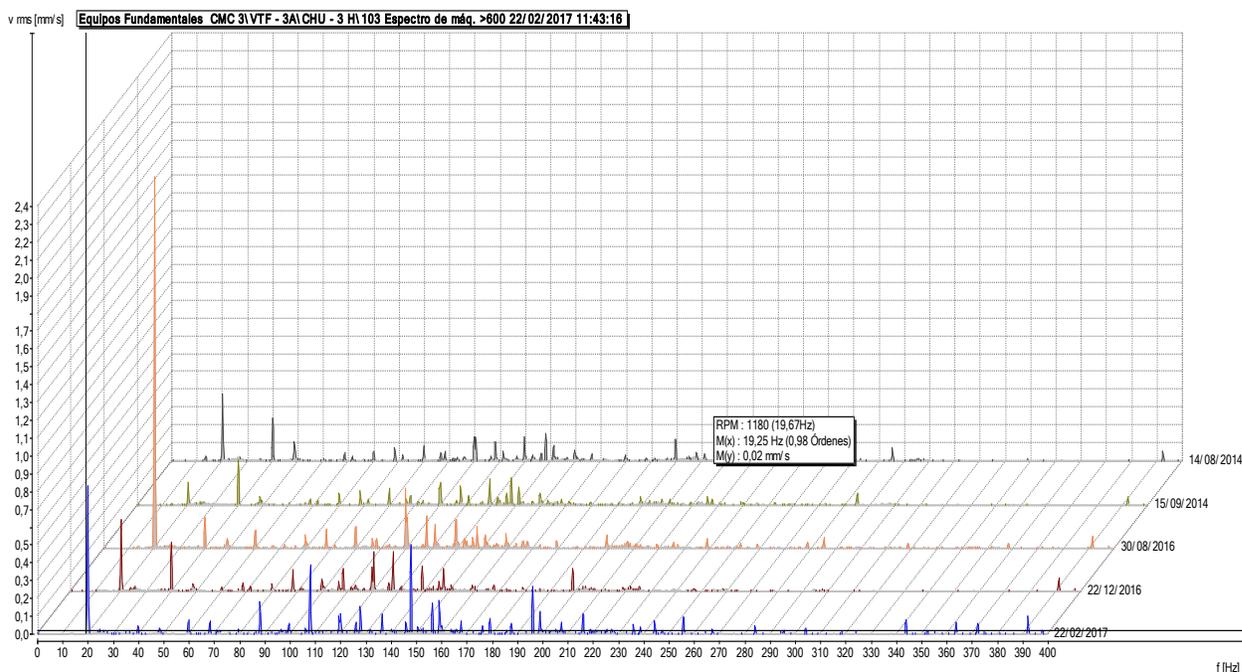


Figura 3.8. Análisis de tendencia espectral vibraciones Ch3 VTF. (2014 al 2017)

Del ejemplo: Ventilador Tiro Forzado 3A. Análisis de la señal en el tiempo.

La señal de las vibraciones en función del tiempo se muestra en la figura 3.9. Su análisis da claridad de la posible causa raíz del defecto, su aplicación se realiza de manera casuística para cada condición en particular, aunque su tendencia brinda una información valiosa de los cambios a partir de patrones gráficos existente relacionada con cada defecto. En la figura que se presenta se puede predecir posibles desalineamiento mecánico, excentricidad combinados con el desbalance.

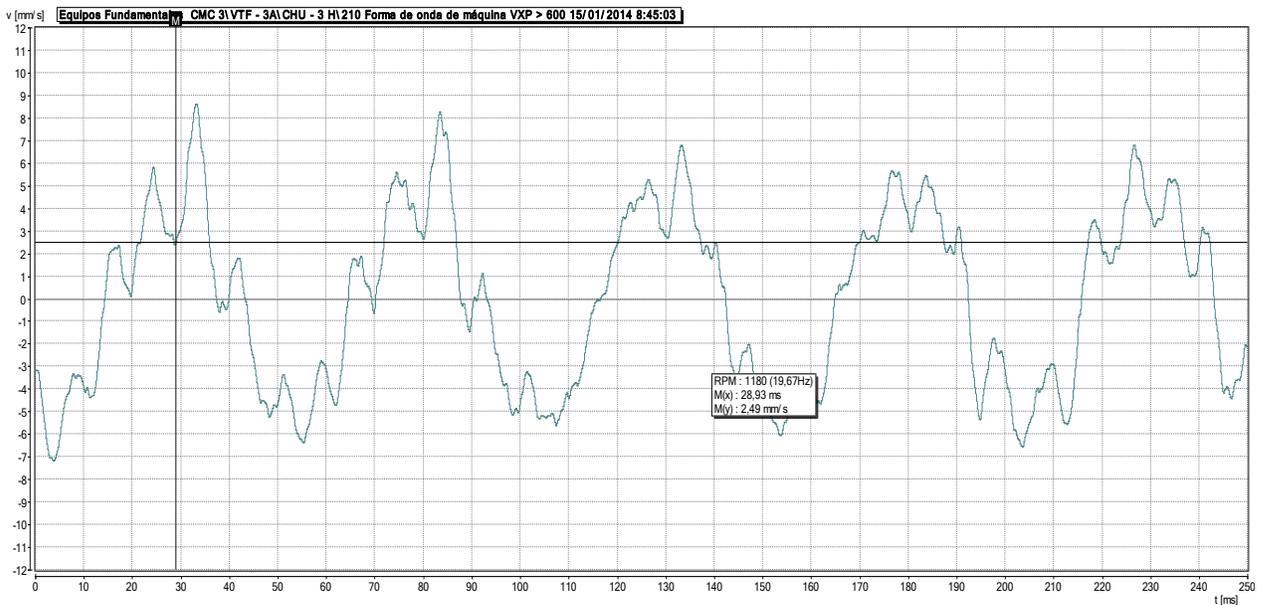


Figura 3.9. Análisis de la señal en el tiempo vibraciones Ch3 VTF.

3.3.2 Algunos ejemplos de aplicación de técnicas relacionados con la relación parámetro síntoma, causa-efecto.

El síntoma temperatura contiene una valiosa información del estado del equipo, de manera que sus magnitudes altas por encima de lo permisible pueden indicar roses mecánicos, carencia o excesos de grasa, altas cargas en rodamientos por excentricidades desalineamiento, desbalances, defectos en rodamientos, elemento que forma parte central del sistema de monitoreo para diagnóstico. De igual manera el ruido y el alto amperaje, contribuyen a elementos a controlar por su valiosa predicción de la aparición de defectos mecánicos u eléctricos entre otros.

Ejemplo de aplicación de técnicas de diagnóstico y la relación con el mantenimiento en los equipos, avería en Bomba Agua Alimentar 3C (B.A.A). Síntoma de avería: alta temperatura y vibraciones Ch3

El análisis de tendencia de las vibraciones que se muestra en la Figura 3.10, ejemplifica todos los pasos que se siguen durante la reparación del defecto, así como las relaciones que se establecen entre el personal de mantenimiento y la verificación de los estados finales de cada paso en la eliminación del defecto.

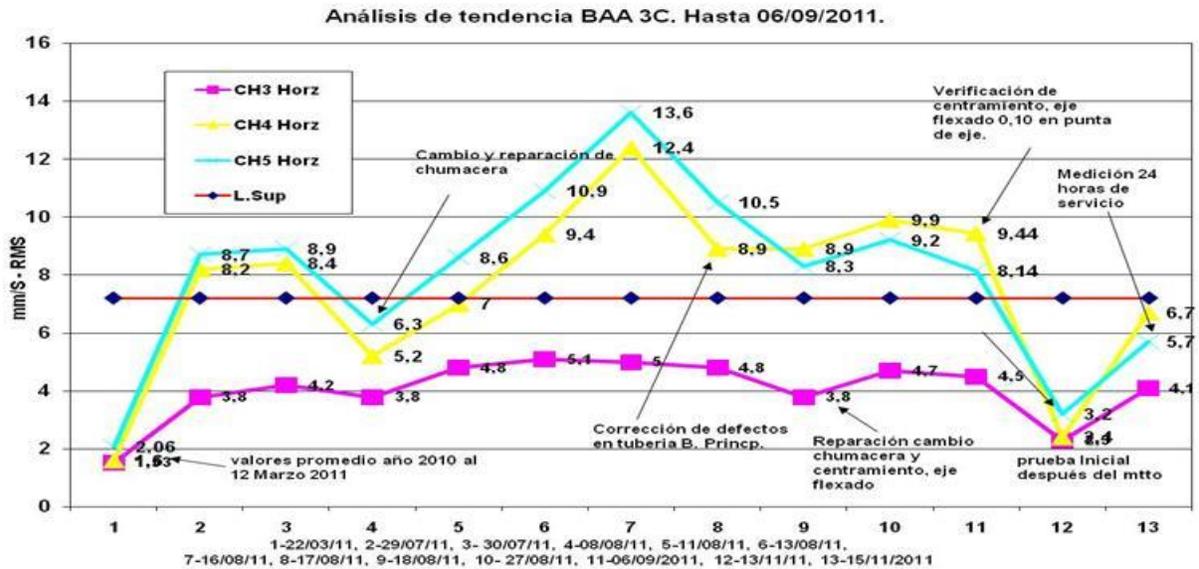


Figura 3.10 Análisis de tendencia del nivel de vibraciones chumaceras de B.A.A 3 C.
Fuente: Elaboración Propia.

Técnica: Diagnóstico del lubricante, análisis del aceite, resultado, en buen estado según laboratorio químico.

- Viscosidad 40 °C
- Número de neutralización
- Ácidos y bases Neutro.
- Poder antiemulsionante.
- Densidad
- % de agua
- Punto de inflamación

Técnica: Análisis de temperatura en la chumacera 3. Medición con cámara termografía.

Este perfil de temperatura en la totalidad de la chumacera, que se muestra en la figura 3.11, permite predecir un cambio de temperatura entre dos secciones opuestas a 180°, lo cual indica la existencia de un roce mecánico por excentricidad o flexión de eje, a pesar de que los valores de temperatura están en norma (por debajo de 65°C).

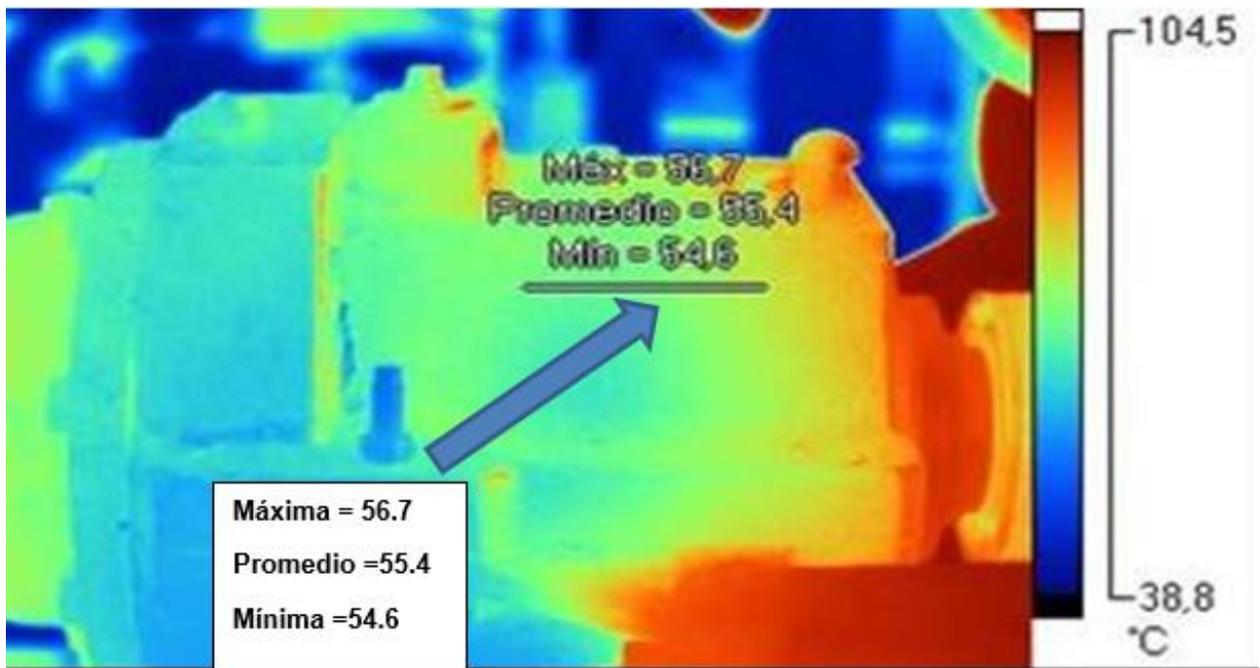


Figura 3.11 Perfil de temperatura de la Ch3 B.A.A 3C

Causa Raíz del Síntoma: Roce en chumacera lado derecho. Efecto alta temperatura, y Vibraciones por roce, causa raíz flexión en eje. Verificado con posterioridad por la reparación mecánica de la chumacera.

De los ejemplos anteriores se puede deducir que para aplicar técnicas de diagnóstico durante la predicción de defectos es necesario, interrelacionar varias técnicas de mediciones de parámetros de estado (síntomas), que complementan lo cuantitativo de la evaluación, así como la interrelación con otros parámetros cualitativos y cuantitativos que se relacionan como, el estado del mantenimiento, criterios de operación e inspecciones donde se aplican además técnicas subjetivas como los 5 sentidos.

La aplicación de estas técnicas y las bases de datos por sistemas entre otros, permite, el mantenimiento predictivo en la determinación de las causas de los defectos e introducen las posibilidades de los pasos fundamentales para la aplicación del Mantenimiento Proactivo, este último tiene como designio fundamental llegar a conocer la causa raíz de los defectos que acompañan los síntomas reportados en los sistemas. En la Figura 3.12, se puede observar una síntesis de este tipo de mantenimiento que cobra en la actualidad una tendencia importante, acorde al desarrollo de técnicas sobre la base del desarrollo instrumental para el diagnóstico de estado y permite una

reducción viable de las pérdidas, al predecir y eliminar la causa raíz de las fallas que provocan pérdida de fiabilidad e indisponibilidad en el funcionamiento de los equipos.



Figura 3.12 Esquema práctico para aplicación del Mantenimiento Proactivo

3.4 Resultados económicos de la aplicación del sistema de mantenimiento por Diagnóstico Según Estados (MBC) a equipos categoría A y B

Es evidente que el criterio de ahorro a partir de una evaluación de la rentabilidad de una inversión, es el que da un criterio certero de la efectividad de la aplicación del MBC. Para ello fue necesario realizar un inventario en términos de costo por, Energía Indisponible general, limitaciones, emergencias o paradas imprevistas y por averías, antes y después de la implantación del mismo, resultados que se sintetizan durante el desarrollo de este epígrafe.

3.4.1 Evaluación de la Energía Indisponible (E.I) por años. En las dos etapas

La presente evaluación económica se realiza a partir de la comparación entre la aplicación del Mantenimiento en Base a la Condición (MBC), antes de su aplicación y posterior a la misma, tomando que tiene como base el resultado la organización e inversiones en técnicas novedosas y preparación técnica del personal de diagnóstico, enmarcados en dos etapas comparativas, períodos 2006 - 2010 y 2011 -2017, siendo similares en lo referido a: Producción de valores (MW) y costos promedios de producción en pesos. En las tablas 3.1 y 3.2, aparecen los datos de pérdidas por

Energía Indisponible que permiten realizar la valoración económica resultado de los cambios realizados en el sistema de mantenimiento a equipos fundamentales en planta.

Tabla 3.1. Resumen Energía Indisponible antes de aplicar el MBC.

Equipo VTF,BAA Y CAR / Año	2006	2007	2008	2009	2010	Totales	Promedio
Carga indisponible VTF	539	708	2331	958	1065	5601	1120.2
Carga indisponible BAA	1006	1160	374	2250	108	4898	979.6
Carga indisponible Turbina	0	256	889	669	19	1833	366.6
Carga indisponible car	1293	0	196	113	0	1602	320.4
Carga indisponible total 2006/2010 (MW-h)	2838	2124	3790	3990	1192	13934	2786.8

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.2 Resumen Energía Indisponible después de aplicar el MBC

Equipo por sistema /año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Totales	Promedio
Carga indisponible VTF	453	1199	508	101	0	1169	520	3950	564.29
Carga indisponible BAA	648	0	972	1642	91	0	0	3353	479.00
Carga indisponible TURBINA	58	0	0	372	0	0	0	430	61.43
Carga indisponible CAR	708	479	582	0	0	0	0	1769	252.71
E.I. Total por años 2011/2017	1867	1678	2062	2115	91	1169	520	9502	1357.43

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3.13 se resume de manera clara, los resultados de las tablas anteriores. Se puede observar el comportamiento de la Energía Indisponible, que ha mostrado la empresa antes de la aplicación del MBC y posterior al mismo, con un saldo de aumento de disponibilidad, al reducirse considerablemente las pérdidas durante el periodo 2011 al 2017, resultados de la introducción de nuevas tecnologías, para la base de los cambios en el tipo de mantenimiento aplicado. Se puede resumir lo antes expuesto en un 18.91 % de reducción de la Energía Indisponible por año, si comparamos los valores promedios de las 2 etapas comparativas.

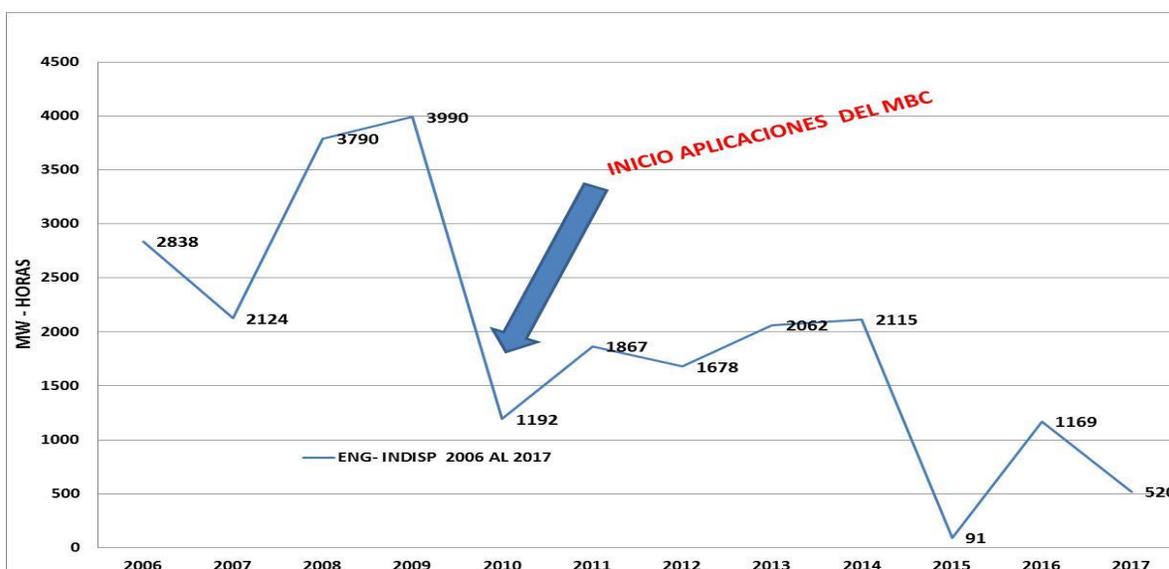


Figura 3.13. Comparación de pérdidas por Energía Indisponible por años.

3.4.2 Evaluación de la Energía Indisponible por limitaciones, emergencia y averías imprevistas por años, en las dos etapas

Para el cálculo del efecto económico del trabajo realizado, no se tendrá en cuenta la Energía Indisponible general, solo de ella, aquella que está relacionada con las limitaciones, emergencias, averías imprevistas que causaron pérdidas por indisponibilidad dejándose de generar MWh al sistema nacional, siendo esa energía producida con otras unidades menos eficientes en lo relacionado al consumo específico, indicador directo del gasto fundamental en la producción de energía, (Consumo de combustible para generar kWh). Este criterio está avalado, porque el trabajo solo abarca aspectos relacionados con la reducción de los gastos innecesarios (pérdidas), y no tienen en cuenta los gastos de mantenimiento considerados en la Energía Indisponible pérdidas necesarias en los procesos productivos.

En las tablas 3.3 y 3.4, se pueden observar las pérdidas de Energía Indisponible relacionadas con los indicadores técnicos, limitaciones y emergencias que abarcan las inesperadas averías en los sistemas, que permiten establecer un análisis comparativo para el cálculo económico de los resultados del trabajo.

Tabla 3.3 Resumen pérdidas por limitaciones y emergencia del año 2006 al 2010 antes del MBC.

Equipo Ventilador Tiro Forzado	2006	2007	2008	2009	2010	Totales	Promedio
Limitación no planificada	1701	2876	16710	17659	2263	41209	8241.8

MWh									
No planificada emergencia MWh	0	4554	15506	0	3354	23414	4682.8		
Totales no planificadas y emergencia	1701	7430	32216	17659	5617	64623	12924.6		
Equipo Bomba Agua Alimentar	2006	2007	2008	2009	2010	Totales	Promedio		
Limitación no planificada MWh	4963	5589	851.6	1956.6	91.59	13451.79	2690,358		
No planificada emergencia MWh	1441	1119	0	1967	0	4527	905.4		
Totales no planificadas y emergencia	6404	6708	851.6	3923.6	91.59	17978.79	3595.758		
Equipo Turbinas	2006	2007	2008	2009	2010	Totales	Promedio		
Limitación no planificada MWh	0	535.9	32.55	962.5	19	1549.95	309.99		
No planificada emergencia MWh	0	666.35	9326.74	0	0	9993.09	1998.618		
Totales no planificadas y emergencia	0	1202.25	9359.29	962.5	19	11543.04	2308.608		
Equipo Calent. Aire Regenerativo	2006	2007	2008	2009	2010	Totales	Promedio		
Limitación no planificada MWh	99.1	0	569.4	105.1	0	773.6	154.72		
No planificada emergencia MWh	1247.	0	86.14	0	0	1333.54	266.708		
Totales no planificadas y emergencia	1346	0	655.54	105.1	0	2107.14	421.428		
Total sumatoria VTF, CAR. BAA, Turbina	9451	15340	43082.4	22650	5727.6	96251.97	19250.39		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. 4 .Resumen pérdidas por limitaciones y emergencia del 2011 al 2017.después del MBC

Equipo Vent. Tiro Forz.	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Totales	Promedio
Limitación no planificada	1142	2528	0	44.4	0	633.7	1427	5775.1	825.01
No planificada emergencia MWh	2144	0	2405		0	6782	552.8	11883.8	1697.69
Totales no planificadas y emergencia	3286	2528	2405	44.4	0	0	0	11883.8	1697.69
Equipo Bomba Agua Alimentar	2011	2012	2013	2014	2015	2016	201.7	Totales	Promedio
Limitación no	681.2	0	1174	2996	227	0	0	5077.9	725.41

planificada MWh									
No planificada emergencia MWh	0	0	1864	517.5	0	0	0	2381.5	340.21
Totales no planificadas y emergencia	681.2	0	3038	3513	227	0	0	7459.4	1065.63
Equipo Turbinas	2011	2012	2013	2014	2015	2016	201.7	Totales	Promedio
Limitación no planificada MWh	17.4	0	0	43	0	0	0	60.4	8.63
No planificada emergencia MWh		0	0	763.2	0	0	0	763.14	109.02
Totales no planificadas y emergencia	17.4	0	0	806	0	0	0	823.54	117.65
Equipo Calent. Aire Reg.	2011	2012	2013	2014	2015	2016	201.7	Totales	Promedio
Limitación no planificada MWh	74.36	6889	75.6	0	0	0	0	7038.9	1005.57
No planificada emergencia MWh	6159	0	5081	0	0	0	0	11240	1605.71
Totales no planificadas y emergencia	6233	6889	5156.6	0	0	0	0	18279	2611.28
Total sumatoria VTF, CAR. BAA, Turbina	10218	9417	10599.6	4363.8	226.9	0	0	38445.7	5492.24

En la Figura 3.14, resultante de las tablas anteriores se presenta una síntesis gráfica que representa con claridad el comportamiento de la Energía Indisponible por años para 2 etapas, antes de la aplicación del MBC y posterior al mismo. En esta figura se puede observar la disminución en las pérdidas que ha tenido la empresa relacionada con la aplicabilidad de nuevas técnicas y métodos de trabajo sobre la base del diagnóstico de estado, en la Energía Indisponible y emergencias relacionadas directamente con fallas en los sistemas resultantes del objeto de estudio de este trabajo, como son:

- Sistema Ventiladores de Tiro Forzado
- Sistemas Bomba de agua de Alimentar
- Sistema Turbinas
- Calentadores de Aire Regenerativo.

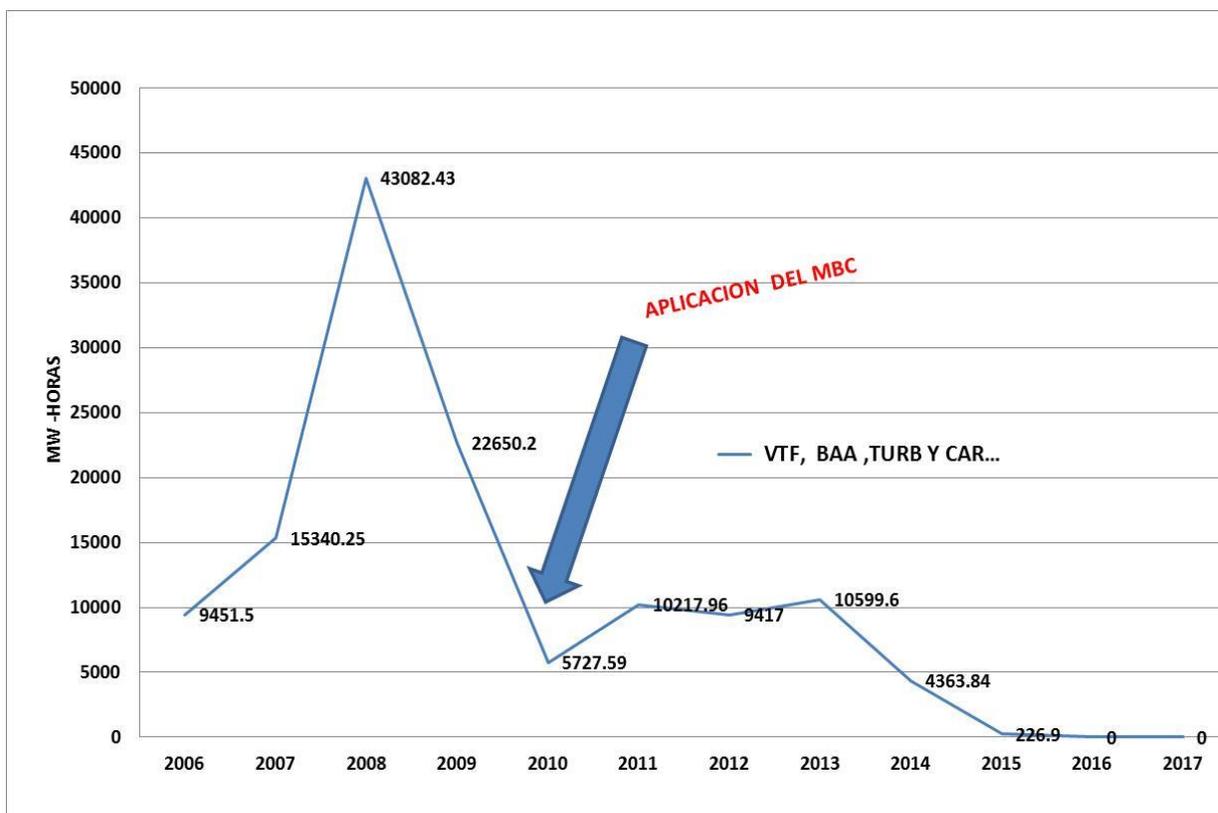


Figura 3.14 Resumen comparativo de pérdidas por Energía Indisponible antes y después del MBC. **Fuente:** Elaboración Propia

3.4.3 Proceso de cálculo determinación de ganancias por aplicaciones del MBC

Para la realización del cálculo económico resultado del estudio realizado se sigue el siguiente criterio.

- 1.- Establecer una comparación de las pérdidas por etapas de Energía Indisponible asociadas, a limitaciones y emergencias, tomándose en todos los casos las pérdidas de disponibilidad de generación al sistema nacional.
- 2.-Evaluar el consumo específico bruto (g/MW-h) en que incurre el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) cuando se limita carga parcial o total de unidades de generación con mayor eficiencia.
- 3.- Valorar el costo promedio de la tonelada de combustible que se ahorra en las dos etapas evaluativas, siendo la ganancia obtenida su diferencia.

En el Anexo 5, se resume todo el proceso de cálculo económico a partir de datos sintetizados de las tablas anteriores 3.3 y 3.4.

Como resultados del anexo de cálculo anterior se puede observar:

1. En la etapa de aplicación del MBC periodo comprendido del año 2011 al 2017 se logra una reducción de las pérdidas en un 44.10 %, que se convierten en generación al sistema.
2. En comparación con el periodo 2006 al 2010 antes de la aplicación y 2011 al 2017 con la aplicación del MBC, un ahorro de combustible de 1156.13 ton al dejarse de generar por el SEN un total de 57806270 kWh con unidades menos eficiente, dada la diferencia de 20 g/kWh generado, si tenemos en cuenta que la generación de ETE Cienfuegos, consume un promedio de 250 g/kWh y el SEN 270 g/kWh de generación de energía.
3. Con el sistema MBC en la etapa que se evalúa 2011 al 2017, se logra una ganancia bruta de \$ 512602.88, dado el ahorro de 1156.13 t de combustible logrado para un precio promedio en la etapa de \$ 443.38/ t.

CONCLUSIONES PARCIALES

En el desarrollo del capítulo, se trabaja sobre la base de una secuencia lógica, para la obtención de los resultados de las bases de datos existentes, resultados del sistema MBC aplicado en la etapa 2010 al 2017, para lo cual se sigue un proceso, que puede quedar finalmente como una metodología en lo sucesivo para análisis similares.

En los resultados obtenidos en el desarrollo de este capítulo se pueden observar

1. Bases de datos de parámetros tomados de ensayos no destructivos, definidos por sistemas y con una previa planificación de sus mediciones, permiten conocer los parámetros síntomas fundamentales por sistemas asociados a defectos, toda vez se cuente con la instrumentación necesaria para mediciones de parámetros de estado

2. Análisis de defectos relacionados con los síntomas de manera que se pueda llegar a determinar, cuál serían los parámetros de mayor énfasis a controlar para conocer los defectos fundamentales que inciden en tu sistema MBC.
3. Una demostración de cómo las técnicas graficas análisis de tendencia, análisis de Pareto entre otras viabilizan la resolución de los análisis en todos los casos.
4. Un análisis de dos ejemplos básicos de análisis causa-efectos a partir de la aplicación de las nuevas tecnologías instrumentales, así como de la relación del diagnóstico con todas las partes que componen un sistema de mantenimiento.
5. En el trabajo se evidencia las ganancias que generan los cambios en los sistemas de mantenimiento actual sobre las bases de nuevas tecnologías y organización más avanzadas del mantenimiento,

CONCLUSIONES GENERALES

Del estudio desarrollado, evaluación de los resultados económicos obtenidos de la aplicación del Sistema de Mantenimiento Predictivo por Diagnóstico, sobre la base de la condición en equipos rotodinámicos en la Central Termoeléctrica Cienfuegos se puede concluir lo siguiente.

1. La veracidad de los cambios en los sistemas de mantenimiento requiere de un estudio teórico, que permitan conocer con claridad las bondades que generan los diferentes tipos de mantenimiento, reconocidos Nacional e Internacionalmente.
2. Del estudio de las características de la central, se pudo determinar que la aplicación del MBC, fue una consecuencia del desarrollo escalonado de métodos de mantenimientos más tradicionales como el MPP y el desarrollo técnico de los recursos humanos.
3. El análisis del comportamiento actual del desarrollo tecnológico, con nuevas técnicas aplicado en la entidad objeto de estudio, permiten mezclar métodos subjetivos y objetivos que contienen, modos de verificaciones de estado de los sistemas acorde a métodos tradicionales como los 5 sentidos, interacción con las áreas de mantenimiento y aplicabilidad de tecnologías modernas que hacen posible los cambios en los sistemas tradicionales de mantenimiento.
4. El conocimiento básico del funcionamiento de la central, así como los sistemas que lo componen, nos da la posibilidad de dirigir la aplicabilidad del MBC, aquellos sistemas que mayor incidencia tienen en las pérdidas por averías que se generan.
5. El estudio realizado nos pone en contacto con tecnologías modernas de clase mundial aplicadas en la entidad, así como la organización y necesidad de especialidades durante los ensayos no destructivos a realizar para la obtención de parámetros de estado a controlar para la aplicación efectiva del MBC.
6. La evaluación técnica descrita en el trabajo durante la aplicación del sistema de mantenimiento MBC, que tienen en cuenta el control que se realiza sobre los parámetros de estado, y su relación con la causa-efecto en los sistemas, que en combinación con técnicas como: análisis de tendencia, aplicaciones técnicas de

Pareto, entre otras, redundan en la reducción de averías, al permitir conocer las posibles causas raíz de fallas en los sistemas.

7. El estudio realizado enriquece las bases de datos para diagnóstico, por la introducción de datos claves, como los síntomas más relacionados con las causas de los defectos por sistemas, que evidencian de manera más clara la búsqueda de las causas raíz de los defectos.
8. Atendiendo a la valoración económica realizada, en la etapa de aplicación del MBC, se logra una reducción de las pérdidas MWh en un 44.10 %, que se convierten en generación al sistema. Generándose una ganancia promedio anual de \$ 73228,98.
9. Los resultados del trabajo justifican en lo técnico y económico, las inversiones realizadas tanto en los recursos humanos como en la adquisición de instrumentos para los ensayos no destructivos de las 5 especialidades fundamentales que trabajan el área de diagnóstico.

RECOMENDACIONES.

1. Realizar sobre la base del trabajo un procedimiento que permita, establecer la metodología aplicada en el trabajo para otras áreas dentro del diagnóstico, como Sistemas estáticos (especialidad de metales), especialidad de lubricación y especialidad eléctrica que constan con bases de datos similares a la especialidad dinámica.
2. Generalizar el trabajo a otras centrales eléctricas del SEN que manejan datos similares.
3. Establecer el cálculo de recuperación de la inversión, sobre la base de gastos en instrumentos y recursos humanos empleados en el diagnóstico, que demuestren la generación de ganancias que ofrece el MBC u otros sistemas actuales del mantenimiento relacionado con el control de parámetros de estado y su relación con las fallas en los sistemas.

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*.
- Arias, A. (2006). Un modelo de gestión de mantenimiento hacia la excelencia , Ponencia presentada en el V Congreso Cubano de Mantenimiento .
- Batista Rodríguez, C. (2000). *Contribución al diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento para los centrales azucareros cubanos, Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias técnicas . .*
- Borroto Pentón, Y. (2005). *Contribución al mejoramiento de la gestión del Mantenimiento en Hospitales en Cuba, Tesis en opción al grado científico de Doctora en ciencias técnicas UCLV Santa Clara*.
- Bruel, K. (1984). *Mantenimiento predictivo*. La Habana.
- Caram, D. P. (1990). *Desarrollo del programa de mantenimiento por diagnóstico en la Refinería Níco López*.
- Castillo Morales, G. (1999). *Mantenimiento a Equipos, Máquinas e Instalaciones*.
- Chaviano Bernal, S. (2004). *Factibilidad Técnico-Económica de la Introducción del Sistema MBC en Equipos Rotodinámicos*.
- 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.
- Díaz, S. (1994). *Medición y análisis de vibraciones*.

- 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*.
- Fernández García, S. (1994). *Metodología Diagnóstico Integral Para Centrales y Sub-Estaciones Eléctricas*. Cienfuegos.
- García Garrido, S. (2010). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial*.
- García, A. P. (2013). Características de los equipos principales instalados en las plantas térmicas. (M. M. Urquiza, Entrevistador)
- Garcia, G., & Quijano. (2004). *Mejora en la Confiabilidad operacional de las plantas de generación de energia electrica ,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 gestion editorial FC , España pp 259*.
- Jaramillo, P. (2004). El Futuro de la Función de Mantenimiento, Publicado en <http://www.soporteysia.com.co>.
- Jeira, & Gibson. (2004). *Aspectos Generales Sobre La gestion Del Mantenimiento. Organizaciòn De Esta Actividad y Sus Respnsabilidades*.
- Leiva Castro, D. (1996). *Metodología y diseño para la implantaciòn del Sistema Alterno de Mantenimiento a Equipos Rotatorios en la C.T.E Carlos M. De Cèspedes Cienfuegos / Darelys Leiva Castro, Liver Batista Garrido; Silvino Bernal, Rafael Gomez , tutores de Diploma ,UCF (Cfg)*.
- Luis Felipe Sexto. (2017). *Tipos de mantenimientos,Cuantos y Cuales son*.
- Miranda Chiguay, R. (2015). *Mantenimiento Progresivo o Planificado*.

- Moubray, j. (1997). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, Segunda Edición. Ellman, Suerio y Asociados. España.
- Mourdoch Misa, F. (1994). *El Mantenimiento Predictivo en la industria* / Francisco Mourdoch Misa, Angel Nuñez Jover - España . .
- 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.*
- Ochoa Guzman, J., & Urquiza, J. C. (2014). *Pilar del Mantenimiento Progresivo o Planificado.*
- Portuondo Pichardo, F. M. (1990). *Sistema Alternativo de Mantenimiento. Ingeniería Industrial (La Habana).*
- Sematech, N. . (2013). *Engineering Statistical Handbook.*
- Sotoyo Blanco, S. (2001). "Optimización Integral de Mantenimiento (OIM)" Ellmann, Sueiro y Asociados. [http://www. Mantenimientomundial.com/stes/mmnew/bib/notas/oim.asp](http://www.Mantenimientomundial.com/stes/mmnew/bib/notas/oim.asp) Última consulta: 18.01.2015.
- Torres, I. (2005). *El mantenimiento. Su implementación y Gestión. Edición segunda . Editorial Universitas. Córdoba, España.*
- Trocel, D. (2007). *Implementando un efectivo Programa de Mantenimiento Basado en Condición .*

NOMENCLATURAS

C.T.E— Central Termoeléctrica

MBC-- Mantenimiento en Base a la Condición

MPT-- Mantenimiento Productivo Total

OCR-- Optimización Costo Riesgo

MCC-- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

SAM-- Sistema Alternativo de Mantenimiento

SOMCE-- Sistema Organizativo de Mantenimiento a Centrales Eléctricas

RPM—Revoluciones por minutos

BCU—Unidad de medida de la energía de las vibraciones

CD—Corriente directa

T.R-- Tiempo Real

PO-- Parámetro óptimo

(g/MWh)-- Gramos mega watts hora

Mtto- Mantenimiento

MW—Mega watts.

RPM-- Revoluciones por minutos.

MPP-- Mantenimiento preventivo planificado.

t/h-- Toneladas horas.

g/kWh-- Gramos por kilowatts hora.

T.R—Tiempo real

CBP—Calentadores de Baja Presión

VTF--- Ventilador de Tiro Forzado

BAA--- Bomba Agua Alimentar

CAR--- Calentador de Aire Regenerativo

El síntoma-- es un fenómeno observable que surge de, y acompaña a, un defecto.

La causa-- es una razón probable de la existencia de defectos.

El remedio o corrección-- es un cambio que puede eliminar o neutralizar con éxito una causa de defectos.

Vibración-- es toda variación en el tiempo, de una magnitud que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico, cuando esta magnitud es alternativamente mayor o menor que cierto valor promedio o de referencia.

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

Los gráficos de control-- son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable, en función de ciertos límites establecidos. Generalmente se usan como elementos de **autocontrol**, resultando muy útiles a los **diagramas causas-efecto--** cuando se logra aplicar a cada fases del proceso y detectar en cuales fases se producen las alteraciones

Diagnóstico-- Relativo a la diagnosis, conjunto de síntomas que relacionan un defecto

La verificación-- es la confirmación mediante examen y presentación de evidencias objetivas, de que se han cumplido los requisitos especificados. El término verificado se usa para designar la condición correspondiente.

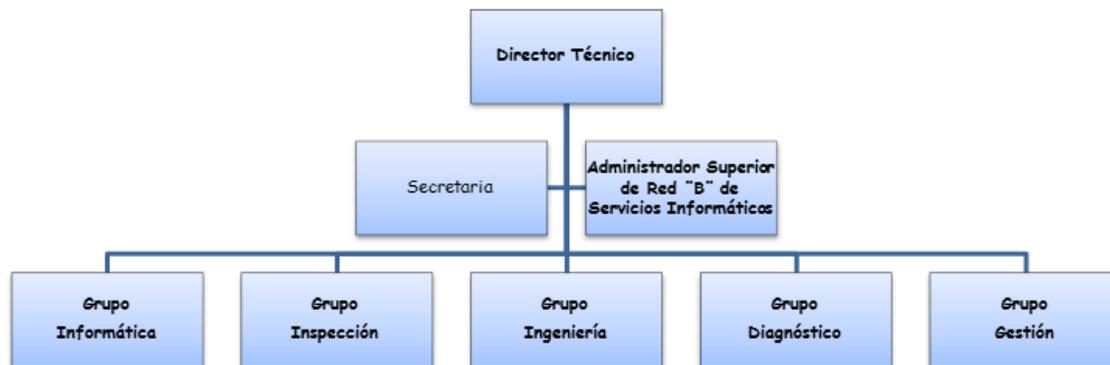
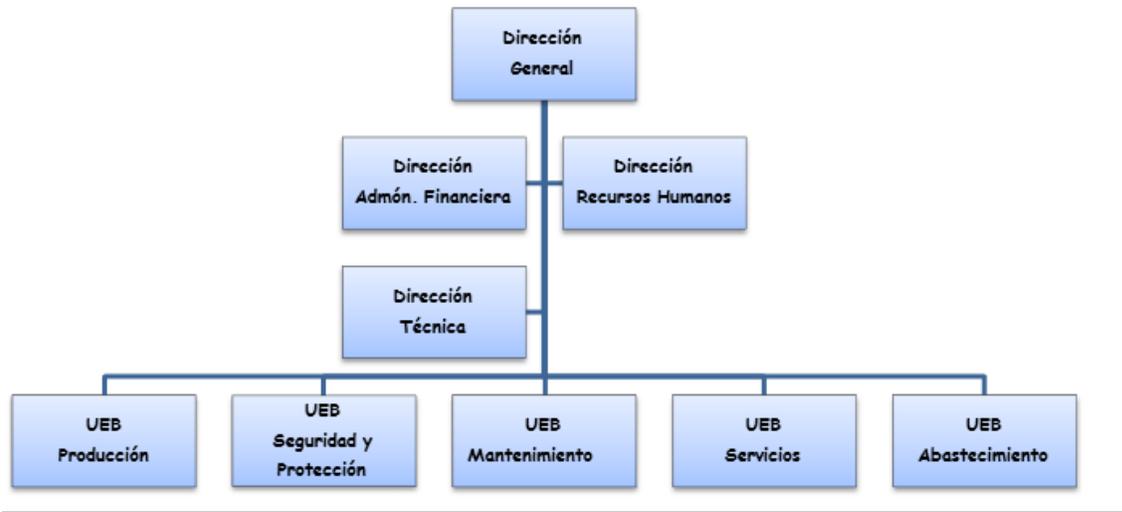
El registro es el documento-- que presenta evidencias objetivas de las actividades realizadas o de los resultados obtenidos.

Causas de Fallo-- Razones probables de la existencia del síntoma.

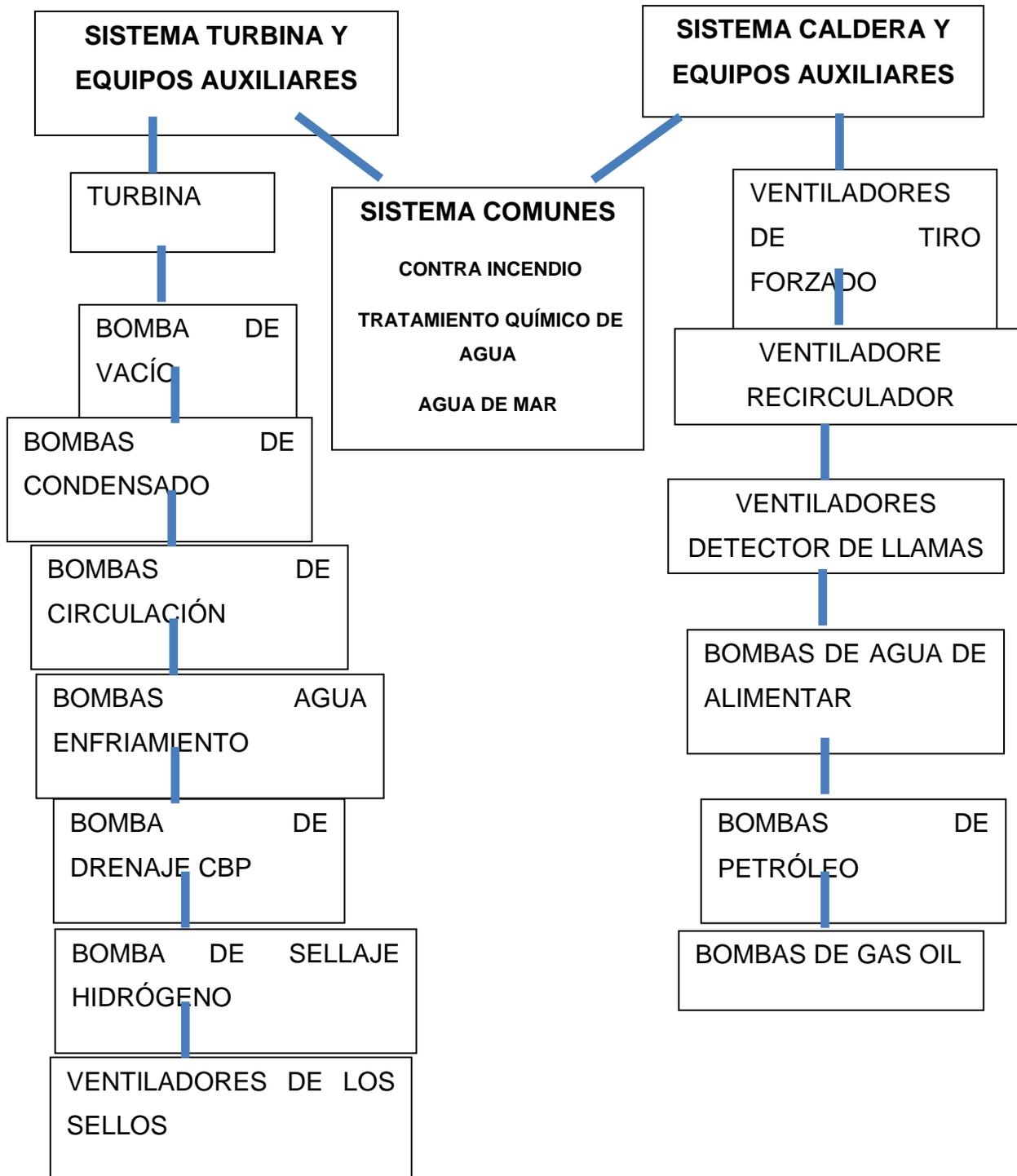
Efectos de fallo-- Consecuencias del fallo sobre el sistema.

ANEXOS

Anexo 1 Esquema Organizativo de la Empresa



Anexo 2 Esquema de equipos que componen los Sistemas Turbina y Caldera.



Anexo 3 Bases de datos total de síntomas por sistemas.

	VIBRACIONES	TEMPERATURA	RUIDO	PARAMETRO OPERACIONAL	LUBRICANTES	AMPERAJE	CARENCIA DE MTTO	TOTALES DE SINTOMAS	DEFECTOS EN RODAMIENTOS	TOTALES DE EQUIPOS
TOTALES DEL SISTEMA VTF Y VRG	34	3	6	6	4	20	24	97	7	49
TOTALES DEL SISTEMA VEDELL	28	17	9	1	10	6	4	75	29	35
TOTALES DEL SISTEMA BAA	37	30	2	24	17	17	35	162	0	78
S TOTALES DEL SISTEMA COND Y DRENAJE	14	6	4	0	2	11	7	44	15	20
TOTALES DEL SISTEMA B A ENFRIAMIENTO	4	11	3	1	4	5	0	28	18	18
TOTALES DEL SISTEMA B CIRCULACION	6	5	4	1	0	8	4	28	6	15
TOTALES DEL SISTEMA CUARTO HIDROGENO	13	8	14	1	3	1	7	47	11	17
TOTALES DEL SISTEMA CAR	16	12	12	3	6	2	18	69	17	24
TOTALES DEL SISTEMA TURBINA	29	6	1	19	2	0	23	80	2	29
TOTALES DEL SISTEMA ELECTRICOS (MOTORES)	17	21	10	3	12	30	18	111	22	62
TOTALES DEL SISTEMA COMUN PTQA Y SCI	46	20	36	5	9	10	49	175	57	71
SINTOMAS TOTALES DEL SISTEMA	244	139	101	64	69	110	189	916	184	418
ANÁLISIS % SINTOMAS, RELATIVOS AL TOTAL	26.64	15.17	11.03	6.99	7.53	12.01	20.63	100.00	20.09	45.63

Anexo 3.1 Defectos fundamentales por sistemas, equipos fundamentales y sistemas comunes

	DEFECTOS EN RODAMIENTOS	DEFECTO ALINEAMIENTO	DESBALANCES	ROCES MECANICOS	DEFECTOS OPERACIONALES	INSTRUMENTO	INESTABILIDAD HIDRODINAMICA	TOTALES DE SINTOMAS	DEFECTOS EN RODAMIENTOS	TOTALES DE EQUIPOS
TOTALES DEL SISTEMA VTF Y VRG	7	9	20	2	6	6	14	1	65	49
TOTALES DEL SISTEMA VEDELL	29	12	10	0	0	0	1	1	53	35
TOTALES DEL SISTEMA BAA	0	36	6	12	8	1	9	7	79	78
S TOTALES DEL SISTEMA COND Y DRENAJE	15	3	5	0	0	0	0	6	29	20
TOTALES DEL SISTEMA B A ENFRIAMIENTO	18	1	0	0	0	0	0	5	24	18
TOTALES DEL SISTEMA B CIRCULACION	6	6	0	2	0	0	0	5	19	15
TOTALES DEL SISTEMA CUARTO HIDROGENO	11	11	1	1	0	0	0	1	25	17
TOTALES DEL SISTEMA CAR	17	13	0	6	0	0	0	0	36	24
TOTALES DEL SISTEMA TURBINA	2	15	6	4	7	15	0	0	49	29
TOTALES DEL SISTEMA ELECTRICOS (MOTORES)	22	2	1	1	1	3	0	32	62	62
TOTALES DEL SISTEMA COMUN PTQA Y SCI	57	18	7	6	3	0	0	12	103	71
SINTOMAS TOTALES DEL SISTEMA	184	126	56	34	25	25	24	70	544	418
ANÁLISIS % DFECTOS, RELATIVOS AL TOTAL	34	23.16	10.29	6.25	4.60	4.60	4.41	12.87	100	

Anexo 3.2 Datos para análisis gráfico de síntomas por sistemas

	VIBRACIONES	CARENCIA DE MANTENIM.	TEMPERATURA	AMPERAJE	RUIDO	LUBRICANTES	PARAMETROS OPERACIONAL	TOTAL
TOTALES SINTOMAS	244	189	139	110	101	69	64	916
% DEL TOTAL	26.64	20.63	15.17	12.01	11.03	7.53	6.99	100
PARETO	26.64	47.27	62.45	74.45	85.48	93.01	100.00	

ANEXO 3.3 Datos para análisis de defectos por sistemas sin defectos eléctricos están asociados a rodamientos

	DEFECTOS EN RODAMIENTOS	DEFECTO ALINEAMIENTO	DESBALANCES	ROCES MECANICOS	DEFECTOS OPERACIONALES	INSTRUMENTO	INESTABILIDAD HIDRODINAMICA	TOTALES DEFECTOS
DEFECTOS TOTALES DE LOS SISTEMAS.	184	126	56	34	25	25	24	474
% DEL TOTAL	38.82	26.58	11.81	7.17	5.27	5.27	5.06	100.00
PARETO	38.82	65.40	77.22	84.39	89.66	94.94	100.00	

ANEXO 3.4 Datos distribución por sistemas de síntomas.

	SISTEMA COMUN	Sist .B.A.A	SISTEMA MOTORES	SISTEMA VTF Y VRG	SISTEMA TURBINA.	SISTEMA VEDELL	SISTEMA CAR	SISTEMA HIDROG	SISTEMA COND, DRE	SISTEMA B CIRCI	SISTEMA EFRIAM	TOTALES
Síntomas por Sistema	175	162	111	97	80	75	69	47	44	28	28	916
% DEL TOTAL	19.10	17.69	12.12	10.59	8.73	8.19	7.53	5.13	4.80	3.06	3.06	100.00
PARETO	19.10	36.79	48.91	59.50	68.23	76.42	83.95	89.08	93.89	96.94	100.00	

ANEXO 4 Plan de trabajo anual grupo de diagnóstico ensayos no destructivo dinámico. (Vibraciones)

Unidad o Equipos	Control Monitoreo Periódico		Medición de Vibraciones		Control de Defectos		
	Inspección 5 Sentidos	Chequeo de equipos con defectos	Nivel Total y BCU	Análisis Espectral	Análisis de Tendencia	Análisis Causa Efecto	
UNIDAD III.	Semanal	Diario	Quincenal	Mensual	Según mediciones	Según averías o defectos	
UNIDAD IV	Semanal	Diario	Quincenal	Mensual	Según mediciones	Según averías o defectos	
T. QUIMICO DE AGUA	Bimensual	Diario	Trimestral	Anuar	*****	Según averías o defectos	
OTROS SISTEMAS	Trimestral	Diario	Semestral	Anuar	*****	Según averías o defectos	
MEDICIONES ANTES DEL MANTENIMIENTO Y DESPUES DEL MANTENIMIENTO MPP O POR AVERÍA							
Equipos Fundamentales	Antes del Mtto.	Dentro del Mantenimiento			Después del mantenimiento		
Categoría A, B Y C	72 Horas antes	Motores en vacío	Pruebas para control de Mtto	Certificación preliminar del Mtto	Pasadas 72 horas Certificación de Mtto	Monitoreo normal	
CHEQUEO DE EQUIPOS EN MANTENIMIENTO (Esta actividad se adiciona según necesidades del área)							
Control de trabajos del mantenimiento		Chequeo de parámetros			Análisis de defectos de Mtto. U operación		
Estados al desarmes y armes de equipos		Control de parámetros de interés vibracionales			Parte del análisis en los arranques después del mantenimiento		

ANEXO 4.1 Plan de monitoreo periódico propuesto para el año 2017 (Monitoreo subjetivo y objetivo)

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 B	C	X						X	
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

Anexo 5. Valoración económica del trabajo.

E.I no planificadas Y Emergencia	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Total 2006/2017
VTF, BAA, Turbina Y CAR (2006 al 2017)	9451.5	15340.25	43082.43	22650.2	5727.59	10217.9	9417	10599.6	4363.84	226.9	0	0	131077.27
% De E.I por etapas	2006 al 2010	= 73.43		% 2011 Al 2017	29,33	Reducción de un 44.10 % en el periodo del 2011 al 2017							
Ganancia Bruta =	Pérdidas del 2006 al 2010		Pérdidas del 201 al 2017		.								
Ganancia Bruta =	=96251.97		= 38445.7		5780.670 MW-h en demasía que se generan entre el 2011 y el 2017.								
Ganancia en KW 2011 al 2017 (MW x 1000) = 57806270 KW													
Si Produce por SEN	1 KW	20 Gms	Gramos para 1 KW por el SEN		57806270 x 20 = 1156125400 Gramos sobre consumidos por el SEN								
Ganancia en KW	1156125400 Gms		a	Toneladas	1156.1254 Toneladas gastadas por demasía por el SEN								
Ganancia generada en pesos	\$ 443.38		x	1156.1254 Ton	= \$512602.8799		Costo Ton \$443.38 Valor promedio (2011/2017)						