

Tesis en opción al Título de Ingeniero Industrial.

Título: Metodología para la factibilidad técnico-económica de Sistemas de Mantenimiento para Centrales Eléctricas.

Autor: Rosalia Rocío Díaz

Tutores: MSc. Silvino Chaviano Bernal
DrC. Jenny Correa Soto

Cienfuegos, 2023

PENSAMIENTO



*Mover a un país, por pequeño que sea,
es obra de gigantes.*

José Martí.

AGRADECIMIENTOS



Agradecimientos

Estoy profundamente agradecida con personas a las que no imaginé que contaría con ellas en un momento tan importante para mí, además de familiares, amigos y compañeros, porque su ayuda ha significado mucho para mí.

Agradezco a:

mis padres por sus sacrificios incansables, por darme la vida, el amor incondicional, el apoyo constante, la educación y la formación que me ha permitido crecer ante las dificultades y poder ser hoy un ser humano íntegro y de bien,

mis tutores Silvino y Jenny, por la dedicación, sabiduría y confianza para la confección de este trabajo, por sus oportunas orientaciones, aliento constante y esclarecimientos sin lo cual no hubiese sido posible este trabajo,

mis compañeros de trabajo Alexis y Liver , por la invaluable contribución que han tenido en mi desarrollo profesional, total entrega, dedicación, paciencia infinita, compromiso y disposición para compartir sus conocimientos en mi proceso de aprendizaje, cada interacción ha enriquecido y fortalecido mis habilidades, vuestra mentoría y apoyo han sido base del cumplimiento de esta meta,

mi pareja, mi compañero de varios años, por su comprensión, paciencia y apoyo emocional durante las etapas desafiantes de este proceso, ha sido partícipe y eslabón fundamental para la culminación de mis estudios,

mi mejor amigo Carlos, por estar presente en cada paso, en cada palabra y desarrollo de esta travesía. Su constante interés, ánimo, apoyo inquebrantable y emocional, consejos sabios, siendo un faro de calma y claridad, mi ancla en momentos de incertidumbre, por compartir tantas alegrías, tristezas y preocupaciones que hicieron esta etapa de la vida inolvidable,

mis compañeros de trabajo, especialmente Yuleimis y Mileidis que me acogieron, me brindaron su apoyo incondicional y sus buenos consejos para hacerme crecer,

mis compañeros de estudio Noreysi y Delvis que siempre estuvieron presente cuando los necesité y nunca me negaron su ayuda a lo largo de esta carrera,

y agradezco a todos aquellos que sinceramente, a su manera, me han querido, han brindado todo su apoyo, dedicación y confianza, han contribuido a mi crecimiento académico y personal, les extendiendo mi eterno agradecimiento.

DEDICATORIA

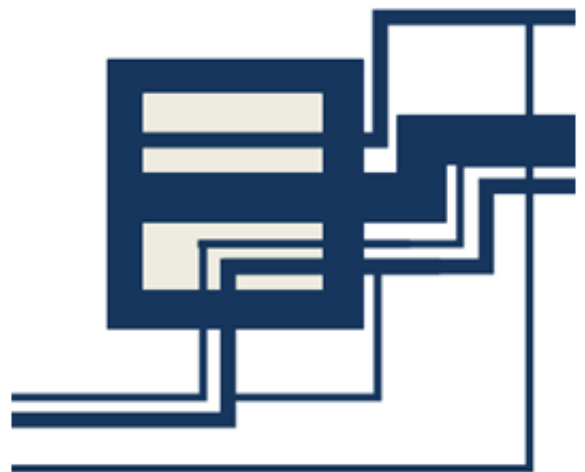


Dedicatoria

Dedico mis esfuerzos, mis conocimientos y mis logros a mis padres, por todo lo que han hecho por mí,

a Mayté, vecina y familia, por ser la primera persona que inculcó y despertó en mí los deseos de cursar por esta carrera tan especial.

RESUMEN



Resumen

La presente investigación tiene como objetivo proponer una Metodología para la factibilidad técnico-económica de Sistemas de Mantenimiento para Centrales Eléctricas. Metodología que fue validada en la Central Termoeléctrica Carlos M. de Céspedes. En ella se hace énfasis en el método de análisis de vibraciones. Logra de forma generalizada todas las posibilidades técnico-económicas para un mantenimiento más proporcionado para cada sistema. Esta investigación, se relaciona con el mantenimiento a equipos rotatorios, la misma aborda de forma particular los métodos organizativos y los principales aspectos técnico- económico necesarios para resolver las deficiencias detectadas durante el diagnóstico realizado en el proceso de mantenimiento de la entidad. Sus resultados prácticos contribuyen de manera efectiva a la reducción de las averías que generan energía indisponible en planta, al tener un control sobre los sistemas que más pérdidas generan, conocer a que parámetro de estado se le debe prestar más atención durante el monitoreo de estos y evaluar los cambios dinámicos que se generan en la técnica, de manera que se pueda controlar las fallas a nivel de sistema, lográndose establecer finalmente un control sobre el estado para la explotación de este.

Palabras claves: centrales eléctricas, diagnóstico, mantenimiento preventivo planificado, vibración.

SUMMARY



Summary

The objective of this research is to propose a Methodology for the technical-economic feasibility of Maintenance Systems for Power Plants. Methodology that was validated at the Carlos M. de Céspedes Thermoelectric Power Plant. It emphasizes the vibration analysis method. It achieves in a generalized way all the technical-economic possibilities for a more proportionate maintenance for each system. This research is related to the maintenance of rotating equipment, it specifically addresses the organizational methods and the main technical-economic aspects necessary to resolve the deficiencies detected during the diagnosis carried out in the maintenance process of the entity. Its practical results contribute effectively to the reduction of breakdowns that generate unavailable energy in the plant, by having control over the systems that generate the most losses, knowing which state parameter should be given the most attention during monitoring of these and evaluate the dynamic changes that are generated in the technique, so that failures can be controlled at the system level, finally establishing control over the state for its exploitation.

Keywords: power plants, diagnosis, planned preventive maintenance, vibration.

ÍNDICE



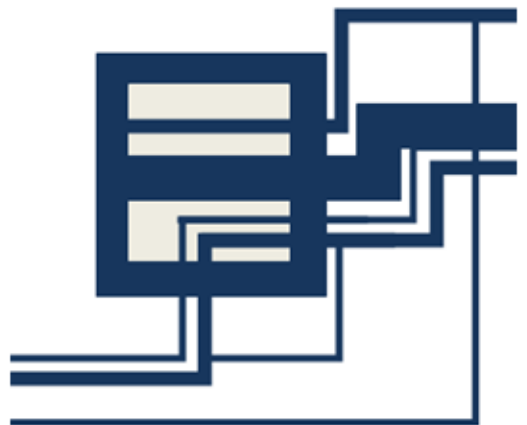
Contenido

Agradecimientos	1
Dedicatoria	1
Introducción	1
CAPÍTULO I. LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA, RESUMEN DE CONCEPTOS GENERALES Y TERMINOLOGÍAS	5
1.1 Introducción	5
1.2 Situación actual del mantenimiento en la industria.....	6
1.2.1 Formas organizativas de sistemas de mantenimiento actuales	6
1.3 El mantenimiento dentro del proceso productivo	8
1.4 Conceptos generales y terminologías relacionadas con la gestión, la actividad del mantenimiento y las reparaciones	9
1.4.1 Tipos de mantenimientos, conceptos generales	10
1.5 Evolución del mantenimiento.....	12
1.6 Sistemas de mantenimiento, funciones principales y generales. Ámbito mundial y nacional.....	13
1.6.1 Mantenimiento en las Centrales Termoeléctricas	14
1.6.2 Funciones principales y generales del mantenimiento en Termoeléctricas	14
1.7 Conceptos y términos relacionados con el parámetro de estado, vibraciones	15
1.7.1 Desarrollo actual para la medición y análisis de las vibraciones	22
1.8 Procesamientos de la información para procesos de monitoreo y diagnóstico.....	24
1.9 Técnicas y herramientas aplicables en las actividades del mantenimiento ajustables a cualquier sistema de mantenimiento actual.....	25
1.9.1 Tipos de gráficos fundamentales que se emplean	26
1.10 Tipos de costos involucrados en el mantenimiento.....	27
1.11 Conclusiones parciales	28
Capítulo II. Caracterización general. Etapas realizadas para aplicación de la metodología de los sistemas de mantenimiento en la CTE CMC	30
2.1 Introducción	30
2.2 Característica actual de la entidad	30
2.3 Situación actual y perspectivas de desarrollo	39
2.4 Caracterización del mantenimiento en la CTE CMC.....	39
2.5 Metodología propuesta para la factibilidad técnico-económica de Sistemas de Mantenimiento en la CTE CMC	40

2.5.1 Primera Etapa, diagnóstico del sistema organizativo actual de mantenimiento en la CTE CMC...	41
2.5.2 Segunda Etapa, selección de equipos en grupos según su importancia productiva y selección del tipo de mantenimiento a aplicar.....	43
2.5.2.1 Clasificación de los Sistemas de trabajo	43
2.5.3 Tercera Etapa, métodos y técnicas aplicadas para la determinación de Parámetros de Estado a controlar durante la aplicación del Diagnóstico.....	48
2.5.3.1 Problemas más comunes que generan fallas relacionados con el parámetro vibraciones en las máquinas	49
2.5.3.2 Sistema organizativo de monitoreo aplicado a equipos y sistemas	50
2.5.4 Cuarta Etapa, determinación de síntomas atendiendo a la cantidad de defectos por Sistemas, mediante la aplicación de la Técnica de “Pareto”	51
2.5.5 Quinta Etapa, resultados del Mantenimiento	53
2.5.5.1 Ciclos de monitoreo de los parámetros de estado	53
2.6 Conclusiones parciales	56
Capítulo III. Validación de la Metodología para la factibilidad técnico-económica de Sistemas de Mantenimiento en la CTE CMC.....	57
3.1 Introducción	57
3.2 Primera Etapa, diagnóstico del sistema organizativo de mantenimiento actual en la CTE CMC.....	57
3.2.1 Caracterización del mantenimiento en la CTE CMC	58
3.2.1.1 Situación técnica y organizativa del mantenimiento en la CTE CMC, antes de la aplicación de las nuevas técnicas para el diagnóstico de los equipos.....	58
3.3 Segunda etapa, selección de equipos en grupos según su importancia productiva y selección del tipo de mantenimiento a aplicar	59
3.4 Tercera Etapa, métodos y técnicas aplicadas para la determinación de Parámetros de Estado a controlar durante la aplicación del Diagnóstico.....	62
3.5 Cuarta Etapa, determinación de síntomas atendiendo a la cantidad de defectos por sistemas, mediante la aplicación de la Técnica de “Pareto”	62
3.6 Quinta Etapa, resultados del Mantenimiento	64
3.7 Resultados técnico-económicos obtenidos a partir de la aplicación del Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado y del Diagnóstico.....	69
3.7.1 Resultados técnicos, valoración cuantitativa de la aplicación del diagnóstico.....	70
3.7.2 Resultados económicos de la aplicación del Mantenimiento por Diagnóstico según estados a equipos categoría B	72
3.8 Análisis del elemento costo de mano de obra, del Sistema de Ventilador de Tiro Forzado (VTF) del MPP y Diagnóstico	73
3.9 Conclusiones parciales	75

Conclusiones generales	77
Recomendaciones.....	78
Bibilografia	79
Anexos	

INTRODUCCIÓN



Introducción

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

El mantenimiento, mundialmente reconocido como un elemento fundamental para incrementar la competitividad industrial en un escenario de mercados globales, ha emergido como una sofisticada disciplina que combina técnicas de gestión, organización y planeamiento con aplicaciones ingenieriles avanzadas, garantizando la disponibilidad, funcionalidad y conservación del equipamiento, siempre que se aplique correctamente, a un costo competitivo (Pérez, 2021).

Una de las interrogantes en esta temática es el ¿Por qué evaluar y controlar la gestión de mantenimiento en las empresas?; la respuesta es tan sencilla dado a 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.

Esta información permite actuar de forma rápida y precisa sobre los factores débiles en el mantenimiento. Una buena política para controlar y evaluar la gestión de mantenimiento en la empresa resulta de la implantación, estudio y análisis de los costos de mantenimiento (Pérez, 2021).

El costo de mantenimiento existe, porque sin mantenimiento no puede existir la organización competitiva. El mantenimiento existe porque existe el deterioro, porque existe la pérdida de funcionalidad, porque existen los problemas de operación, porque existe la degradación; todo lo cual provoca pérdidas que generan costos y consecuencias mucho más significativas que aquel costo destinado a mantener estos fenómenos bajo control o eliminarlos (Pérez, 2021).

La inserción, en Cuba de las Industrias Termoeléctricas dentro del desarrollo actual en cuanto a novedosas técnicas y sistemas de mantenimientos, más que un lujo constituye una necesidad por cuanto la economía del país depende en gran medida en la actualidad de la búsqueda de la eficiencia económica, que solo se logra con la calidad del servicio de energía, para esto la eficiencia con que puede trabajar la industria está estrechamente relacionada con la actividad de mantener la disponibilidad de los equipos, en parámetros altos (Pérez, 2021).

El desarrollo industrial de la generación eléctrica, en la provincia de Cienfuegos, es de vital importancia para el país, ya que se encuentra la Termoeléctrica más estable, que regula el sistema y la frecuencia, certificada bajo la NC ISO 9001:2015 por tener implementado un Sistema de Gestión de la Calidad, además de estar certificados otros sistemas con la NC ISO 14001:2015 (Sistema de Gestión Ambiental), la NC ISO 45001:2018 (Sistema de Gestión de Seguridad y Salud del Trabajo), la NC ISO 50001:2019 (Sistema de Gestión de la Energía), por lo tanto, la Empresa Termoeléctrica se encuentra certificada por tener implementado un Sistema Integrado de Gestión desde marzo del 2022, única en el país, aun así se mantiene en un proceso de mejora continua donde el mantenimiento es un pilar fundamental, debido a que para garantizar lo antes mencionado se debe mejorar la gestión del mantenimiento, su disponibilidad y su confiabilidad como única forma de reducir los costos y aumentar su eficiencia, como una de las tareas prioritarias de toda gran industria moderna.

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

La CTE CMC, en su gestión de mantenimiento, combina las diferentes técnicas, de acuerdo a las condiciones y características que se manifiesten, donde se desarrollan acciones de mantenimiento reactivo (correctivo o contra avería), mantenimiento preventivo planificado (MPP) y el mantenimiento predictivo o por diagnóstico. Este último, potenciado con altas tecnologías y un grupo de especialistas con una elevada categoría profesional, se ha convertido en un factor de alto nivel y confiabilidad, en la reducción de averías, lo cual influye de manera positiva en los aspectos de calidad, disponibilidad de los equipos y reducción de los costos por concepto de mantenimiento (Pérez, 2021).

Sin embargo, ante la evidencia de una real recuperación técnico-económica en los momentos actuales de la Revolución Energética, aún existe carencias notables de infraestructura, soporte para la ejecución de mantenimiento, falta de documentación técnica u obsolescencia de la misma, inexistencia de listado de equipos y financiamiento para la adquisición de instrumentos, presencia de alto nivel de envejecimiento, pero a su vez cuenta con una fuerza de trabajo con

experiencia y alta profesionalidad la cual es necesaria mejorar y mantener en las nuevas generaciones. La CTE CMC tiene una capacidad de generación eléctrica de 316 MW (158 MW en cada una de sus unidades), está limitada en la actualidad a 255 MW (unidad 3 a 140 MW y Unidad 4 a 115 MW), una de las causas es el número de averías en la planta que no se logran reducir, en comparación con el año 2022, se ha afectado la disponibilidad en 7,64 % que representa 482 375 MW dejados de producir y entregar al Sistema Eléctrico Nacional y con ello una afectación a los sectores de la economía y al sector residencial en el país, en muchas ocasiones no se le da a la actividad de diagnóstico la importancia que requiere desoyendo las orientaciones técnicas que del grupo central dimanan y no existe una forma adecuada de conocer el costo real del mantenimiento y en especial el contra averías, no solo por las pérdidas inoportunas que esta última le ofrece a la empresa, sino por el impacto que presentan las mismas en el costo total del mantenimiento. Todo lo anterior constituyen la **Situación problemática** de la investigación.

El **Problema de Investigación** se enuncia en:

¿Cómo contribuir mediante una metodología para Sistemas de Mantenimiento a la mejora de la disponibilidad de generación eléctrica y a la reducción de las pérdidas de los costos del mantenimiento de la Central Termoeléctrica Carlos M. de Céspedes?

Como **Objetivo General** de la investigación se declara:

Proponer una Metodología para la factibilidad técnico-económica de Sistemas de Mantenimiento para Centrales Eléctricas.

Del cual se derivan los siguientes **Objetivos específicos**

1. Desarrollar un marco teórico referencial que permita establecer el estado de la ciencia en el tema objeto de estudio mediante una recopilación bibliográfica.
2. Diseñar la Metodología para la factibilidad técnico-económica de Sistemas de Mantenimiento para Centrales Eléctricas.
3. Validar la metodología en la CTE CMC.

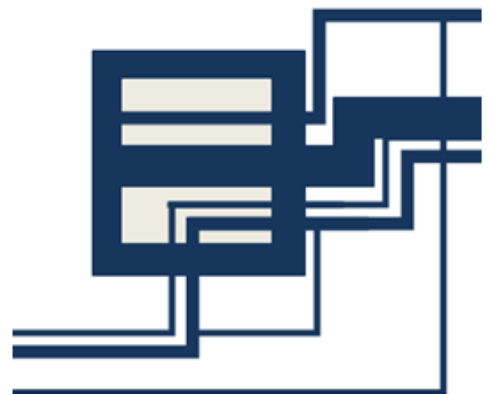
Justificación

En Cuba el uso racional de los recursos también es de vital importancia para el Modelo Económico y Social cubano afectado por el bloqueo impuesto por los Estados Unidos de América (Striker, 2010), e intensificado en el 2016 y con una mayor agresividad a partir del año 2019 (Correa, 2021), donde la generación de energía y su consumo es un factor clave para el desarrollo. La generación de electricidad es fundamental en las actividades económicas y en la

calidad de vida de la población, siendo las Centrales Termoeléctricas el pilar principal en el país. La CTE CMC es la Termoeléctrica más estable y regula la frecuencia del sistema eléctrico en Cuba; es una organización que tiene un Sistema de Gestión Integrado NC ISO 9001:2015, NC ISO 14001:2015, NC ISO 45001: 2018, NC ISO 50001:2019. Sin embargo está enfocada en aras de mejorar su disponibilidad de generación de energía.

La Tesis se estructura en resumen, summary, introducción, tres Capítulos donde el Capítulo 1 se desarrolla el marco teórico referencial que aborda aspectos relacionados con los conceptos y términos interconectados con la actividad del mantenimiento y con parámetros de estados de vibraciones, teniendo como soporte la literatura científica que aborda la problemática desde el punto de vista teórico-práctico, Capítulo 2 se caracteriza la empresa, así como el mantenimiento en la instalación, detallando las técnicas de mantenimiento y se diseña la Metodología para la factibilidad técnico-económica de Sistemas de Mantenimiento y el capítulo 3 se realiza la validación parcial de la metodología en el objeto de estudio CTE CMC. Además contiene conclusiones parciales por capítulos, conclusiones generales, recomendaciones, bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I



CAPÍTULO I. LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA, RESUMEN DE CONCEPTOS GENERALES Y TERMINOLOGÍAS

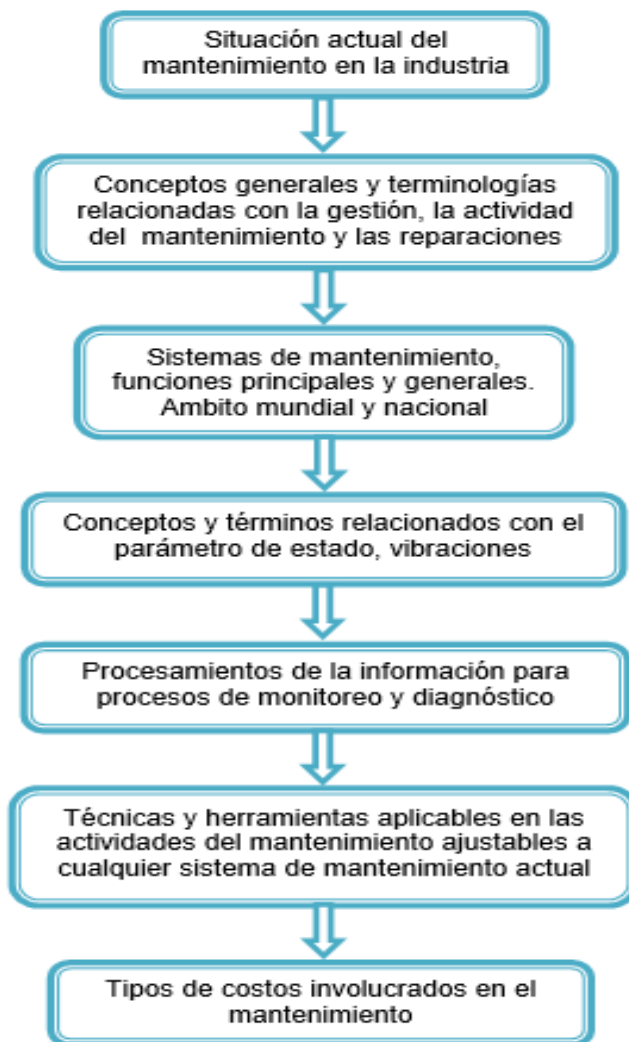
1.1 Introducción

A lo largo de este capítulo se relacionan las tendencias a nivel Nacional y Mundial de los sistemas organizativos de mantenimiento, y como toma un lugar preponderante dentro de la Gestión del mismo, la terminología mantenimiento por diagnóstico en todas sus posibles aplicaciones en dependencia del desarrollo de nuevas y complejas tecnologías a utilizar.

La figura 1.1 muestra el esquema para la construcción del marco teórico referencial.

Figura 1.1

Hilo conductor



Nota: Elaboración propia

Atendiendo a una adecuada comprensión del presente trabajo, se relacionan los términos más frecuentes utilizados en la actividad del mantenimiento, el diagnóstico y técnicas que se aplican, detallando las relacionadas con el objeto de estudio.

Teniendo como premisa su importancia, revisemos algunas definiciones básicas de mantenimiento y sus clasificaciones.

Se muestra además algunos de los métodos y técnicas de trabajo que aparecen en la “Metodología para la Introducción del Diagnóstico Integral para Centrales y Subestaciones Eléctricas”, los cuales son aplicados durante el desarrollo del diagnóstico según estado, a aquellos equipos que desde el punto de vista funcional y por su importancia en el proceso, son factibles de aplicarles este tipo de técnicas.

1.2 Situación actual del mantenimiento en la industria

La moderna tecnología proporciona una serie de métodos que permiten una evaluación exterior de las condiciones de máquinas sin desmontajes previos, no afectando así ni su funcionamiento normal, ni el proceso productivo. El método de análisis por vibraciones ha demostrado ser el más efectivo en estos casos. El mismo junto con el monitoreo de otros parámetros específicos de la máquina, constituyen la base del mantenimiento Predictivo y (MPP) según estado, en equipos rotatorios (Pérez, 2021).

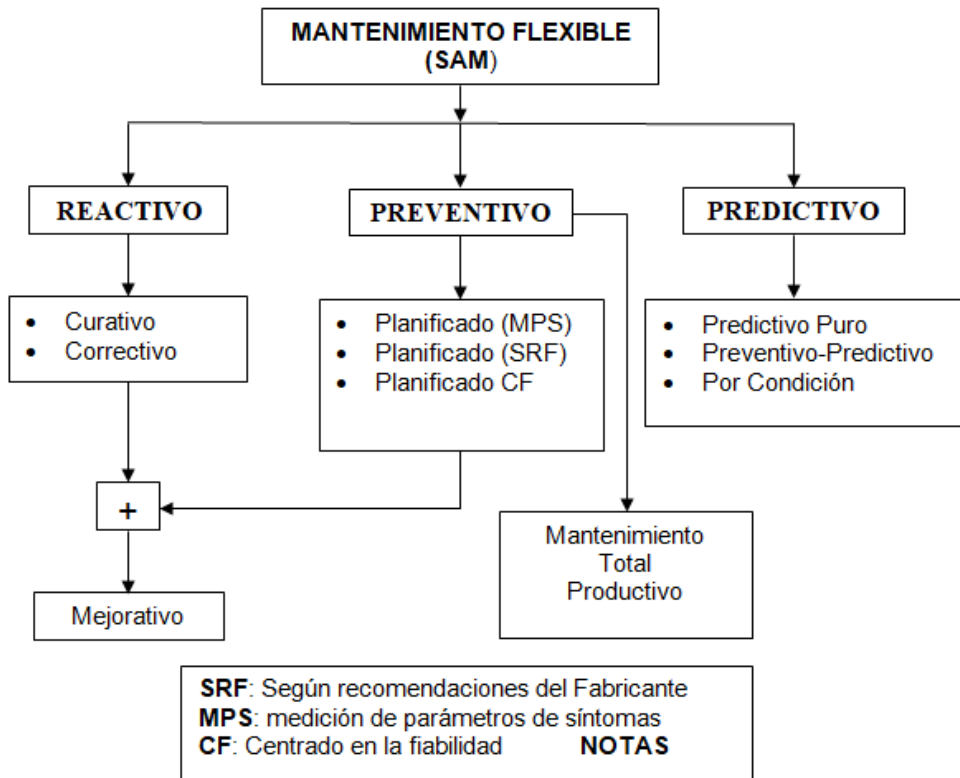
La práctica mundial está a favor del Mantenimiento Flexible, reforzando en todos los casos su introducción. El mismo se hace más demandado en aquellas industrias en las cuales el personal dirigente va adquiriendo un mayor grado de cultura tecnológica y por su indiscutible contribución a la eficiencia económica de la industria, así como a la seguridad operacional de la misma, se ha colocado en el mismo nivel de prioridad en la inversión que en el monitoreo y control del procesos tecnológicos (González, 2021).

1.2.1 Formas organizativas de sistemas de mantenimiento actuales

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

Figura 1.2

Formas generales organizativas de mantenimiento



Nota: IRD. Mechanalysis, (1998)

El Mantenimiento Flexible o Combinado como su nombre lo indica, consiste en la combinación armónica de los diferentes sistemas de mantenimiento a partir de los requerimientos que impone la explotación del parque de máquinas analizado. Es importante el hecho de que carece de fundamento técnico, económico y funcional, tratar de aplicar el mismo sistema de mantenimiento a todas las máquinas de una fábrica. Se debe además resaltar que la característica principal de todas las formas organizativas avanzadas del mantenimiento es que se basan en el conocimiento y evaluación del estado real de la máquina objeto de análisis.

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

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

El mantenimiento Preventivo Planificado, parte de la ejecución preventiva de actividades, las cuales en general se planifican en el tiempo a partir de un ciclo teórico de desgaste, es decir, es

un grupo de servicios de mantenimiento repetitivos como, las revisiones, cambios de piezas, lubricación, otros. Encaminados a prevenir las roturas impredecibles. Esta forma organizada de realizar el mantenimiento puede ser: Según Recomendaciones del Fabricante, planificado según estudios estadísticos (Basado en la Fiabilidad), y atendiendo a la variación dinámica de sus Parámetros de Síntomas.

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

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

1.3 El mantenimiento dentro del proceso productivo

Debido al perfeccionamiento de las estructuras económicas y al desarrollo científico técnico, figura 1.3, cada vez más se requiere de la utilización de técnicas de mantenimiento flexibles y eficientes que eleven de forma drástica la efectividad de la actividad y su incidencia en el proceso productivo, de ahí la necesidad creciente a nivel mundial y nacional de la utilización de técnicas de Mantenimiento Predictivo.

El esclarecimiento de las relaciones entre el sistema de mantenimiento y otras "áreas" del proceso productivo permiten establecer nexos que pueden influir en su comportamiento así como algunos factores que dificultan su funcionamiento. En la figura 1.3, se establecen las relaciones necesarias entre el sistema de mantenimiento con las otras áreas del proceso productivo.

Figura 1.3

Posición y relaciones del mantenimiento dentro del esquema de un proceso productivo



Nota: Elaboración propia

De la figura se destacan algunos aspectos de interés que facilitan una mejor comprensión:

- El diseño del proceso productivo debe armonizar con el sistema de mantenimiento.
- La gestión de la calidad es un órgano externo al sistema de mantenimiento.
- El sistema de mantenimiento NO PLANIFICA sin considerar los requerimientos de la producción.
- El control de stock debe garantizar que no se programen operaciones de mantenimiento sin el debido aseguramiento.

1.4 Conceptos generales y terminologías relacionadas con la gestión, la actividad del mantenimiento y las reparaciones

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

Atendiendo a una adecuada comprensión del presente trabajo, se relacionan a continuación los términos más utilizados en la actividad del mantenimiento, con una breve definición del significado que tendrán otras explicaciones conceptuales.

Existen varias definiciones de mantenimiento, pero resumiendo según Pérez (2021), se entiende como mantenimiento al conjunto de técnicas, tecnologías o acciones con la finalidad de que los equipos, máquinas, componentes e instalaciones involucrados dentro del proceso industrial estén en las condiciones requeridas de funcionamiento para lo que fue diseñado, construido, instalado y puesto en operación para conseguir a un costo competitivo la disponibilidad de los activos productivos.

En algunas referencias se identifica el mantenimiento como “Todas las acciones necesarias para que un ítem sea conservado o restaurado de modo tal que permanezca de acuerdo con una condición especificada” (Morrow, 1973).

Existe una definición de mantenimiento muy famosa, que Pérez (2021), compartió:

Cuando todo va bien, nadie recuerda que existe. Cuando algo va mal, dicen que no existe. Cuando es para gastar, se dice que no es necesario. Pero cuando realmente no existe, todos concuerdan en que debería existir.

El mantenimiento está orientado a reducir al mínimo la indisponibilidad de las instalaciones y a eliminar sus disfunciones, su eficiencia se mide a partir de la disponibilidad y fiabilidad de los activos. Para calificar el mantenimiento de “Eficiente”, es preciso además que los costos sean reducidos.

Responsabilidades del mantenimiento:

- Reducción del tiempo de paralización de los equipos que afectan la operación.
- Reparación oportuna de los daños que reducen el potencial de ejecución de los servicios.
- Garantía de funcionamiento de las instalaciones para que los productos o servicios satisfagan los criterios de calidad establecidos.

1.4.1 Tipos de mantenimientos, conceptos generales

Existen varios tipos de mantenimientos en la industria, estos se relacionan a continuación:

Mantenimiento reactivo (contra averías): se aplica cuando la máquina deja de operar, porque se presenta la falla o avería y su objetivo es poner en marcha su funcionamiento, afectando lo

menos posible la productividad; generalmente se repara o se reemplaza el componente del equipo o de la máquina, haciéndolo en el menor tiempo posible. (Pérez, 2021).

Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP): se puede resumir según Pérez (2021), que son todos los servicios de inspección sistemática, ajustes, conservación y eliminación de defectos, planificados que contribuyan a evitar averías en períodos definidos. El MPP puede ser según recomendaciones del fabricante, medición de parámetros de síntomas y basado en la fiabilidad.

Mantenimiento Predictivo: son todos los servicios de inspección sistemática que se realizan, con el seguimiento y el monitoreo de parámetros y las circunstancias de operación, procurando prever, predecir que es lo que puede ocurrir a un recurso y (o) a su servicio, con vistas a entonces actuar preventivamente y evitar las acciones correctivas. A tal producto, se precisa y se gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todas aquellas variables que se contemplan relevantes de medir y gestionar. (González, 2021).

Mantenimiento Total Productivo, este mantenimiento también llamado autónomo, es una técnica que promueve un trabajo donde están siempre unidos en función de los mismos, el Hombre, la Máquina y la Empresa, su filosofía elemental es "Conservación de los medios de producción por todos".

Técnica Los 5 Sentidos (Inspección subjetiva): no por ser la menos costosa es la menos importante. Son incalculables los defectos o funcionamientos anormales que pueden ser detectados durante la inspección subjetiva y sistemática de sus máquinas. Con el tiempo, el hombre conocerá los sonidos, la temperatura, las vibraciones, los parámetros de procesos normales de sus máquinas, es decir, con sólo tocar las zonas cercanas a los apoyos, el cuerpo del motor, observar los niveles de aceite, su coloración y apariencia, leer los instrumentos de medición que están instalados en las máquinas, observar los sistemas de sellajes, el hombre puede tener información preliminar de la condición de las máquinas. La inspección subjetiva permite además, detectar riesgos de accidentes e incorrectas prácticas de mantenimiento.

Sistema Alternativo o Flexible de Mantenimiento (SAM): este sistema establece cual debe ser el sistema de mantenimiento a aplicar a cada máquina y (o) tipos de máquinas, e incluso en una misma máquina. Todo lo anterior expuesto justifica el hecho de que el sistema organizativo de mantenimiento debe ser un Sistema de Mantenimiento Alternativo o Flexible (Climent, 2017).

De manera más detallada, el proceso de mejoramiento del mantenimiento, es una forma de administrar una organización, orientada a asegurar la satisfacción de los clientes internos como

externos, mediante la participación activa y el desarrollo del personal, bajo el liderazgo gerencial, para el mejoramiento permanente del ambiente de trabajo o de los productos, servicios y procesos operativos. Como comenta Pérez (2021), se debe tener en cuenta que, al controlar cualquier proceso industrial se miden aquellas variables que afectan la calidad del producto y la eficiencia del proceso.

El control de la calidad de un buen mantenimiento, está conformado por las técnicas y actividades operativas, que se usan para cumplir los requisitos de los sistemas de mantenimiento según las condiciones adecuadas a las técnicas y conocimientos específicos en cada caso de los sistemas posibles a aplicar teniendo en cuenta las formas del conocimiento alcanzado en la actividad del mantenimiento en cada instituciones de trabajo.

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

1.5 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, disponibilidad de equipos de diagnóstico y técnicas de medición 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 & González, 2021), consideran que estos cambios acontecidos a través de tres generaciones, 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 anexo 1).

En el anexo 2 y anexo 3, se presenta como han ido evolucionando las expectativas y técnicas del mantenimiento durante estas cuatro generaciones.

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 (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.

1.6 Sistemas de mantenimiento, funciones principales y generales. 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, 2005). Lo más común en las denominaciones es el término de sistemas. Algunos autores, Sierra, (Carrasco & Valencia, 2019; Leiva, 1996 & Borroto, 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, 1997).

Hoy en día existen infinidad de herramientas, técnicas, metodologías y filosofías de mantenimiento. Algunas de las más utilizadas pueden ser; (Alkaim, 2003; Fabro, 2003; Trocel, 2007; De la Torre, et al., 2008 & Mundarain, 2009), entre otros.

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 & Andrade & Herrera, 2021).

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, 1997; Batista, 2000; Borroto, 2005; González, 2021; Sierra, Carrasco & Valencia, 2019) 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.

1.6.1 Mantenimiento en las Centrales Termoeléctricas

El mantenimiento en las Centrales Termoeléctricas se enfocan 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 (Pérez, 2021).

1.6.2 Funciones principales y generales del mantenimiento en Termoeléctricas

Las funciones principales y generales del mantenimiento en Termoeléctricas (Pérez, 2021) 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 los sistemas de generación eléctrica, 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, 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 exigencias surge la cuarta generación del mantenimiento y con este, la aplicación de nuevas técnicas que permitan actuar de manera predictiva y proactiva, sobre la detección de fallas e identificación de las posibles causas, cuestiones a valorar en el presente trabajo (González, 2021).

El mantenimiento predictivo tiene una de las disciplinas más importantes denominada: el análisis de vibraciones. Ya que esta es una de las formas de mantenimiento no destructivo más efectivo de la actualidad, porque brinda una información clara acerca del funcionamiento interno de una máquina (Cabrera, 2020).

1.7 Conceptos y términos relacionados con el parámetro de estado, vibraciones

La importancia de las vibraciones mecánicas en el mantenimiento industrial, generando alarmas, lo que se traduce en el comportamiento de un componente o elemento vibrante en una máquina y, por lo tanto, la urgencia de la prevención de las fallas que traen este tipo de situaciones a corto y medio plazo (Pérez, 2021).

Según (Cabrera, 2020; Cabrera, 2021; González, 2021; Ríos, 2022 y Rivera, 2022) se puede resumir por vibración al movimiento de un cuerpo o sistema por la acción de fuerzas o influencias externas, caracterizada por pequeñas desviaciones o desplazamiento con respecto a una posición de referencia en el espacio, determinada por su estado de equilibrio estático, que se suceden en forma continua. Su desarrollo en tiempo y espacio depende de las propiedades físicas del cuerpo o sistema, de las características de la acción excitadora y de otras eventuales influencias externas (Díaz, 1994).

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

Según (Suiza. ISO 10816, 2009 & Arevalo, 2019) 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.

Según Suiza. ISO 2041 (2009), citado por Ayabaca, et al., (2022). el concepto de 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”.

Un caso notable para su estudio resulta cuando la ley del movimiento vibratorio responde a una función sinusoidal o casinusoidal del tiempo, o sea, las llamadas funciones armónicas, en el caso clásico del movimiento armónico simple y responden a la ecuación, $s = A \sin(\omega t + \Phi)$.

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

Por vibración vertical, se entiende la componente de la vibración obtenida, mediante la medición realizada en la dirección vertical; es un caso particular de las mediciones transversales para equipos rotatorios con eje de giro horizontal. Se simboliza con la letra V.

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

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

La vibración axial, es la componente de la vibración obtenida mediante la medición realizada, paralela con el eje de rotación del equipo, en los equipos con ejes de rotación horizontal coincide con el caso particular de mediciones horizontales, y en los casos de eje de rotación vertical con un caso particular de mediciones verticales. No obstante, por definición se identifica como axial y se simboliza con la letra A.

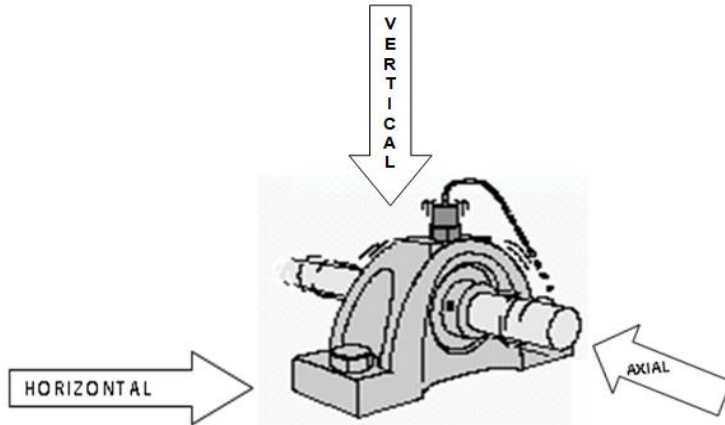
El plano de la medición, no es más que el lugar geométrico del equipo, determinado por un plano imaginario transversal, es decir, perpendicular al rotor, y en el cual yacen las direcciones y los puntos de aplicación para las mediciones transversales (V, H, A) de las vibraciones. Los planos de mediciones se eligen y determinan en los lugares del equipo que, teniendo acceso para las mediciones, son los que muestran las vibraciones más representativas de las zonas o partes del equipo estudiadas. Ver figura 1.4.

Actividad de diagnóstico: todas las actividades técnicas y organizativas relacionadas con la inspección, monitoreo y diagnóstico del estado y operación del equipamiento tecnológico, que conllevan al conocimiento de la tendencia de los parámetros síntomas y de procesos, a través de los cuales se puede predecir el desarrollo de uno o varios mecanismos de degradación.

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

Figura 1.4

El plano de la medición de vibración



Nota: Elaboración propia

Desplazamiento, según Norma ISO 2041-2009, es una cantidad vectorial que describe el cambio de posición de un cuerpo o partícula con respecto a un sistema de referencia. Es decir se trata de la medida instantánea de la distancia entre el punto de medición y su posición de referencia. Su unidad de medida es el $\mu m = 0.001 mm$.

Velocidad, según Norma ISO 2041-2009 y González (2021), es un vector que especifica la derivada del desplazamiento en el tiempo. Es la función que describe el desplazamiento como variable del tiempo. Si el desplazamiento es una función (seno, coseno), la velocidad también lo será, pero con un desfase de $T/4$. Su unidad de medida es en mm/s.}

Velocidad efectiva, es el valor medio cuadrático (Valor Efectivo o R.M.S) de la velocidad de la vibración durante un ciclo. Es una magnitud de gran valor criterial, ya que caracteriza la energía de la vibración y sus efectos de fatiga sobre los materiales. Por estas razones se utiliza cada vez más y es la magnitud elegida por las recomendaciones de las Normas Internacionales ISO 2372 para valorar el estado de las vibraciones de los dispositivos en base a su " Intensidad " y como es más frecuente en la literatura Inglesa su " Severidad " se simboliza con (V_{ef}) y se mide en mm/seg, aunque existen instrumentos calibrados en cm/s y en pulgadas/s (González, 2021).

Aceleración, según Norma ISO 2041-2009 y Pérez (2021), es un vector que especifica la derivada de la velocidad en el tiempo, es decir, la segunda derivada del desplazamiento, su importancia radica en que caracteriza los esfuerzos que se producen durante el proceso de vibración y permite, además obtener mayor información cuando se encuentran presentes componentes de alta frecuencia, choques, impactos, aunque los mismos sean de pequeños desplazamientos. Su unidad de medida es mm/seg^2 .

Fase: define la posición de un elemento en un momento dado con referencia a un punto fijo a otro elemento. Se acostumbra a medir con grados sexagesimales a menos que se especifique

otra cosa. Se utiliza para establecer la situación angular de los vectores que representan las vibraciones entre si y sus variaciones entre sí. Se simboliza con la letra Φ .

Frecuencia: medida de la cantidad de ciclos completos que acontecen en un intervalo de tiempo específico su unidad de medida es el (Hz o RPM) ofrece información sobre los posibles defectos.

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

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

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

Generación bruta, es la cantidad real de energía eléctrica generada por la central y se expresa en MW/hora.

Medición para monitoreo primer nivel, se configura con una cadena de medición que solo permite obtener el valor total o global de la vibración y comparar el mismo con valores de referencia o criterios de severidad establecidos, por el fabricante, normas internacionales. Esta configuración puede estar formada por un acelerómetro o un transductor de velocidad.

Medición para monitoreo segundo nivel, se emplea el primer nivel hasta que los valores totales o globales superen los valores de referencia o los criterios de severidad. Entonces se configura una cadena de medición que permita realizar un análisis en dominio de la frecuencia para llevar a cabo un diagnóstico de estado técnico del equipo. Esta configuración puede estar formada por un acelerómetro o un transductor de velocidad, un analizador de frecuencia analógico y por un graficador.

Medición para monitoreo tercer nivel, se emplean las técnicas más avanzadas de adquisición, procesamiento, análisis y valoración de señales de vibración. La configuración de la cadena puede estar formada por un acelerómetro, un colector de datos digital portátil o un analizador de frecuencia digital portátil, y una computadora soportada por un sistema de programas para el procesamiento, análisis y evaluación de las señales de vibración

Análisis espectral: es la interpretación que se le hace a un espectro para determinar el significado físico de lo que pasa en una máquina.

Armónico: son frecuencias de vibración que son múltiples integrales de una frecuencia fundamental específica.

Balanceo: procedimiento por medio del cual se trata de hacer coincidir el centro de masa de un rotor con su centro de rotación.

Base de datos: almacenamiento de los parámetros síntomas y de procesos en forma organizada, para el estudio de tendencias e influencias de unos sobre otros con el fin de determinar y predecir el estado técnico del equipamiento, los defectos, el mecanismo de degradación y sus causas raíces.

Control de calidad: actividades, que realizan los ejecutores de actividades de reparación, mantenimiento o montaje del equipamiento tecnológico, con el fin de determinar la correspondencia de parámetros de calidad, previamente acordados por el inversionista, con las normas o códigos establecidos. El control de la calidad no forma parte de la Actividad de diagnóstico, aunque sí tiene estrecha relación con él.

Defecto: imperfección en el equipamiento, que limita o impide el cumplimiento adecuado de sus funciones.

Diagnóstico: se puede definir según la Pérez (2021), que es la ciencia encargada de determinar por los síntomas, el estado y el carácter de una posible rotura, envejecimiento, etc. de un equipo, sistema o proceso a partir del análisis y procesamiento de sus datos de pruebas, de fallas e históricos.

Dominio de la frecuencia: es la representación gráfica de la vibración en la cual se enfrentan Amplitud vs. Frecuencia.

Elementos: cualquier ente que puede ser descrito y considerado individualmente. Componentes de los sistemas, que sirven de unión entre equipos y máquinas y sus partes integrantes. Ejemplos de ellos son las tuberías, cables, impelentes, ejes, rotores, serpentines, cabezales.

Equipamiento tecnológico: todos los elementos, equipos y máquinas que forman parte de los sistemas tecnológicos de la Unidad.

Equipo: término genérico que describe diferentes unidades técnicas tales como estructuras, conjuntos, componentes, piezas o materiales de un sistema. Partes dinámicas y no dinámicas (no rotatorias) del equipamiento tecnológico: (caldera, transformador, domo, calentadores, condensador, válvulas).

Falla: condición en la cual el equipamiento se indispona debido a un defecto.

Inspección: chequeo periódico al equipamiento tecnológico en el cual el personal utiliza como instrumentos a los sentidos del ser humano (oído, olfato, tacto y vista) y completa un registro establecido para ello.

Mantenimiento predictivo: tipo de mantenimiento, que está basado en el diagnóstico del estado del equipamiento. Durante el mantenimiento predictivo se corrigen el alcance y los plazos del Mantenimiento Preventivo Planificado.

Máquinas: son los equipos rotatorios, es decir motores, bombas, ventiladores, centrífugas, compresores, y otros.

Mecanismo de degradación: mecanismos o procesos físicos, químicos, eléctricos, mecánicos o sus combinaciones, mediante los cuales surgen y se desarrollan los defectos en el equipamiento.

Monitoreo: según (Ramos, Lozano & Suárez 2020; Casaña, et al., 2021 y Ruano, 2023), es la medición de uno o varios parámetros previamente establecidos y su comparación con normas o códigos, para determinar si se ha superado el valor condenatorio. En caso afirmativo se deben tomar acciones respecto a la operación y/o mantenimiento. El monitoreo no es suficiente para determinar los mecanismos de degradación, y mucho menos la causa raíz, y esta es su diferencia con el diagnóstico. Es decir, si diagnóstico se puede relacionar con conocimiento, el monitoreo se relaciona con la medición y comparación. Puede ser continuo (on line) o discreto (off line).

Parámetros de proceso: parámetros que caracterizan el funcionamiento del equipamiento y que son utilizados para el control y regulación de los procesos tecnológicos. A través de ellos se juzga el cumplimiento adecuado de las funciones asignadas a cada sistema. Ejemplos son las temperaturas, presiones, flujos, corrientes, voltajes.

Parámetros síntoma: se consideran parámetros de condición del estado aquellos parámetros que brindan una información acerca del estado del equipo en el momento de la medición y que sirve para detectar cualquier variación en el comportamiento del equipo. Ejemplos de estos los constituyen las vibraciones, espectros de corrientes, temperaturas.

Parámetros óptimos: parámetros síntomas que mejor caracterizan el estado del equipamiento, ya sea por una mejor relación señal/defecto o por una mayor cobertura de defectos.

Sensor: es un dispositivo de medición que transforma una variable física en una señal eléctrica. En nuestro caso pasa de una señal física de vibración y la convierte en una señal eléctrica. 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.

Fiabilidad, es la probabilidad de que un dispositivo realice satisfactoriamente su función específica durante un período determinado y bajo un conjunto dado de condiciones operativas en un tiempo dado. (de la Paz, 1997).

Fallo, concepto básico de la Teoría de la Fiabilidad y constituye el hecho a partir del cual el artículo deja de cumplir total o parcialmente sus funciones. Es el cese del estado de capacidad de trabajo de un artículo.

Para analizar la naturaleza de los fallos, así como para elaborar las medidas encaminadas a pronosticarlos o preverlos, estos se clasifican atendiendo a diversos criterios entre otros, tal y como se muestra a continuación:

- Por su influencia en la capacidad de trabajo: total o parciales.
- Por las causas que lo provocan: constructivos, tecnológicos, de explotación y por desgastes.
- Por su severidad: leve, marginal, crítico y catastrófico.

Estado de capacidad de trabajo, estado del artículo que le permite cumplir las funciones asignadas manteniendo sus especificaciones dentro de los límites establecidos.

Estado límite, estado del artículo en el cual su utilización es interrumpida debido a:

- Violaciones insuperables de los requisitos de seguridad.
- Corrimiento irreversible de sus especificaciones fuera de los límites establecidos.
- Reducción insuperable de la eficiencia de la utilización por debajo de lo permitido.

Causas de fallo, razones probables de la existencia del síntoma.

Efectos de fallo, consecuencias del fallo sobre el sistema.

Las inspecciones (Leiva, 1996), son aquellas actividades, tales como la medición, el ensayo o la contrastación con un patrón de una o más característica de la entidad, y la comparación de los resultados con los requisitos especificados para establecer si se ha logrado la conformidad para cada característica.

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.

El proceso, un conjunto de recursos y actividades interrelacionadas, que transforman los elementos de entrada en elementos de salida. Entre ellos se pueden incluir el personal, las finanzas, las instalaciones, los equipos, los técnicos, los métodos, otros.

La entidad, no es más que lo que se pueda considerar y describir individualmente, puede ser por ejemplo:

- Una actividad o un proceso.
- Un producto.
- Una organización, un sistema o una persona.
- alguna combinación de los anteriores.

Un producto, es el resultado de actividades o procesos. Puede incluir servicios, materiales procesados, hardware, software, o una combinación de los mismos. Puede ser tangible

(montaje o materiales procesado) o intangible (el conocimiento o los conceptos) o una combinación de los mismos.

La organización, puede abarcar una compañía, corporación, firma, empresa o institución o partes de estas, ya sea incorporada o no, pública o privada, teniendo funciones y administraciones propias.

Se denomina suministrador a la organización que provee un producto al cliente. En una situación contractual el suministrador puede ser denominado contratista. Este puede ser por ejemplo el productor, el distribuidor, el importador, el montador, o la organización de servicio. Además el suministrador puede ser interno o externo respecto a la organización.

Ensayo: operación técnica que consiste en determinar una o más características de un producto, proceso o servicio dado según un procedimiento específico.

Ensayos No Destructivos (END): son técnicas que emplean métodos físicos indirectos para la inspección de: productos, partes, piezas y componentes en servicio, con el objetivo de detectar las discontinuidades o defectos que afecten su calidad o utilidad, sin alterar las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensiones de la parte sujeta a inspección, es decir, en caso de que el material esté sano, la parte sujeta a inspección no se daña o destruye y puede seguir en servicio.

Ensayos Destructivos (ED): son técnicas que emplean métodos físicos para la inspección de: productos, partes, piezas y componentes en servicio, con el objetivo de detectar las discontinuidades o defectos que afecten su calidad o utilidad, la parte sujeta a inspección se daña o destruye durante el ensayo.

Equipo: término genérico que describe diferentes unidades técnicas tales como estructuras, conjuntos, componentes, piezas o materiales de un sistema.

Inspección: chequeo periódico al equipamiento tecnológico.

Metodología: parte de una ciencia que estudia la manera de hacer una cosa, según ciertos principios.

Metrología: ciencia de las mediciones.

Monitoreo: medición de uno o varios parámetros previamente establecidos.

Norma: documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que ofrece, para uso común y repetido, reglas, lineamientos, o características para las actividades o sus resultados destinado al logro de un grado óptimo de orden en un contexto dado.

1.7.1 Desarrollo actual para la medición y análisis de las vibraciones

En la actualidad, existen numerosos medios para llevar a cabo el control de las vibraciones, resumiéndose según Martínez & Casas (2019) en:

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

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

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

Transductores de vibración:

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

- Por inducción electromagnética: velocímetros, se basa en la Ley de Faraday, en virtud de lo cual en un conductor eléctrico que se mueve en un campo magnético y corta sus líneas de fuerza se induce una fuerza electromotriz proporcional a la inducción del campo B, a la velocidad del conductor y a su longitud l. Si mantenemos constante la inducción del campo y la longitud del conductor, la f.e.m, obtenida será proporcional a la velocidad del movimiento del conductor.

donde:

$$u = Kl \cdot vB$$

$$u = Kl \cdot \Psi(w) \cdot dx/dt$$

X- desplazamiento de la vibración de la carcasa Magnitud a medir.

u- señal de salida del transductor Voltaje alterno periódico.

Kl- coeficiente de proporcionalidad de inducción electromagnética constante.

Kl. $\Psi(w)$ - coeficiente global de proporcionalidad, conocido como sensibilidad del transductor y con dimensión $mV/mm \cdot s^{-1}$.

vB- velocidad instantánea de la vibración en la bobina.

- Por efecto piezoeléctrico, se basa en las propiedades de ciertos materiales de producir carga eléctrica en su superficie cuando son sometidos a esfuerzos mecánicos.

$$q = k_p \cdot F$$

donde:

q- carga eléctrica

k_p - coeficiente de proporcionalidad que contempla las propiedades piezoeléctricas y las formas y dimensiones del material sensible.

F- Fuerza a que se somete el material sensible.

Según el principio de la ley de Newton, si sometemos el transductor a una aceleración en el sentido del eje del vástago (perpendicular a las caras del anillo) el anillo ejercerá una fuerza sobre el material sensible igual a:

$$F = K_p \cdot m \cdot a$$

Y la carga generada será: $q = K_p \cdot m \cdot a$.

Por tanto, al ser la masa constante, la carga generada será proporcional a la aceleración del transductor y esta a su vez por ser una función periódica al elemento donde medimos la vibración.

Estos transductores llevan preamplificadores de salida para hacer independiente la capacitancia del cable de la señal voltaje de salida.

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

En la práctica se ha generalizado el uso de denominaciones para los transductores de vibraciones, de acuerdo a la señal proporcional del movimiento vibratorio, como:

- Transductores de velocidad: es el caso de los transductores inductivos, donde $u = k \cdot v$.
- Transductores de aceleración: es el caso de transductores piezoeléctricos, donde:

$$q = k \cdot a.$$

Estos 2 casos se denominan sísmicos.

- Transductores de desplazamiento: llamados también de proximidad, como los de corriente parásitas y otros tipos como los de transformadores diferencial,

donde:

$$u = k \cdot s.$$

Unidades de medida de las vibraciones.

Amplitud del desplazamiento- $\mu m = 0.001 \text{ mm} = 10^{-6} \text{ m}$. (micrón es el más usado).

Amplitud de la velocidad- mm/s , cm/s , y en pulgadas $/s$.

Amplitud de la aceleración- mm/s^2 o en múltiplos de g (aceleración gravitacional)

1.8 Procesamientos de la información para procesos de monitoreo y diagnóstico

Con independencia del instrumento utilizado, deben existir TRES niveles de información:

- Información detallada en una base de datos en computadora, necesaria para la ejecución del diagnóstico por parte del personal especializado. El primer nivel de información es garantizado por el diseño del sistema de diagnóstico y la confección de rutas adecuadas.
- Información resumida en una base de datos en computadora, necesaria para la planificación y programación de las actividades de mantenimiento; así como para

garantizar un determinado nivel de información a los diferentes niveles de dirección. El segundo nivel puede ser garantizado por una base de datos, la cual permite mediante su actualización automática, mantener actualizadas una serie de informaciones importantes para el funcionamiento del sistema de mantenimiento.

- Información resumida almacenada en un expediente disponible como copia dura, que puede ser consultada y transferida en reuniones, etc. el tercer nivel es garantizado con un diseño adecuado de los modelos a utilizar durante el control de la información del monitoreo, lo cual permite garantizar que la información no dependa del personal que ejecuta el monitoreo y el diagnóstico.

1.9 Técnicas y herramientas aplicables en las actividades del mantenimiento ajustables a cualquier sistema de mantenimiento actual

Para poder evaluar un sistema de mantenimiento se aplican distintas técnicas y herramientas que permiten detectar los diferentes problemas basado en resultados fiables.

El diagrama Causa-Efecto según Ramírez (2021), se puede definir resumidamente como una técnica gráfica para definir un efecto y hallar las causas que lo provoca. Este diagrama conocido también como el diagrama espina de pescado o de ISHIKAWA, fue creado en Japón por el autor de este mismo nombre (KAORU ISHIKAWA) en 1953. El mismo consiste en una estructura similar al esqueleto de un pescado, donde la cabeza es el problema que se quiere analizar. En las espinas se van anotando, ya clasificadas las causas probables de estos problemas. Las que se agrupan por semejanzas, importancia, o cualquier otra desviación.

En término general el Análisis Causa-Efecto puede definirse como una metodología destinada a resolver de forma definitiva la ocurrencia de una falla o a poder programar de forma planificada su corrección cuando esta se presenta, es decir, mitigar la consecuencia de la falla. Esta metodología permite buscar la razón por la cual un sistema, instalación, equipo, componente o elemento, no funciona satisfactoriamente.

El macro proceso de análisis debe garantizar que se siga la secuencia de pasos que se indican a continuación:

1. Definición del problema.
2. Efectuar análisis del problema.
3. Identificar soluciones efectivas.
4. Implementar soluciones.

Principales definiciones relacionadas con el diagrama Causa-Efecto:

Evento: suceso o situación no deseable que ocurre al desarrollar una actividad.

Causa raíz: la (s) causa (s) fundamental (es) que, si es (son) corregida (s), prevendrá (n) la recurrencia de un evento o condición adversa. La mayoría de los eventos tienen múltiples causas que se combinan entre sí para producir un evento.

Análisis Causa Raíz: es un método utilizado para identificar la (s) causa (s) raíz (ces) de problemas o eventos y las acciones correctivas asociadas.

Factor Causal: Una condición, acción o situación que propicia la aparición o desarrollo de un evento.

Factor contribuyente ó aparente: causa que por sí misma no propicia el evento, pero es suficientemente importante como para reconocer que requiere una acción correctiva necesaria para mejorar la calidad del proceso.

El análisis Pareto o análisis ABC es una herramienta avanzada genérica de mantenimiento para identificar y jerarquizar datos, con el fin de mostrar que elementos componen el tema que se está analizando. Este permite mediante una representación gráfica o tabular, conocida como diagrama de Pareto, identificar en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o que tienen una ponderación o incidencia mayor.

Aplicando el análisis de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia, (pocos vitales, muchos triviales) conocido también como la regla 80/20 que dice que hay muchos problemas sin importancia (80% de los problemas) frente solo a unos graves (20% de los problemas).

Si se logra determinar cuáles son esos factores vitales se puede concentrar recursos en el estudio de los mismos con lo que se resuelve la mayoría de los problemas consiguiendo la máxima eficacia y rendimiento de los recursos dedicados, logrando con el análisis de Pareto separar los “pocos vitales” de los “muchos triviales”. La gráfica donde se organizan las diversas clasificaciones de datos es el diagrama de Pareto, que representan los elementos o factores constituyentes de un problema o tema analizado, por orden descendente de izquierda a derecha por medio de barras sencillas o por una línea continua que une los puntos después de haber reunido los datos para calificar las categorías, de modo que se pueda asignar un orden de prioridad.

1.9.1 Tipos de gráficos fundamentales que se emplean

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 (Leiva, 1996).

El uso de estos gráficos supone las siguientes ventajas:

- Indica cómo cambia a través del tiempo la influencia de determinado factor.
- Permite el análisis del proceso, utilizando datos obtenidos durante cierto período de tiempo, mostrando con ello si el proceso está bajo control, además de definir los límites capacidad del sistema a partir de comparaciones.

Tipos de gráficos de control empleados:

- Gráfico de tendencia central.
- Gráficos de valores individuales.
- Gráficos de defectos por unidades.
- Gráficos de defectos por subgrupos racionales.

Los gráficos de valores individuales, se utilizan cuando no es posible o conveniente, hacer subgrupos racionales, debido a las razones siguientes:

- Cuando solo se puede obtener una información, de un proceso dado en cada inspección.
- Cuando la naturaleza del proceso es uniforme.
- Cuando lleva mucho tiempo o recursos tomar varias observaciones.

La gráfica lineal, se emplea normalmente, para representar los datos según se distribuyan en el tiempo, los puntos se van dibujando en el gráfico en el orden que se van obteniendo.

Matriz (Fernández, 1994), es un conjunto de $m \times n$ distribuidos por m filas y n columnas, cada número se designa con dos índices: el primero señala el número de filas contadas de arriba abajo y el de la columna contada de derecha a izquierda.

1.10 Tipos de costos involucrados en el mantenimiento

Según Moubray (1997), el mantenimiento actualmente ocupa el segundo lugar o incluso el primero en costos operativos. Por estos costos elevados, y por lo que significa económicamente una maquinaria o equipo sin trabajar se han desarrollado nuevas técnicas, métodos y herramientas a tratar de tener menos paros, menos defectos dentro de los procesos y un estudio minucioso de sus costos.

El mantenimiento involucra diferentes costos: directos, indirectos y generales.

Costos directos: están relacionados con el rendimiento de la empresa y son menores si la conservación de los equipos es mejor; influyen la cantidad de tiempo que se emplea el equipo y la atención que requiere. Estos costos son fijados por la cantidad de revisiones, inspecciones y en general las actividades y controles que se realizan a los equipos, comprendiendo:

- Costos de mano de obra directa y contratada.
- Costos de materiales y repuestos directos y contratados.
- Costos de la utilización de herramientas y equipos directamente y con contratación.

- Costos de contratos para la realización de intervenciones.

Costos indirectos: son aquellos que no pueden atribuirse de una manera directa a una operación o trabajo específico. En mantenimiento, es el costo que no puede relacionarse a un trabajo específico. Por lo general, suelen ser: la supervisión, almacén, instalaciones, servicio de taller, accesorios diversos, administración, servicios públicos, etc.

Costos generales: son los costos en que incurre la empresa para sostener las áreas de apoyo o de funciones no propiamente productivas y que a su vez dan soporte a las áreas que desempeñan labores que se relacionan directamente con el negocio.

Materiales: son los materiales los principales bienes que se usan en la producción y que se transforman en artículos terminados. Estos materiales se pueden dividir en materiales directos e indirectos.

Mano de obra: la mano de obra se define como el esfuerzo físico o mental gastado en la fabricación de un producto o servicio. Su costo se puede dividir en mano de obra directa y mano de obra indirecta.

Otros costos de manufactura: los otros costos de manufactura son todos los costos de producción, excepto los materiales y la mano de obra. Son aquellos en que incurre un centro para el logro de sus fines, salvo casos de excepción, son de asignación indirecta, y por lo tanto precisa de bases de distribución. Aquí aparece el término Costo Indirecto de Fabricación.

Por su incorporación al producto:

- Directos: son aquellos que son identificables con unidades específicas de producción o servicio dado.
- Indirectos: son aquellos que no son identificables con el producto o servicio y que se relacionan con él de forma indirecta.

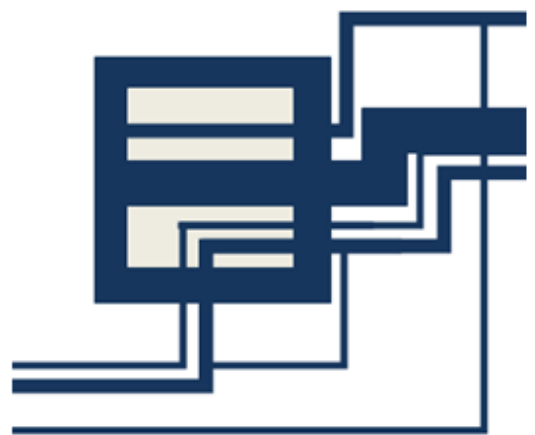
1.11 Conclusiones parciales

En este Capítulo se ha desarrollado una breve introducción de los conceptos generales, tipos y terminologías relacionadas con el mantenimiento siendo la gestión del mantenimiento, objetivo central de este trabajo. Donde se ha tenido en cuenta:

1. El mantenimiento dentro del proceso productivo. Técnicas y herramientas aplicables en las actividades del mantenimiento ajustables a cualquier sistema de mantenimiento actual.
2. Tipo de gráficos fundamentales que se emplean, con diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable, en función de ciertos límites establecidos. Generalmente se usan como elementos de autocontrol.

3. Desarrollo actual para la medición y análisis de las vibraciones. Tipos de costos involucrados en el mantenimiento los cuales pueden ayudar a vislumbrar para las empresas la barrera entre la competitividad y la ruina.

CAPÍTULO II



Capítulo II. Caracterización general. Etapas realizadas para aplicación de la metodología de los sistemas de mantenimiento en la CTE CMC

2.1 Introducción

A partir de una metodología adecuada (Leiva, 1996), se realiza un sistema que permite la división de los equipos según sus características y el grado de indisponibilidad que los mismos pueden aportar en un momento dado. A continuación de este estudio se propone aplicar el Método de Pareto para determinar cuál de los síntomas tiene un mayor peso en los sistemas de equipos de la planta y de ahí seleccionar a aquellos a los cuales serán objeto de un método de diagnóstico determinado para poder reducir el índice de averías con su consiguiente ahorro en los costos directos e indirectos del mantenimiento, partiendo de la cuantificación de la gestión de su calidad total durante la explotación y mantenimiento de los dispositivos.

Teniendo en cuenta los elementos abordados hasta el momento, corresponde en este capítulo caracterizar el objeto de estudio y presentar la utilización y organización de las técnicas del mantenimiento, sobre la base del parámetro vibraciones, para determinar el acierto y veracidad de su aplicabilidad en los sistemas fundamentales en la CTE CMC.

2.2 Característica actual de la entidad

La CTE CMC, perteneciente a la Unión Eléctrica del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) es creada bajo la Resolución No.78 del ministro de la Industria Básica (MINBAS), aunque existe como unidad generadora desde el año 1953, con la entonces Termoeléctrica O'Bourke de la Compañía Cubana de Electricidad. En el año 1969 es creada la Central Termoeléctrica "Carlos Manuel de Céspedes", con dos unidades de procedencia checa, ambas con capacidad de 30 MWh. En el año 1980, se concluye el proceso inversionista de las dos plantas de tecnología japonesas de 158 MWh cada una. Ya en el 2008 salen de servicio por baja técnica las dos plantas de tecnología checa, por tener un consumo específico alto, agravada por las malas condiciones técnicas. Luego se acomete una modernización a la Unidad No.4 (japonesa), donde se cambia toda la instrumentación de campo y se sustituyen las paredes de agua de la caldera.

La ETC CMC se encuentra conformada por la Dirección General, tres direcciones funcionales y cinco Unidades Empresariales de Base (UEB), dicha estructura se muestra en el organigrama de la organización (ver anexo 4).

Estas se encargan de:

Dirección General: Garantizar la generación de energía eléctrica de la CTE CMC, debe mantener una estricta exigencia en el cumplimiento de los indicadores técnico -económicos,

con una alta eficiencia, así como de las medidas y normativas que garanticen el mantenimiento de la disciplina tecnológica en la explotación de todos los equipos que componen las unidades de producción.

Dirección Administración Financiera: Organizar, dirigir y controlar la actividad contable de la Central.

Dirección de Capital Humano: Garantizar la aplicación y capacitación, organización del trabajo y los salarios, inducción del personal y atención al hombre, previstos en la legislación vigente y de conformidad con lo establecido por los organismos rectores, planificar, mantener y desarrollar los recursos del personal en la consecución de los objetivos estratégicos planteados en cada lugar.

UEB de Producción: Dirigir, supervisar y controlar el trabajo de los Jefes de Turnos; del Especialista en Explotación de Centrales Eléctricas, del Grupo de Régimen, del Jefe de Taller Químico y la Brigada de Limpieza de Condensadores.

UEB Seguridad y Protección: Organizar y controlar el Sistema de Seguridad y Protección Física y las medidas de Protección a la Seguridad Informática, Información Oficial, Sustancias Peligrosas y Protección contra Incendios. Igualmente, se enfatiza en la necesidad de cumplir y hacer cumplir el Sistema Integral establecido por el Ministerio de Energía y Minas para objetivos considerados estratégicos.

UEB Servicio: Garantizar la prestación de servicios de limpieza y áreas verdes, realizar servicios de construcción civil, así como representar a la empresa ante los servicios recibidos de alimentación y transporte de personal.

UEB Abastecimiento: Garantizar el desarrollo y control integral de su actividad, la gestión y adquisición de piezas y materiales para mantenimiento, reparación, construcción y solución de averías en todas las áreas de la empresa.

UEB Mantenimiento: Dirigir, supervisar y controlar la actividad de mantenimiento a equipos básicos y auxiliares de la Central Termoeléctrica, así como la planificación de recursos de todo tipo para estos mantenimientos y para el mantenimiento civil, misceláneas, actividad de protección anticorrosivas y lubricación, todo a través del trabajo de los Jefes de Taller por especialidades; los Jefes Grupo de Planificación e inspección del mantenimiento.

La plantilla general de la empresa es de 405 trabajadores, 315 son hombres y 90 son mujeres, estos se encuentran distribuidos por las diferentes áreas (ver tabla 2.1).

Tabla 2.1

Cantidad de trabajadores distribuidos por área

Área de Trabajo:	Cantidad de Trabajadores:
Dirección General	12
Dirección Técnica	24
Dirección de Administración Financiera	23
Dirección de Capital Humano	16
UEB Producción	116
UEB Mantenimiento	122
UEB Abastecimiento	43
UEB Seguridad y protección	20
UEB Servicios	29
Total	405

Nota: Elaboración propia

Se muestra a continuación en la tabla 2.2 la cantidad de dichos trabajadores según el rango de edad.

Tabla 2.2

Cantidad de trabajadores según el rango de edad

Rango de Edades:	Cantidad de Trabajadores:
Menos de 25 años	42
De 25 a 35	89
De 36 a 45	47
De 46 a 55	87
Más de 55	104
Total	405

Nota: Elaboración propia

Se evidencia que la mayor cantidad de trabajadores tienen más de 55 años, por lo que la empresa tiene un nivel de envejecimiento alto, pero a su vez cuenta con una fuerza de trabajo con experiencia y alta profesionalidad.

En la tabla 2.3 se puede observar la cantidad de trabajadores según la categoría ocupacional al cierre de octubre del 2023.

Tabla 2.3

Cantidad de trabajadores según la categoría ocupacional

Categoría Ocupacional:	Cantidad de Trabajadores:
Operarios	166

Técnicos	217
Servicios	13
Ejecutivos	9
Total	405

Nota: Elaboración propia

Se muestra a continuación la relación de la cantidad de trabajadores según el rango de edad (ver tabla 2.4) y la categoría ocupacional (ver tabla 2.5) de las áreas involucradas con el principal objetivo: área de mantenimiento y área de diagnóstico.

Tabla 2.4

Cantidad de trabajadores según el rango de edad del área de mantenimiento y del área de diagnóstico

Rango de Edades:	Cantidad de Trabajadores:	
	Área mantenimiento:	Área diagnóstico:
Menos de 25 años	16	-
De 25 a 35	26	1
De 36 a 45	13	-
De 46 a 55	22	-
Más de 55	45	4
Total	122	5

Nota: Elaboración propia

Tabla 2.5

Cantidad de trabajadores según la categoría ocupacional del área de mantenimiento y del área de diagnóstico

Categoría Ocupacional:	Cantidad de Trabajadores:	
	Área mantenimiento:	Área diagnóstico:
Operarios	65	-
Técnicos	55	5
Servicios	1	-
Ejecutivos	1	-
Total	122	5

Nota: Elaboración propia

El área técnica es la que lleva el peso fundamental de la producción de energía eléctrica. Dicha área está constituida por varios departamentos funcionales, cuyas actividades se aglutinan alrededor de dos actividades fundamentales:

- 1) La explotación del equipamiento.

2) El mantenimiento y conservación del mismo.

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

Dentro de estos indicadores se pueden seleccionar:

- La generación bruta, el insumo, factor de insumo, factor de capacidad disponible, consumo de combustible, entre otros que hacen posible que el proceso de generación sea orientado y controlado.

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

Misión de la Empresa:

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

Visión:

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

Objeto Empresarial:

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

Además de esto y teniendo en cuenta la Resolución No. 134/2013 del Ministerio de Economía y Planificación, que implementa la nueva política para la definición y aprobación de los objetos sociales, la que plantea que el Director de la Empresa tiene la facultad de decidir sobre la realización de las actividades secundarias derivadas del objeto social de la entidad que dirige y sobre aquellas eventuales que eviten la paralización de la producción y los servicios. Pudiendo, en principio, ofrecer estas actividades a cualquier persona natural o jurídica. Partiendo de todo

lo dicho hasta aquí, se aprobaron, mediante la Resolución No. 334/2013 del Director General de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, las actividades secundarias derivadas del objeto social de la entidad a prestar por esta, las cuales consistirán en:

1. Prestar servicios de consultoría en dirección y planificación de mantenimiento industrial.
2. Realizar estudios de diagnóstico industrial eléctrico, químico, mecánico y funcional de equipos y sistemas.
3. Brindar servicios técnicos, de reparación y mantenimiento a equipos estáticos y rotatorios, así como electrónicos, de comunicaciones y de automática.
4. Realizar la comercialización mayorista de excedentes de agua desmineralizada, vapor, así como escoria residual de las calderas y residuales de la producción de agua desmineralizada.
5. Prestar servicios técnicos especializados de mecánica, eléctrica, automática y química.
6. Comercializar de forma mayorista productos ociosos y de lento movimiento.
7. Comercializar de forma mayorista al sistema de la Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas las chatarras y otras materias primas según la legislación vigente al respecto.
8. Brindar servicios de alimentación a sus trabajadores y de otras entidades que participen en la modernización, reparación y mantenimiento a las centrales eléctricas.
9. Comercializar de forma mayorista materiales previstos para la confección de piezas, agregados y ejecución de servicios necesarios para el mantenimiento y las inversiones de la planta generadora con el objetivo de obtener, a partir de estos, las producciones materiales o la ejecución de objetos de obra.
10. Efectuar la venta de uniformes a los trabajadores según presupuesto anual autorizado para lo cual se realizará el cobro en efectivo en CUP.
11. Realizar el cobro en efectivo en CUP por concepto de contravalor (divisa del mes que corresponda, que no se puede descontar en la nómina del móvil por no devengar salario).

Función Empresarial:

1. Cumplir y hacer cumplir la legislación vigente.
2. Dirigir y orientar las acciones de las diferentes áreas y las Unidades Empresariales de Base para el cumplimiento eficiente de las misiones asignadas.
3. Garantizar una estrecha colaboración con el sindicato, la UJC y el PCC, así como con la Unión Eléctrica y con otros órganos y organismos del estado con los que tenga relaciones.

4. Establecer una adecuada comunicación entre la dirección, las demás subdivisiones estructurales y con los trabajadores en general. Crear las condiciones necesarias para la mayor participación de los trabajadores en los procesos de dirección, descentralizando la administración de los recursos y asegurando que se eleve la eficiencia en la gestión económica.
5. Dirigir y controlar el trabajo de las diferentes áreas y de sus Unidades Empresariales de Base.
6. Rendir cuenta Trimestralmente, a la instancia correspondiente del desempeño de toda la organización y del resultado de su gestión.
7. Definir el sistema informativo de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y de las Unidades Empresariales de Base.
8. Dirigir el proceso de innovación de sus áreas a partir de la estrategia de ciencia e innovación tecnológica definida, de manera tal que se garantice un adecuado nivel de gestión tecnológica, que posibilite la adquisición e incorporación de nuevos conocimientos científicos y tecnológicos a la actividad de la Empresa, con el objetivo de mantener e incrementar sus niveles de competitividad y eficiencia.
9. Desarrollar las actividades inherentes a la propiedad industrial, definiendo las medidas y procedimientos que garanticen la protección legal de los productos del intelecto creado, conforme a lo establecido en la legislación vigente sobre propiedad industrial.
10. Organizar, dirigir y controlar la actividad de mercadotecnia y venta de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos en función de la estrategia del sistema.
11. Responder por la calidad de las producciones y servicios, garantizando el nivel de competitividad y presencia en el escenario económico.
12. Establecer el procedimiento interno para la proposición de los nuevos negocios y asociaciones con capital extranjero, en correspondencia con lo establecido.
13. Organizar, dirigir y controlar la actividad contable y financiera de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.
14. Organizar y establecer los procedimientos generales para el control interno en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y en las unidades Empresariales de base.
15. Organizar y garantizar los procesos de capacitación de los trabajadores y cuadros, a través de la determinación de las necesidades de aprendizaje.
16. Planificar, organizar y controlar las medidas que garanticen la satisfacción de los trabajadores por la labor que desarrollan, aplicando además el sistema de estimulación en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y sus Unidades Empresariales de Base, en correspondencia con los lineamientos establecidos por la Unión Eléctrica.

17. Organizar y controlar la actividad de seguridad y salud en el trabajo y las medidas para preservar el medio ambiente.
18. Dirigir el proceso de elaboración de la planificación estratégica y la Dirección por Objetivos, tomando en consideración las políticas establecidas por la Unión Eléctrica.
19. Dirigir, coordinar y controlar el proceso de elaboración del plan de negocios y de los presupuestos de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y sus Unidades Empresariales de Base en correspondencia con los lineamientos emitidos por la Unión Eléctrica, de manera que se cumplan los objetivos básicos de su funcionamiento.
20. Presentar y defender el plan y el presupuesto de ingresos y gastos de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, y de este, el presupuesto en divisas, ante la Unión Eléctrica y el Ministerio de la Industria Básica, organizando además las formas y métodos que favorezcan su ejecución en el volumen, eficiencia económica y calidad prevista.
21. Evaluar y responder por los resultados obtenidos en el cumplimiento, del plan de negocios, de los presupuestos de ingresos y gastos y los objetivos de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y de sus Unidades Empresariales de Base.
22. Responder y evaluar los resultados económicos y financieros de toda la organización en su conjunto y de sus Unidades Empresariales de Base.
23. Proponer a la Unión Eléctrica para su análisis en la junta de gobierno y aprobación posterior por el Gobierno, las reservas a crear provenientes de las utilidades retenidas y las cuantías de estas.
24. Orientar, organizar y ejecutar la creación de condiciones para reducir los costos y gastos.
25. Solicitar créditos bancarios, en moneda nacional y en divisas.
26. Ejecutar una eficiente gestión de cobros y pagos que permita lograr la liquidez necesaria para cumplir sus obligaciones económicas.
27. Emitir mensualmente los estados y balances contables establecidos.
28. Desarrollar funciones en el manejo de las finanzas de la organización en su conjunto.
29. Supervisar y realizar auditorías internas a las áreas y Unidades Empresariales de Base.
30. Definir las formas y métodos de efectuar las diferentes producciones y servicios.
31. Organizar de conjunto con el sindicato, todo el sistema de estimulación a los trabajadores en correspondencia con los lineamientos ramales y en dependencia de sus resultados productivos o en la prestación de servicios.
32. Responder ante la Unión Eléctrica y el Ministerio de la Industria Básica por los resultados de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

33. Responder por la seguridad y protección de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y sus Unidades Empresariales de Base.
34. Garantizar la imagen corporativa y la cultura industrial
35. Asimilar las Direcciones Integradas de Proyecto (DIP)
36. Determinar la demanda tecnológica (necesidades de innovación o de transferencia de tecnologías) para alcanzar un nivel de calidad y eficiencia igual o superior al de la competencia.
37. Utilizar la vía más factible (entre la innovación, la generalización o la transferencia de tecnologías) para dar respuesta a la demanda tecnológica identificada.

Valores Empresariales:

El Sistema de Valores Compartidos de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, como una necesidad de suma importancia para el logro de los Objetivos trazados por la entidad y se jerarquizan mediante la estrategia empresarial son los siguientes:

1. Responsabilidad.
2. Profesionalidad.
3. Sentido de Pertenencia.
4. Productividad

Estrategia Integral:

Nuestra Estrategia Empresarial consiste en lograr la integración de todas sus divisiones estructurales hacia la identificación y satisfacción de los requisitos y expectativas de sus clientes, tanto internos como externos. Establece la Dirección por Objetivos basada en Valores como método participativo y herramienta principal para proponerse en cada período metas superiores que consoliden el estadio alcanzado, y a su vez, propicien el salto al siguiente. Cuenta para ello con un sistema de valores jerarquizados que permite darle cumplimiento a los objetivos estratégicos trazados por las Áreas de Resultados Claves de la Empresa, a partir de la identificación de los Factores Claves de Éxito.

Sistemas de gestión

Existe un sistema de gestión de la calidad diseñado y certificado sobre la base de la NC ISO 9001:2015, con alcance Generación de Energía Eléctrica y ampliado al proceso de Construcción Civil. En la organización se tienen identificados 34 procesos en los que se relacionan: Dirigir Organización y Gestionar Mejoras y Cambios (Estratégicos), Generar Energía Eléctrica (Clave), y el resto son de Apoyo, estos últimos vitales para el proceso productivo, debido a que son los encargados de mantener la disponibilidad de los equipos de explotación y de los recursos necesarios para garantizar la continuidad del proceso principal.

La entidad tiene implementado y certificado un Sistema de Gestión Ambiental basado en los requisitos de la NC ISO 14001: 2015. Cuenta con un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST) certificado por la norma cubana NC ISO 45001:2018. Estos sistemas se basan en una evaluación de riesgos efectiva y la implementación de procedimientos de trabajo seguro. La capacitación ha sido fundamental para el éxito alcanzado en estos ámbitos.

En febrero del año 2022 se renuevan las certificaciones de los sistemas de gestión mencionados anteriormente. Se logra la certificación del Sistema de Gestión de la Energía, según la NC ISO 50001:2019 “Sistemas de gestión de la energía-Requisitos con orientación para su uso”, posicionándose la Termoeléctrica como la primera empresa de la provincia y de la Unión Eléctrica (UNE) y del MINEM, así como una de las tres organizaciones a nivel nacional en obtener esta condición. Se recertifica el Sistema Integrado de Gestión (SIG) que satisface los requisitos establecidos en las normas NC ISO 9001:2015, NC ISO 14001:2015, NC ISO 45001:2018 y NC ISO 50001:2019.

2.3 Situación actual y perspectivas de desarrollo

La situación técnico-económica, relacionada con el sistema de mantenimiento ha sido crítica debido sobre todo a la disminución de la capacidad de compra del país.

La empresa se propuso a partir del año 2022, entre otros, los siguientes objetivos:

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

2.4 Caracterización del mantenimiento en la CTE CMC

El mantenimiento en la CTE CMC está centrado por un Grupo Inspección y Planificación del Mantenimiento, 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: Mecánico, Soldadura, Refrigeración, Eléctrico, Automático y Maquinado (Ver Anexo 5).

La CTE CMC, en su gestión de mantenimiento, combina las diferentes técnicas, de acuerdo a las condiciones y características que se manifiesten, donde se desarrollan acciones de

mantenimiento reactivo (correctivo o contra avería), mantenimiento preventivo planificado (MPP) y el mantenimiento predictivo o por diagnóstico, este último, se ha convertido en un factor de alto nivel y confiabilidad, en la reducción de averías, lo cual influye de manera positiva en los aspectos de calidad, disponibilidad de los equipos y reducción de los costos por concepto de mantenimiento.

Sin embargo, ante la evidencia de una real recuperación técnico-económica en los momentos actuales de la Revolución Energética, aún existe carencias notables de infraestructura, soporte para la ejecución de mantenimiento, falta de documentación técnica u obsolescencia de la misma, inexistencia de listado de equipos y financiamiento para la adquisición de instrumentos, presencia de alto nivel de envejecimiento con un promedio de 45, 72 años de edad, pero a su vez cuenta con una fuerza de trabajo con experiencia y alta profesionalidad la cual es necesaria mejorar y mantener en las nuevas generaciones. La CTE CMC tiene una capacidad de generación eléctrica de 316 MW, limitada actualmente a 255 MW, siendo las averías su principal causa, que no se logran reducir, en comparación con el año 2022, se ha afectado la disponibilidad en 7,64 % que representa 482 375 MW dejados de producir y entregar al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y con ello una afectación a los sectores de la economía y al sector residencial en el país, en muchas ocasiones no se le da a la actividad de diagnóstico la importancia que requiere desoyendo las orientaciones técnicas que del grupo central dimanaban y no existe una forma adecuada de conocer el costo real del mantenimiento y en especial el contra averías, no solo por las pérdidas inoportunas que esta última le ofrece a la empresa, sino por el impacto que presentan las mismas en el costo total del mantenimiento.

Teniendo en cuenta todo lo antes expuesto el objetivo central de esta metodología se basa en la creación de un sistema práctico que permita trabajar sobre los resultados de la calidad de la explotación de un conocido sistema de mantenimiento a los equipos y sistemas respondiendo al propósito de la empresa de mantener y mejorar los sistemas de mantenimiento con propósitos internos con el tiempo que aseguran la continuidad de los sistemas realizados con un resultado conocido en planta.

2.5 Metodología propuesta para la factibilidad técnico-económica de Sistemas de Mantenimiento en la CTE CMC

No existe probablemente en la industria, situación más desagradable que aquella en que, se produce una falla inesperada en un equipo fundamental y posterior a esta no se conozca al menos las posibles causas por lo cual ocurrió la misma, lo anterior ejemplifica claramente la necesidad de organizar y mantener todo un sistema técnico-organizativo alrededor de esta problemática como única vía para garantizar una solución racional, será pues, el objetivo central

de la metodología que se propone, evitar las averías en los sistemas mediante el control de estado de los dispositivos durante su explotación y posterior a los mantenimientos en los mismos. Para lograr tales propósitos se deben seguir los pasos o etapas que se relacionan a lo largo del desarrollo de este epígrafe.

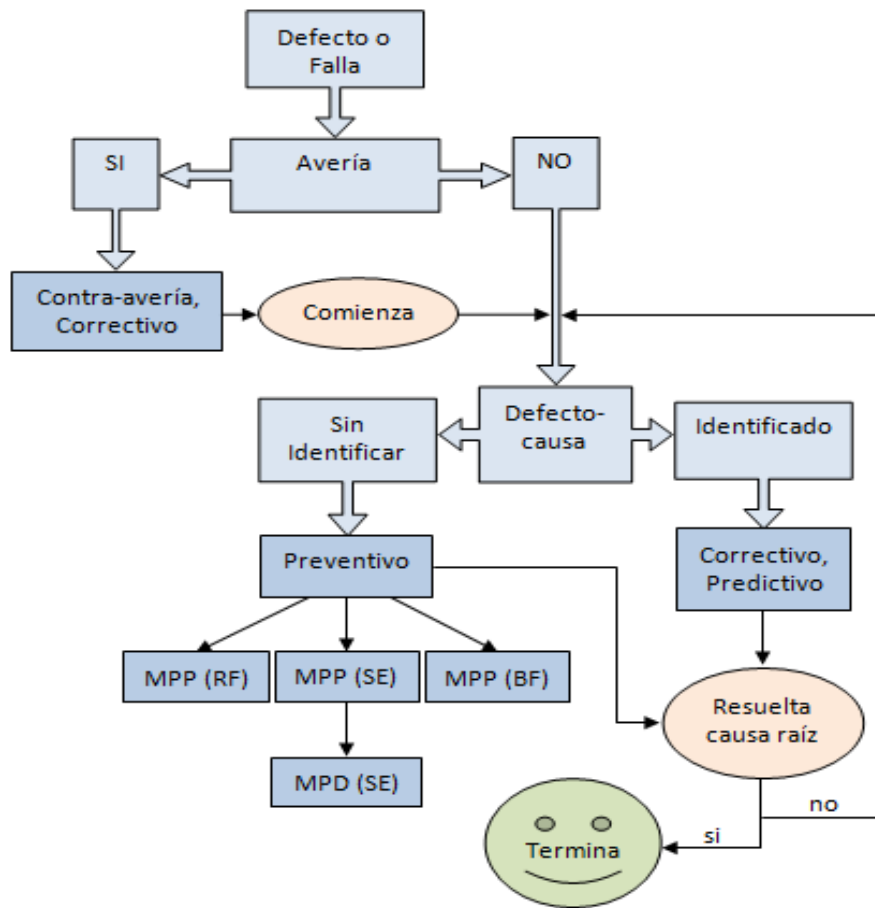
2.5.1 Primera Etapa, diagnóstico del sistema organizativo actual de mantenimiento en la CTE CMC

En la figura 2.1, se puede observar la conexión de un nuevo modo del sistema de mantenimiento con un nuevo concepto de trabajo, las averías o fallas en sistemas de trabajos o equipos comienzan con concepto de posibles defectos relacionados con parámetros de estados conectados a los defectos y su conexión con los sistemas de mantenimiento aplicados en los sistemas posibles de trabajos realizados con la posibilidad de condiciones técnico-económicas posibles en cada entidad o sistemas aplicados en los niveles conocidos nacionalmente que se conectan como sigue:

1. En un sistema de mantenimiento con nivel de trabajo si se conoce la avería o el defecto, se aplica un mantenimiento contra avería para resolver el defecto, su solución final termina cuando se solucionen las posibles afectaciones.
2. Si no existen defectos o causas, se aplican los sistemas de mantenimiento preventivos planificados en la búsqueda de posibles defectos por el tiempo de trabajo del sistema o equipo, se corrigen los posibles defectos y terminan con una posible causa raíz del trabajo realizado.
3. Si se conoce la posible identificación de defectos se aplica el sistema predictivo-correctivo.

Figura 2.1

Análisis de defectos o fallas en Sistemas de mantenimiento actual, secuencia lógica



Nota: Elaboración propia

2.5.1.1 Sistemas de trabajo actuales relacionados con el diagnóstico

El diagnóstico Portuondo (1994), de la situación del objeto de estudio debe abarcar todos aquellos aspectos de la entidad que se relacionan con el mantenimiento constituyendo uno de los pasos fundamentales destinados a esta tarea o investigación técnica, para ello es necesario aplicar herramientas de trabajo con conocidas técnicas como las que se mencionan a continuación entre otras, que permitan orientar el trabajo a la situación con necesidades de cambios:

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

Durante el trabajo de equipo para el análisis se pueden aplicar varias herramientas, como: tormentas de ideas, encuestas, entrevistas, análisis estadísticos, diagramas causa-efecto, análisis de Pareto, entre otros, mediante las cuales se aportan las mejores experiencias en temáticas similares tratando en su caso de aplicarlas y mejorarlas.

2.5.2 Segunda Etapa, selección de equipos en grupos según su importancia productiva y selección del tipo de mantenimiento a aplicar

Para garantizar la eficiencia y confiabilidad de las operaciones esta estrategia permite maximizar el rendimiento y minimizar la ocurrencia de fallos por ello es necesario la selección de los equipos en grupos y la clasificación de los sistemas de trabajo.

2.5.2.1 Clasificación de los Sistemas de trabajo

La producción de energía eléctrica en plantas térmicas se centra en un proceso de transformación de energía como se relaciona esquemáticamente en la figura siguiente.

Figura 2.2

Proceso de transformación de energía



Nota: 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 anexo 6 se observa un gráfico representativo del sistema general de trabajo para plantas térmicas.

Del esquema presentado para cumplir las condiciones de este proceso la CTE CMC requiere de dos sistemas elementales, Sistema Caldera y equipos auxiliares, Sistema Turbina y equipos

auxiliares y otros Sistemas Comunes que apoyan estos dos sistemas. Donde se centran los objetivos del presente trabajo. En la figura 2.3 se presenta un esquema con los equipos que componen los sistemas de caldera y equipos auxiliares, turbina y equipos auxiliares, así como los sistemas comunes a ambos sistemas.

Figura 2.3

Sistemas y sus equipos

Sistema caldera y equipos auxiliares	Sistemas comunes	Sistema Turbina y equipos auxiliares
• VTF-2 • VRG-1 • CAR-2 • B. Petrol.-2	• Sistema agua de mar TQ del Sistema Agua Contra incendios	• Turbina-1 • BAA-3 • B. Cond.-2 • B. CBP.-2 • BAE-2 • B. Circ.-2

Nota: Elaboración propia

2.5.2.2 Selección de equipos según su importancia productiva y selección del tipo de mantenimiento a aplicar

La categorización de los equipos (Portuondo, 1994), constituye uno de los pasos elementales para la realización de las operaciones del mantenimiento, referidos a la organización y aplicación técnica sobre el mismo. Esta determinará el tipo mantenimiento que se debe realizar sobre cada equipo en particular. Según la importancia de los equipos la clasificación puede ser: Muy importante o fundamental - (A).

Normales o convencionales - (B).

Auxiliares o poco principales - (C).

Los criterios de selección deben estar avalados por factores a medir en cada uno de los equipos, en la tabla 2.6, a continuación se expone un método adecuado, aplicado en la clasificación de los equipos por el grado de importancia y complejidad técnica que avalan estos requerimientos. (Leiva, 1996).

Tabla 2.6

Guía metodológica aplicada para la clasificación de equipos y selección del tipo de mantenimiento

ASPECTOS SELECTIVOS				A	B	C
1- Intercambiabilidad				Irreemplazable	Reemplazable	Intercambiable
2- Importancia Productiva				Imprescindible (50%)	Limitante (10-50 %)	Convencional (menor10 %)
3- Régimen de Operación				Continuo	Seriado	Alternativo
4- Nivel de Utilización				Muy Utilizado	Utilización Media	Esporádica
TD	TH	HDS				
5-Nivel Consumo Energético				Alto (+ 20%)	Medio (5-20 %)	Bajo (Menos 5 %)
ASPECTOS DIRECTIVOS						
6- Complejidad del mantenimiento				Complejidad Alta	Complejidad Media	Complejidad Simple
7- Conservabilidad				Condiciones Especiales	Protegido	Normal
8- Automatización				Automático	Semi-Automático	Mecánico
ASPECTOS GENERALES						
9- Valor del Equipo				Alto	Promedio	Bajo
10-Factibilidad para el Aprovechamiento.				Mala	Regular	Buena
11- Seguridad Operación				Peligroso	Influyente	Poco Influyente
TABLA RESUMEN Equipo _____				Máxima Disponibilidad	Reducir Costos sin perder disponibilidad.	Reducir al mínimo los costos de mto
Parámetro	A	B	C	- Preferencia Predictivo y Preventivo fuerte que evite eventualidades.	- No se usa solo acciones baratas.	- No se usa el Mto Predictivo.
1-				- Frecuencias altas de Inspección y revisiones engrases Limpiezas. Ajuste Verificación de dimensiones, cambios de piezas.	- Se usa preventivo en todas su gamas: servicio diario, trabajo periódico etc.	- Se aplica el preventivo con baja frecuencia en engrase, limpieza etc.
2-					- Frecuencia media de inspecciones, medición y revisiones, engrases, limpiezas y consumibles.	
3-						
4-						
5-						
11-				- Sé evita el Correctivo. - Máxima Prioridad si ocurre un Fallo, - Registro y seguimiento del Fallo.	- Más libertad al correctivo en dependencia de la holgura de la máquina.	- Abundante el mantenimiento correctivo pues existe gran holgura.
Total						

Nota: Elaboración propia

Donde:

TH-Turnos por horas

TD-Turnos por días

HDS-Horas del día solamente

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

Grupo I o A: Muy importante o fundamental.

Grupo II o B: Normal o convencional.

Grupo III o C: Auxiliares o poco principales.

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

Para la clasificación de equipos y selección del tipo de mantenimiento, se hace necesario la utilización de un grupo de expertos, para su selección se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- Años de experiencia.
- Vinculación a la actividad lo más directamente posible.
- Capacidad para trabajar en equipo.
- Conocimiento del tema a tratar.

Se utiliza la metodología de Cortés e Iglesias (2005) para el cálculo del coeficiente de competencia, la misma tiene como objetivo asegurar que los expertos que se consultan verdaderamente pueden aportar criterios significativos respecto al tema objeto de estudio. Se seleccionan aquellos expertos que tengan un coeficiente de competencia entre medio y alto.

Se realiza el cálculo del número de expertos a través de la siguiente expresión:

$$n = \frac{p(1-p)k}{i^2} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

donde:

1 - p: nivel de significación estadística (nivel de confianza).

k: constante que depende del nivel de significación estadística.

p: proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con n expertos.

i: precisión del experimento. ($i \leq 12$).

Mediante la ecuación 2.1 se define el grupo de trabajo, los cálculos de los criterios fijados fueron:

- proporción de error p (1%) se debe a la carencia de expertos en Cuba sobre la gestión de sistemas de mantenimiento, sin embargo sí existen expertos en temáticas relacionadas con la gestión de sistemas de mantenimiento.
- precisión del experimento i (8%, precisión media) se cumple la premisa que tiene que ser $> 12\%$.
- nivel de significación estadística ($1-\alpha$) se establece para un Nivel de Confianza de 99% de forma que sea lo más fiable posible los criterios establecidos por el grupo de trabajo.

$$n = \frac{0,01 (1 - 0,01) 6,6554}{(0,08)^2} = \frac{0,06589836}{0,0064} = 10,29 \approx 11 \text{ integrantes}$$

El grupo de trabajo queda conformado por 11 miembros; de conjunto con especialistas de sistemas de mantenimiento en la CTE CMC e integrantes pertenecientes al Centro del Estudio de Energía y Medio Ambiente (CEEMA).

Los integrantes del grupo de trabajo son los siguientes:

1. MSc. Silvino Chaviano Bernal (Diagnóstico en Análisis Dinámico y Especialista Principal, CTE CMC).
2. DrC. Jenny Correa Soto (Profesor – Investigador, CEEMA- Ucf).
3. Ing. Juan Bravo Nuñez (Director Técnico, CTE CMC).
4. Ing. Yunior Estrada Zambrano (Director de Mantenimiento, CTE CMC).
5. Ing. Oria Domínguez Silva (Diagnóstico en Análisis Químico, CTE CMC).
6. Ing. Luis Enrique González Quintana (Diagnóstico en Análisis de Metales, CTE CMC).
7. Técn. Francisco Torres González (Diagnóstico en Análisis Eléctrico, CTE CMC).
8. Ing. Sergio Rivero Mamud (Diagnóstico en Análisis Eléctrico, CTE CMC).
9. Ing. Fidel Mendes Carrasco (Especialista A mantenimiento Industrial, CTE CMC).
10. Ing. Eliexy Suárez Pérez (Especialista A mantenimiento Industrial CTE CMC).
11. Odeyme Vazquez Ramos (Especialista A mantenimiento Industrial CTE CMC).

A los integrantes del grupo se les realiza un análisis de experticia según se muestra en la próxima tabla

Tabla 2.7

Cálculo del coeficiente de competencia de cada experto

Expertos	Actividad que desempeña	Años de experiencia	Coefficiente de conocimiento (Kc)	Coefficiente de argumentación (Ka)	Coefficiente de Competencia (Kcomp=Kc+Ka/2)	Nivel
1	Especialista	>35 años	0.90	$0.3+0.5+0.03+0.04+0.05+0.04=0.96$	0.93	Alto
2	Académico	> 25 años	0.80	$0.2+0.4+4(0.05)=0.90$	0.85	Alto
3	Especialista	> 15 años	0.75	$0.2+0.4+4(0.05)=0.90$	0.82	Alto
4	Especialista	> 15 años	0.75	$0.2+0.4+4(0.05)=0.90$	0.82	Alto
5	Especialista	> 35 años	0.90	$0.3+0.5+0.03+0.04+0.05+0.04=0.96$	0.93	Alto
6	Especialista	> 10 años	0.70	$0.2+0.4+3(0.05)+0.04=0.79$	0.74	Medio
7	Especialista	> 25 años	0.80	$0.2+0.4+4(0.05)=0.90$	0.85	Alto
8	Especialista	> 10 años	0.70	$0.3+0.4+4(0.03)=0.76$	0.73	Medio
9	Especialista	> 35 años	0.90	$0.3+0.5+0.03+0.04+0.05+0.04=0.96$	0.93	Alto
10	Especialista	> 25 años	0.80	$0.2+0.4+4(0.05)=0.90$	0.85	Alto
11	Especialista	> 20 años	0.70	$0.2+0.3+3(0.03)+0.04=0.63$	0.66	Medio

Nota: Elaboración propia

Conformado el Grupo de Expertos se procede analizar la información y datos procedentes de las siguientes fuentes:

En la próxima tabla se representa una guía para la clasificación de equipos y selección del tipo de mantenimiento, con los aspectos selectivos y evaluación de los criterios de al menos más de 10 técnicos o especialista de los sistemas del mantenimiento

Tabla 2.8

Guía para la clasificación de equipos

No	Equipos por sistemas del proceso productivo	Potencia (KW)	r.p.m	Tipos de clasificación	Aspectos de clasificación											Total de puntos	Clasificación final del equipo
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		

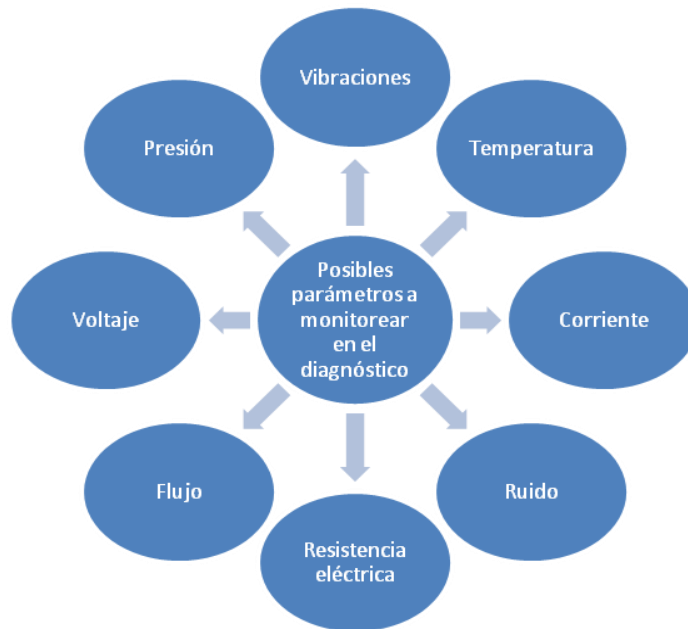
Nota: Elaboración propia

2.5.3 Tercera Etapa, métodos y técnicas aplicadas para la determinación de Parámetros de Estado a controlar durante la aplicación del Diagnóstico

A partir de la categorización de los equipos y de la definición del tipo de mantenimiento a aplicarle a cada uno de ellos, se pasa a determinar los parámetros que definen el estado de los dispositivos que deben ser objeto de estudio, (Fernández, 1994 y González, 1996). Ver figura 2.4.

Figura 2.4

Parámetros de estado a monitorear en los sistemas de mantenimiento



Nota: Elaboración propia

2.5.3.1 Problemas más comunes que generan fallas relacionados con el parámetro vibraciones en las máquinas

El correcto monitoreo y control de este parámetro es crucial para prevenir los siguientes problemas los cuales abordándolos de manera efectiva se garantiza el funcionamiento óptimo de los equipos y la prolongación de su vida útil:

- Desbalance
- Desalineamiento
- Ejes flexados
- Engranajes gastados, excéntricos o dañados
- Correas o cadenas en mal estado
- Rodamientos deteriorados
- Fuerzas electromagnéticas
- Fuerzas hidráulicas
- Fuerzas aerodinámicas

- Aflojamiento
- Rozamiento
- Resonancias

2.5.3.2 Sistema organizativo de monitoreo aplicado a equipos y sistemas

La organización de la colección de datos para su proceso en los análisis de los cambios de mantenimiento, constituye un elemento fundamental, ya que esto nos permite determinar a qué equipo se le debe prestar más atención, teniendo en cuenta los cambios cuantitativos que presentan en sus parámetros de estado, toda vez comparados con patrones de severidad condenatorios, estos resultados se han logrado a partir del desarrollo de un sistema organizado de trabajo como el que se representa en la figura 2.5.

Como se muestra en la figura 2.5, esta estructura permite relacionar el empleo del mantenimiento en cualquier forma de planificado, a partir de criterios técnicos tomados con la aplicación de los sistemas de monitoreo en cualquier nivel de aplicación, dándole participación en todos los casos al análisis del deterioro de los parámetros de estado.

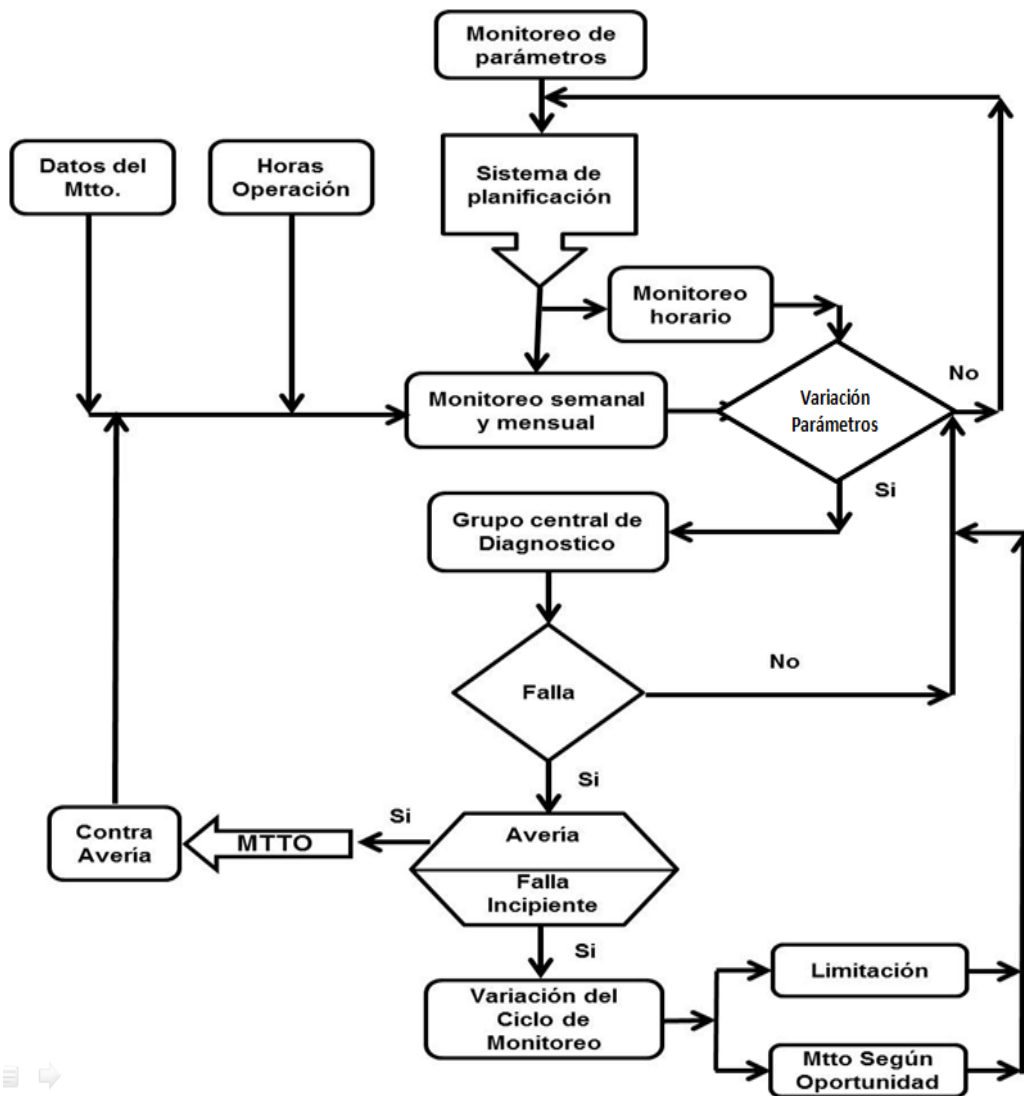
Basado en el principio de la aplicación del mantenimiento según estado, establece una inspección con grupos de diagnóstico creados en las áreas para estos fines, donde se controla a partir de la aplicación de los cinco sentidos, un grupo de parámetros de estado previamente designado para cada equipo, ruidos en los equipos, salideros, temperaturas aparentes, vibraciones por tacto, cambios de parámetros leídos en los paneles de control local, otros; se mantiene un control de las horas de operación de los equipos, que nos indica cuando se debe intervenir para la realización de los mantenimientos, dónde el sistema sólo permite la realización de los mantenimientos revisión y ligeros en los equipos, como facetas para la inspección de defectos que no se manifiestan en los parámetros de trabajo de operación.

Con la medición y análisis funcionales, se complementan los suficientes criterios, para establecer el momento oportuno para la realización del mantenimiento en el equipo, controlándose según se observa en el sistema, la calidad del mismo una vez realizado.

Posteriormente todos los datos aportados por la reparación, nos sirven para incorporar en las bases de datos y conformar criterios posteriores, sobre la base de qué componentes del equipo son los que más se deterioran, para la realización de los sucesivos análisis, así como para el stock de piezas de repuestos en almacenes, como apoyo a los planes del mantenimiento preventivo.

Figura 2.5

Diagrama funcional de monitoreo y muestreo de parámetros de estado entre etapas del mantenimiento



Nota: Pérez (2021)

Todas estas técnicas y métodos organizativos de trabajo, demostrados a partir de valoraciones prácticas realizadas sobre los equipos roto dinámicos de distintas categorías en planta, a lo largo de estos años, justifican plenamente los cambios realizados de mantenimiento preventivo planificado y mantenimiento por diagnóstico predictivo, ha contribuido a la reducción de averías en los equipos y de manera positiva a la disminución de la energía indisponible en planta.

2.5.4 Cuarta Etapa, determinación de síntomas atendiendo a la cantidad de defectos por Sistemas, mediante la aplicación de la Técnica de “Pareto”

Tomando como principio que en cualquier negocio o industria pocos elementos son vitales mientras la gran mayoría no lo son, principio ABC o Ley 80-20 se puede definir aplicando Pareto las diferentes clases atendiendo al estudio que se realice.

Clase A - los más importantes (control por oportunidad).

Clase B - importancia intermedia (control por excepción).

Clase C - los menos importantes.

En la tabla 2.9, se presenta el modelo a partir de valores estadísticos de las fallas de los equipos agrupados por sistemas según la categoría analizada que permite ordenar los datos necesarios para la aplicación de la técnica de Pareto.

Para efectuar esta selección de equipos es necesario realizar un estudio de todas las pérdidas por sistemas de equipos de planta, a lo largo de más de 5 años como mínimo. Se colocan en la primera columna los diferentes sistemas o equipos a analizar y en las sucesivas columnas se ubican las cantidades de defectos por equipos, quedando en la última fila el total de fallas.

Tabla 2.9

Modelo para valores de equipos con defectos

Nombre de los equipos con defectos	fecha de detectada la desviación	Síntomas y posibles causas e instrumentos							Observaciones
		Síntomas							
		Vibraciones	Temperatura	ruido	Parámetros operacionales	Lubricación	Amperaje	Carencia de mto.	
Equipo 1	d/m/a	x	x	x	X	x	X	X	Observación
Equipo 2	d/m/a	x	X	X	X	X	X	X	Observación
Equipo 3	d/m/a	x	x	x	x	x	x	x	Observación
Totales De Síntomas Del Sistema		x	x	x	x	x	x	x	

Nota: Elaboracion propia

A partir de los resultados anteriores se aplica “Pareto” quedando definido en el análisis de sus curvas características, los sistemas que son muchos triviales y los pocos vitales.

Los resultados finales de este análisis se deben agrupar u ordenar en bases de datos o tablas similares a la indicada en la tabla 2.10, las cuales deben contener las indicaciones imprescindibles para conocer las características del equipo seleccionado para el estudio de los sistemas de mantenimiento.

Tabla 2.10

Modelo para la Selección de equipos

No.	Nombre del Equipo o Sistema	Datos técnico	Clasificación	Cantidad

Nota: Elaboración propia

2.5.5 Quinta Etapa, resultados del Mantenimiento

A partir de estudios en la organización y desarrollo del mantenimiento de la entidad a investigar, se ejecuta un sistema para obtener los resultados del mantenimiento (ver figura 2.5) que ofrece la función de monitoreo y muestreo de parámetros de estado entre etapas del mantenimiento, además en ocasiones existen posibilidades de contar con programas apropiados para crear bases de datos generadas para la Gestión del mantenimiento que facilitan la extracción de datos, los cuales se muestran en un modelo que utiliza el área de planificación de mantenimiento (ver tabla 2.11), con la información necesaria para el análisis de los tipos de mantenimientos por equipo donde se tiene en cuenta la actividad a realizar, la frecuencia de mantenimiento y la mano de obra (categoría de mecánico)

Tabla 2.11

Modelo para planificación de mantenimiento

Equipos	Tipos de mantenimientos	Actividades a realizar	Frecuencia de cada mantenimiento	Mano de obra (categoría de mecánico)

Nota: Elaboración propia

El completamiento del grupo de diagnóstico con una estructura que abarcara todas las variantes de control de parámetros de estado para diagnóstico, que 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 implicara, la preparación profesional de los integrantes de la nueva estructuración de trabajo, así como, la adquisición de instrumentos que dieran respuesta al nuevo sistema de mantenimiento predictivo. Dichos equipos de última generación que presentan un alcance técnico a nivel mundial, contienden las técnicas y métodos empleados en el análisis de defectos indicados en los aspectos anteriores de este trabajo. En el anexo 7 se muestran algunos de estos equipos fundamentales para Análisis Dinámico del sistema de mantenimiento predictivo.

Una vez conocido los instrumentos que se utilizan para el monitoreo de los parámetros de estado es necesario realizar el control periódico del monitoreo de los mismos, los cuales se abordan en el epígrafe siguiente.

2.5.5.1 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 adecuadamente, las acciones del mantenimiento con vistas a evitar averías no planificadas. En las tablas 2.12, 2.13 y 2.14 se muestran los modelos que resumen el período entre muestreo de los parámetros de estados que varían en dependencia de la importancia productiva del equipo (atendiendo a su categorización).

Tabla 2.12

Modelo para las mediciones a efectuar a los equipos rotatorios sujetos a diagnóstico por Análisis Dinámico

Sistema	Equipo	Categ.	Vib.	Fase	Frecuencia	Nivel Global	Análisis de frecuencia	Señal en el tiempo	BCU	Envolvente de la aceleración	On line	Continuo

Nota: Elaboración propia

Tabla 2.13

Modelo para plan de monitoreo periódico propuesto por el grupo de diagnóstico (monitoreo subjetivo y objetivo)

Equipos por sistemas del proceso productivo	Clasificación del equipo	Ensayos no destructivos. Medición periódica vibraciones y BCU, chequeo de parámetros de estado					Inspecciones (empleo de los 5 sentidos) toma de parámetros		

Nota: Elaboración propia

Tabla 2.14

Modelo para Plan de Trabajo anual del grupo de diagnóstico. Ensayos no destructivos (Vibraciones)

Unidad o equipos	Control monitoreo periódico		Medición de vibraciones		Control de defectos	
Mediciones antes y después del mantenimiento preventivo o por avería						

Chequeos de equipos en mantenimiento (esta actividad se adiciona según necesidades del área)						

Nota: Elaboración propia

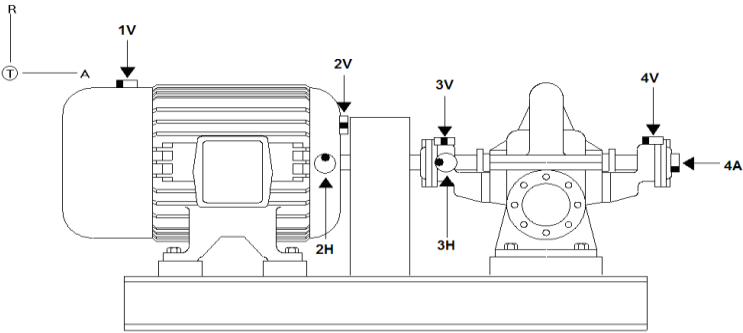
Estos sistemas de monitoreo pueden cambiar, estando sujetos a las variaciones crecientes o decrecientes de la magnitud y severidad del parámetro, así como a la posible causa de las variaciones.

Integrando los sistemas y técnicas antes mencionadas, se logra mantener una estrecha vigilancia del desarrollo y evolución de los parámetros de estado, con lo cual se logra recopilar toda la información necesaria para realizar un análisis preciso del estado técnico de los mismos, permitiendo predecir cuándo los equipos no están trabajando de forma óptima, por lo que se encuentran en presencia de alguna posible falla o defecto.

Consecuentemente se procede con el análisis de la variación de los parámetros de estado utilizando el método de las vibraciones, donde se tiene en cuenta por equipo monitoreado el control del valor de las vibraciones en los puntos de apoyo en las direcciones vertical (y), horizontal (x) y axial (z). En la figura 2.6 se muestra la orientación de las vibraciones a medir en los equipos rotatorios y en la tabla 2.15 se muestra el modelo de mediciones periódicas de vibraciones.

Figura 2.6

Orientaciones de vibraciones



Nota: White (2010)

Tabla 2.15

Modelo de mediciones periódicas de vibraciones

Equipos	Dirección de mediciones		
Equipo 1	Y	X	Z
Pto 1			
Pto 2			
Pto 3			
Pto 4			

Nota: Elaboración propia

2.6 Conclusiones parciales

En el presente capítulo se propuso una metodología para el estudio de la situación actual de la gestión del mantenimiento donde se promueven las etapas fundamentales realizadas para la aplicación del control de los sistemas de mantenimiento en la CTE CMC.

Para ello fue necesario:

1. Conocer la situación de la organización del mantenimiento a partir de un diagnóstico de la situación actual de la entidad.
2. Determinar mediante la metodología propuesta por el autor la categorización y tipo de mantenimiento en cada equipo.
3. Aplicando un conjunto de métodos y técnicas entre las que sobresalen: Análisis Causa-Raíz, Matriz de Fallas, vibraciones, Pareto, etc., llegar a determinar los equipos y parámetros a controlar para la aplicación de la evaluación óptima del estado de posibles defectos en los sistemas en equipos.
4. Llegar a determinar el control de los datos necesarios para los sistemas de Mantenimiento Preventivo y predictivo.

CAPÍTULO III



Capítulo III. Validación de la Metodología para la factibilidad técnico-económica de Sistemas de Mantenimiento en la CTE CMC

3.1 Introducción

A lo largo de este capítulo se desarrollan los métodos y técnicas de trabajo que aparecen en la metodología para la evaluación de equipos rotatorios integrados al Sistema de Mantenimiento General (Mantenimiento Flexible) y la calidad del mantenimiento por diagnóstico, durante su explotación y posterior a sus mantenimientos, seleccionando aquellos dispositivos que desde el punto de vista funcional y por su importancia en el proceso, son factibles de aplicarles este tipo de técnicas.

A partir de la metodología descrita en el Capítulo II se lleva a la práctica su desarrollo, para ello se realiza un diagnóstico de la situación del mantenimiento y un estudio de los datos necesarios que permiten realizar un análisis para la categorización de los equipos según sus características y el grado de indisponibilidad que los mismos pueden aportar en un momento dado, por otra parte se aprovechan los volúmenes de información y al aplicar el Método de Pareto se logra determinar que síntomas tienen un mayor peso en los sistemas de equipos de la planta y de ahí seleccionar aquellos a los cuales serán objeto de un método de diagnóstico determinado para poder reducir el índice de averías con su consiguiente ahorro en los costos directos e indirectos del mantenimiento y el aumento de la confiabilidad operacional de los mismos.

A continuación se realiza un estudio de las fallas y se determinan los parámetros que con ellas se relacionan, como los parámetros de síntomas fundamentales que tienen relación con los estudios realizados en los sistemas de planificación de mantenimiento y la valoración de los sistemas de diagnóstico en la base de análisis dinámicos (vibraciones). Aplicando un método de evaluación y medición de los sistemas de mantenimiento en equipos dinámicos rotatorios de las unidades japonesas.

3.2 Primera Etapa, diagnóstico del sistema organizativo de mantenimiento actual en la CTE CMC

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

3.2.1 Caracterización del mantenimiento en la CTE CMC

Se puede resumir como resultados de la primera etapa del procedimiento a partir del Diagnóstico del mantenimiento, que 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 fundamentalmente en la combinación de un sistema organizativo de los tres tipos de mantenimiento: el Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP), Mantenimiento Correctivo y el Mantenimiento Predictivo.

3.2.1.1 Situación técnica y organizativa del mantenimiento en la CTE CMC, antes de la aplicación de las nuevas técnicas para el diagnóstico de los equipos

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

- El número de averías no se logra reducir en comparación con el año 2022, afectando la disponibilidad en 7,64 % que representa 482 375 Mw dejados de producir, por cuanto el mantenimiento planificado en ocasiones no era oportuno ya que las fallas podían ocurrir en un tiempo antes de este, o posterior al mismo.
- Los gastos inadecuados de materiales, por cuanto se desarman equipos y cambian piezas que aún no han rendido el máximo de su vida útil.
- La mano de obra se encarece por la necesidad de realizar un alto volumen de mantenimiento en las fechas planificadas sea o no necesaria dicha reparación.
- No existe un seguimiento de parámetros rigurosamente controlados para definir la calidad del mantenimiento.

Para diagnosticar el estado del Sistema de Mantenimiento de la empresa y trabajar sobre la base del mantenimiento predictivo 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

El equipo de trabajo diseñó y realizó un proyecto de Sistema Alternativo de Mantenimiento el cual ha servido de guía en el desarrollo de la aplicación del diagnóstico en la empresa.

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

- Problemas de organización, fundamentalmente en lo que se refiere a la planificación y preparación de los trabajos.
- Carencias notables de infraestructura, soporte para la ejecución de mantenimiento.
- Defectos importantes en la gestión de repuestos, falta de estandarización y problemas de inventario.
- 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.

También se identificaron como puntos fuertes:

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

3.3 Segunda etapa, selección de equipos en grupos según su importancia productiva y selección del tipo de mantenimiento a aplicar

Como parte de la segunda etapa se toma como base la metodología descrita en el Capítulo II, y evaluando cada equipo con la experiencia y conocimiento del grupo de expertos se tiene como resultado la categorización según se muestra en la tabla 3.1, quedando definidos como categoría A, B, y C, de acuerdo a su importancia técnico-económica dentro del proceso. Para ello se tuvo en cuenta el estudio de los aspectos esenciales indicados en la metodología:

- Aspectos Selectivos
- Aspectos Directivos
- Aspectos Generales

Tabla 3.1

Clasificación de Equipos por Categorías, A, B, C

No	Equipos por del sistemas proceso productivo	Potencia (KW)	r.p.m	Tipos de clasificación	Aspectos de clasificación											Total de puntos	Clasificación final del equipo
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	CALDERA JAPONESA																
2	Ventilador de tiro forzado IIIA	1100	1180	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4 7	B*
3	Ventilador de tiro forzado IIIB	1100	1180	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4 7	B*
4	Ventilador recirculador de gases	300	1175	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2 9	B*
5	Calentador de aire regenerativo IIIA	5.5	1130	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4 6 1	B*
6	Calentador de aire regenerativo IIIB	5.5	1130	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4 6 1	B*
7	Ventilador enfte. detec. llama IIIA	7.5	3500	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1 4 6	C*
8	Ventilador enfte. detec. llama IIIB	7.5	3500	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1 4 6	C*
9	Bomba de petróleo IIIA	75	1750	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2 8 6	B*
10	Bomba de petróleo IIIB	75	1750	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2 8 6	B*
11	Turbina japonesa III y IV	169 000	3600	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11	A

12	Bomba de alimentar IIIA	1850	3570	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5 6	B*
13	Bomba de alimentar IIIB	1850	3570	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5 6	B*
14	Bomba de alimentar IIIC	1850	3570	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5 6	B*
15	Bomba circulación IIIA	450	440	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3 8	B*
16	Bomba circulación IIIB	450	440	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3 8	B*
17	Bomba condensado IIIA	330	1775	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2 9	B*
18	Bomba condensado IIIB	330	1775	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2 9	B*
19	Bomba enfriamiento IIIA	132	1740	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2 7 2	B*
20	Bomba enfriamiento IIIB	132	1740	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2 7 2	B*
21	Bomba de transferencia de condensado	22	3510	A B C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1 10	C

Nota: Elaboración propia

3.4 Tercera Etapa, métodos y técnicas aplicadas para la determinación de Parámetros de Estado a controlar durante la aplicación del Diagnóstico

Una vez determinado en los pasos anteriores, los equipos a los cuales se les va aplicar la metodología, conocido los tipos de problemas más comunes que generan fallas relacionados con el parámetro vibraciones en las máquinas y los parámetros de estados a monitorear en los Sistemas de Mantenimiento; se pasa a una Cuarta Etapa que consiste en determinar los equipos a evaluar atendiendo a la cantidad de defectos por sistemas, mediante la aplicación de la técnica de Pareto donde queda de manera claro qué sistema es el que está generando más pérdidas en planta, de forma tal que sirvan como un ejemplo patrón durante el desarrollo de este proceso.

3.5 Cuarta Etapa, determinación de síntomas atendiendo a la cantidad de defectos por sistemas, mediante la aplicación de la Técnica de “Pareto”

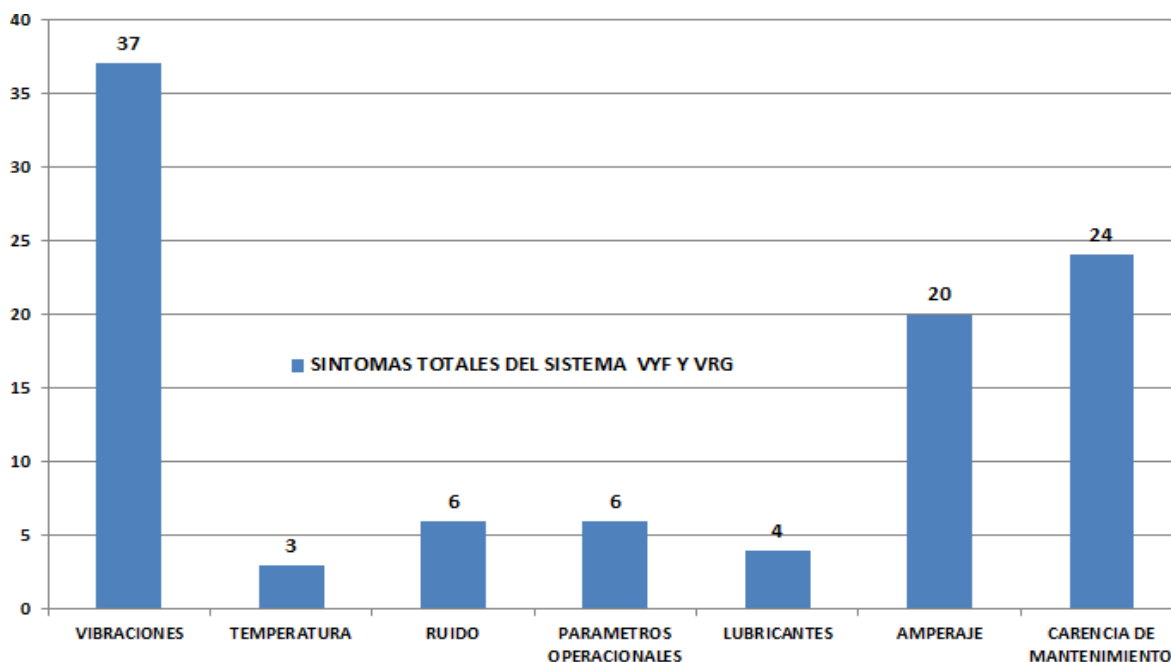
Para la realización de esta cuarta etapa se tomaron datos generales a lo largo de más de 5 años como mínimo, procedentes de las carpetas de información de explotación de los equipos, seleccionando los necesarios para evaluar la cantidad de defectos y síntomas por equipos, quedando en la última fila el total de síntomas generados por fallas. A través del estudio de los resultados arrojados del Anexo 8 se puede determinar a partir de la técnica de Pareto el síntoma que mayor incidencia tiene en los defectos de los sistemas de equipos de la empresa.

En la figura 3.1 se representa un ejemplo real de los síntomas totales analizados del Sistema VTF y VRG

A partir del análisis de Pareto se puede considerar que en todos los sistemas estudiados en el Anexo 8 los síntomas que tienen más relevancia son los que se encuentra por debajo del 80% siendo estos el amperaje, la carencia de mantenimiento y las vibraciones las cuales ocupan el 37 % categorizándose como el síntoma más grave y significativo que mayor incidencia tiene en las averías ocurridas en los sistemas de trabajos de equipos rotatorios existentes en la empresa. Dicho análisis se muestra en la figura 3.2

Figura 3.1

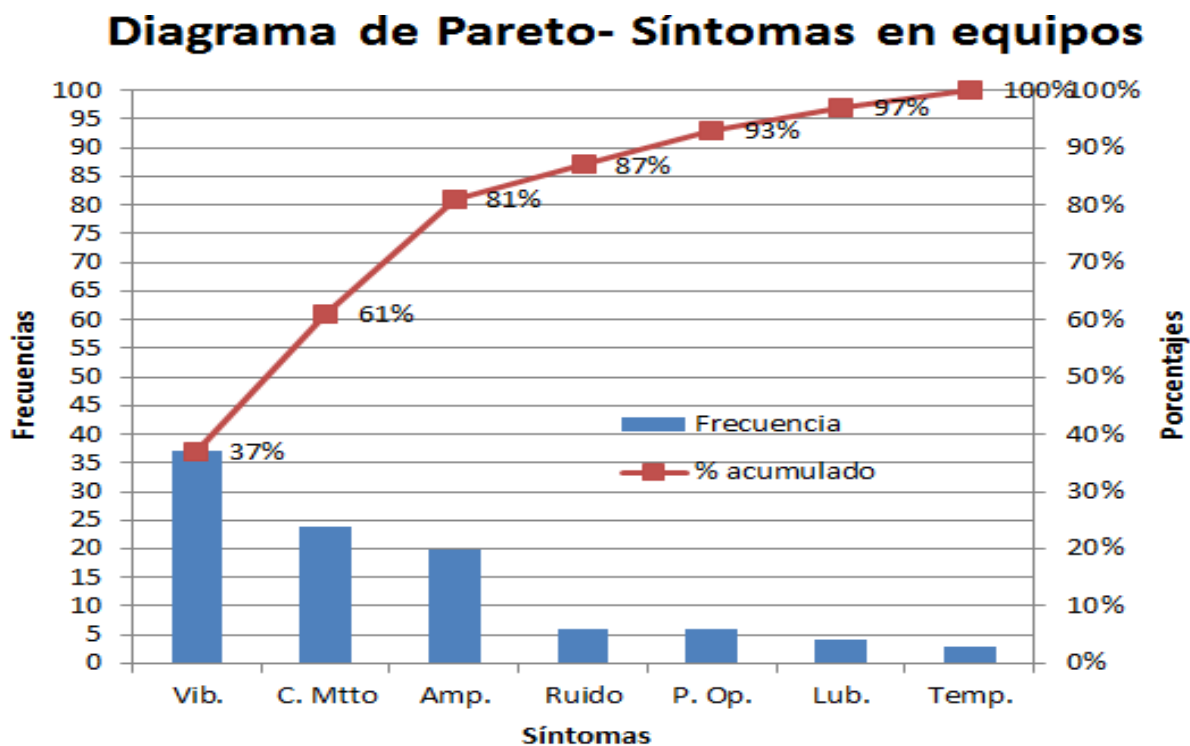
Síntomas Totales del Sistema VTF y VRG



Nota: Tomado del área de Diagnóstico

Figura 3.2

Aplicación de la Técnica de Pareto



Nota: Elaboración propia

3.6 Quinta Etapa, resultados del Mantenimiento

En la presente etapa se muestra una porción de las bases de datos generadas para la Gestión del Mantenimiento (ver figura 3.3) utilizada por el área de planificación para el análisis de los tipos de mantenimientos por equipo donde se tiene en cuenta la frecuencia de realización, la mano de obra (categoría de mecánico) y la actividad a realizar en dependencia de las fallas estudiadas en el capítulo II

En el Anexo 9 se puede observar dicha información necesaria a modo general.

Figura 3.3

Planificación de mantenimiento

EQUIPO	TIPO DE MTTO				ACTIVIDADES A REALIZAR	TIPO	FRECUENCIA MTTO			Hrs.	MANO DE OBRA(mecánico)		
	R	L	P	G			A	M	D		A	B	C
Compresor Instrumento 3A, 3B, 4A, 4B	2000 hrs.				Instrumento ATLAS COPCO.	R	6			16			
					2000 horas.(6 meses)	L	1			90			
					Reemplazar el elemento del filtro de aire y aceite.	P	2			144			
					Restablecer servicios y operación módulo.	G	5			144			
					Chequear la operación de los instrumentos.								
					Chequear la operación del drenado de condensados.								
					Chequear el nivel de aceite.								
					Revisar hermeticidad de sistemas aire, agua y aceite.								
					Limpieza general equipo.								
					Reemplazar filtros respiradero del cárter.								
	4000 hrs.				4000 horas.(1 año)								
					Servicio de las 2000 horas.								
					Reapriete conexiones mecánicas.								
					Reemplazar el kit de servicio a válvula check.								
					Reemplazar el kit de servicio a válvula de admisión.								
					Reemplazar el diafragma de la válvula de admisión.								
			8000 hrs.		8000 horas.(2 años)								
					Todo el servicio de las 4000 horas.								
					Limpieza interna a enfriadores.								
					Reemplazar el aceite del compresor.								

Nota: Tomado del área de planificación de mantenimiento

Conjuntamente el grupo de diagnóstico mantiene un ciclo de monitoreo de los parámetros de estado permitiendo planificar de forma adecuada, las acciones del mantenimiento. En las tablas 3.2 y 3.3, 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).

Tabla 3.2

Mediciones a efectuar a los equipos rotatorios sujetos a diagnóstico por Análisis Dinámico (AD)

No.	Sistema	Equipo	Categ.	Vib.	Fase	Frecuencia	Nivel global	Análisis de frecuencia	Señal en el tiempo	BC U	Envolverte de la aceleración	On line	Continuo
1.	Equipos Principales	Turbina	A	X	X	quincenal	X	X	X			X	X
2.		Generador	A	X	X	quincenal	X	X	X			X	
3.	Agua de Alimentar	Bomba de Agua de Alimentar (AA)	B	X	X	mensual	quincenal	X	X			X	
4.		Motor Bomba de AA	B	X	X	mensual						X	
5.	Agua de Circulación	Bomba de Agua de Circulación (AC)	B	X		mensual	X	X	X	X	X	X	
6.		Motor Bomba de AC	B	X		mensual	X	X	X	X	X	X	
7.	Condensado	Bomba de Condensado	B	X		mensual	X	X	X	X	X	X	
8.		Motor Bomba de Condensado	B	X		mensual	X	X	X	X	X	X	
9.		Bomba Enfriamiento	B	X		trimestral	X	X	X	X	X	X	
10.		Motor Bomba Enfriamiento	B	X		trimestral	X	X	X	X	X	X	
11.	Aceite	Bomba de Aceite de Arranque	B	X		P/A	X	X	X	X	X	X	
12.		Bomba de Aceite de Sellos CA (Generador)	B	X		P/A	X	X			X	X	
13.		Bomba de Aceite de Sellos CD (Generador)	B	X		P/A	X	X			X	X	
14.		Bomba auxiliar	B	X		P/A	X	X			X	X	
15.		Bomba de emergencia de aceite	B	X		P/A	X	X			X	X	
16.	Aire y Gases de Caldera	VTF	B	X		mensual	X	X	X		X	X	
17.		Motor del VTF	B	X		mensual	X	X	X		X	X	
18.		VTI	B	X		mensual	X	X	X		X	X	

Nota: Tomado de Pérez (2021), Manual de Mantenimiento UNE

Tabla 3.3

Plan de monitoreo periódico propuesto por el grupo de diagnóstico (monitoreo subjetivo y objetivo)

No.	Equipos por sistemas del proceso productivo	Clasificación del equipo	Ensayos no destructivos Medición Periódicas Vibraciones y BCU, chequeo de parámetros de estado					Inspecciones (Empleo de los 5 sentidos) Toma de parámetros.		
			Mes	Bi- mensual	Tri- Mensual	Semestre	Anual	semanal	Mensual	Por Análisis de defectos
	Unidad Japonesa 3									
1	Ventilador de tiro forzado 3A	B	X					X		
2	Ventilador de tiro forzado 3B	B	X					X		
3	Ventilador recirculador de gases 3	B	X					X		
4	Calentador de aire regenerativo 3A	B	X					X		
5	Calentador de aire regenerativo 3B	B	X					X		
6	Ventilador enf. detec. llama 3A	C	X						X	
7	Ventilador enf. detec. llama 3B	C	X						X	
8	Bomba de petróleo 3A	B	X					X		
9	Bomba de petróleo 3B	B	X					X		
10	Bomba de gas oil 3A	C				X				X
11	Bomba de gas oil 3B	C				X				X
12	Bomba de agua desmineralizada 3A	C			X				X	
13	Bomba de agua desmineralizada 3B	C			X				X	
14	Bomba dosificadora hidracina 3A	C					X			X
15	Bomba dosificadora hidracina 3B	C					X			X
16	Bomba dosificadora fosfato 3A	C					X			X
17	Bomba dosificadora fosfato 3B	C					X			X
	Unidad Japonesa 4									
			Mes	Bi- mensual	Tri- Mensual	Semestre	Anual	semanal	Mensual	Por Análisis de defectos
1	Ventilador de tiro forzado 4A	B	X					X		
2	Ventilador de tiro forzado 4B	B	X					X		
3	Ventilador recirculador de gases 4	B	X					X		
4	Calentador de aire regenerativo 4A	B	X					X		
5	Calentador de aire regenerativo 4B	B	X					X		
6	Ventilador enf. detec. llama 4A	C	X						X	
7	Ventilador enf. detec. llama 4B	C	X						X	
8	Bomba de petróleo 4A	B	X					X		
9	Bomba de petróleo 4B	B	X					X		
10	Bomba de gas oil 4A	C				X				X
11	Bomba de gas oil 4B	C				X				X
12	Bomba de agua desmineralizada 4A	C			X				X	
13	Bomba de agua desmineralizada 4B	C			X				X	
14	Bomba dosificadora hidracina 4A	C					X			X
15	Bomba dosificadora hidracina 4B	C					X			X
16	Bomba dosificadora fosfato 4A	C					X			X
17	Bomba dosificadora fosfato 4B	C					X			X

Nota: Tomado de Pérez (2021)

Tabla 3.3 (Continuación)

Plan de Trabajo anual del grupo de diagnóstico, ensayos no destructivos (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	Anual	*****	Según averías o defectos
OTROS SISTEMAS	Trimestral	Diario	Semestral	Anual	*****	Según averías o defectos
MEDICIONES ANTES DEL MANTENIMIENTO Y DESPUES DEL MANTENIMIENTO MPP O POR AVERIA						
Equipos Fundamentales	Antes del Mto.	Dentro del Mantenimiento			Después del mantenimiento	
Categoría A, B Y C	72 Horas antes	Motores en vacío	Pruebas para control de Mto	Certificación preliminar del Mto	Pasadas 72 horas Certificación de Mto	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 Mto. U operación		
Estados al desarmes y armes de equipos		Control de parámetros de interés vibracionales		Parte del análisis en los arranques después del mantenimiento		
OTRAS ACTIVIDADES						
1.-Actualización de datos en datos	Revisión de los puntos de mediciones y marcas de fases			Cheque de estado de las unidades y veracidad de datos en equipos VIBROCONTROL 4000. Por método comparativo.		
Diario	Todo el mes			Trimestral		

Nota: Tomado de Planificación del grupo de Diagnóstico CTE

Luego se procede con el análisis de la variación de los parámetros de estado con el método de las vibraciones, teniendo en cuenta por equipo monitoreado el control del valor de las vibraciones en los puntos de apoyo.

En la tabla 3.4 se muestra las mediciones periódicas de vibraciones.

Tabla 3.4

Mediciones periódicas de las vibraciones en los sistemas

Equipo.	Condiciones de la medición.			Sistemático	Antes del Mto:			Después del Mto:							
VTF 4A	Y	X	Z	VTF 4B	Y	X	Z	VRG 4	Y	X	Z	V.D.LL 4A	Y	X	Z
Pto 1	0,24	0,4	0,51	Pto 1	0,4	0,6	0,43	Pto 1	0,28	0,4	1,5	Pto 1	1,3	2,6	**
Pto 2	0,27	0,5	0,66	Pto 2	0,39	0,6	0,42	Pto 2	0,75	0,66	0,73	Pto 2	2,5	3,4	3,7
Pto 3	0,27	0,7	0,36	Pto 3	0,22	1,1	0,47	Pto 3	0,63	1,4	1	Pto 3	0,5	2	
Pto 4	0,12	0,6	0,24	Pto 4	0,15	1,2	0,43	Pto 4	0,16	1,4	0,58	Pto 4	1,2	4,7	
BAA 4A	Y	X	Z	BAA 4B	Y	X	Z	BAA 4C	Y	X	Z	B.DCAP 4	Y	X	Z
Pto 1	1,8	1,9	1,6	Pto 1	1,2	1,2	0,8	Pto 1	0,8	1,23	0,84	Pto 1	0,76	2	
Pto 2	1,5	1,7	2	Pto 2	1,3	1	1,2	Pto 2	1,2	1,2	1,7	Pto 2	0,8	1,5	
Pto 3	1,2	1,4	0,4	Pto 3	0,5	0,5	0,3	Pto 3	1	0,9	0,38	Pto 3	0	0,8	
Pto 4	0,9	1,5	0,36	Pto 4	0,4	0,7	0,3	Pto 4	0,97	1,4	0,3				
Pto 5	1,3	1,8	0,66	Pto 5	0,6	0,9	0,4	Pto 5	0,87	1,4	0,66				
B.COND 4A	Y	X	Z	B.COND 4B	Y	X	Z	B.A.ENF 4A	Y	X	Z	B.A.ENF 4B	Y	X	Z
Pto 1	0,4	1,2		Pto 1	0,5	1,8		Pto 1	0,5	0,85	0,96	Pto 1	0,53	0,7	0,75
Pto 2	0,3	0,5		Pto 2	0,4	0,87		Pto 2	0,17	0,86	0,95	Pto 2	0,69	0,6	0,8
Pto 3	0	0,3		Pto 3	***	0,5		Pto 3	0,58	0,94	0,44	Pto 3	0,86	0,5	0,69
								Pto 4	0,64	1	0,79	Pto 4	0,8	1	0,87
B.CIR 4A	Y	X	Z	B.CIR 4B	Y	X	Z	CAR 4A	Y	X	Z	CAR 4B	Y	X	Z
Pto 1	0,5	0,6		0,75	0,97			Pto 1				Pto 1			
Pto 2	0,55	0,34		0,87	0,68			Pto 2				Pto 2			
Pto 3			1,1					Pto 3				Pto 3			
								Pto 4				Pto 4			
V.SELL 4B	Y	X	Z	B.PETR 4A	Y	X	Z	B.PETR 4B	Y	X	Z		Y	X	Z
Pto 1	2,9	2,2		Pto 1				Pto 1				Pto 1			
Pto 2	4	4	6,2	Pto 2				Pto 2				Pto 2			
Pto 3	1,3	3,6	3	Pto 3				Pto 3				Pto 3			
Pto 4				Pto 4				Pto 4				Pto 4			
Turbina 4	Y	X	Z	T4 Med Eje	RA	RB		VT 60	Y	X	Z	V.D.LL 4B	Y	X	Z
Pedest reg.													4,8	4,6	
Pto 1	0,78	1,43	1,35	Pto 1	12	17		Pto 1				Pto 1	5	4,5	12,7
Pto 2	8,15			Pto 2	42	**		Pto 2				Pto 2	0,8	1,4	
Pto 3	1,8	5,4	7,15	Pto 3	66	62		Pto 3				Pto 3	2,9	4,1	
Pto 4	5,2			Pto 4	43	48		Pto 4				Pto 4			
Pto 5	3	2,8	3,2	Pto 5	19	19		Pto 5				Pto 5			

Nota: Tomado de Planificación del grupo de Diagnóstico CTE

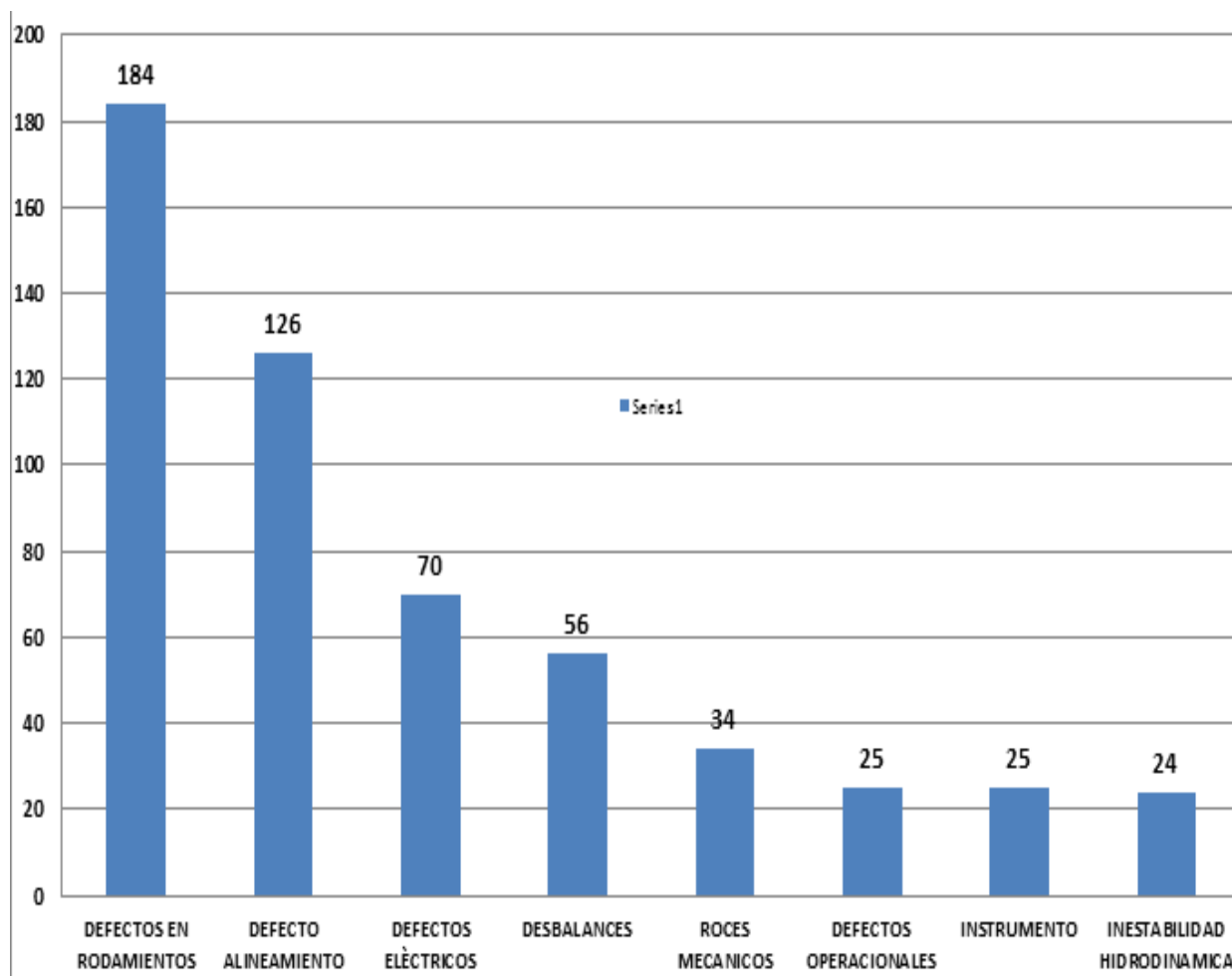
Al conocer el valor de las mediciones periódicas de las vibraciones en los sistemas se procede a realizar el análisis técnico-económico del Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado y del Diagnóstico.

3.7 Resultados técnico-económicos obtenidos a partir de la aplicación del Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado y del Diagnóstico

El resultado del control de las averías y su organización por sistemas observados en el Anexo 8, ha permitido realizar valoraciones técnicas, como las mostradas en la figura 3.4 representadas en gráfico de barra, donde se observa de manera clara el comportamiento de los defectos en los sistemas, con la aplicación del diagnóstico durante el período 2010 al 2016, deduciéndose de este análisis el control y la efectividad del diagnóstico en equipos roto-dinámicos a partir de la aplicación de técnicas como las descritas en los ejemplos del Capítulo II.

Figura 3.4

Análisis de defectos asociados a parámetros de síntomas en los sistemas

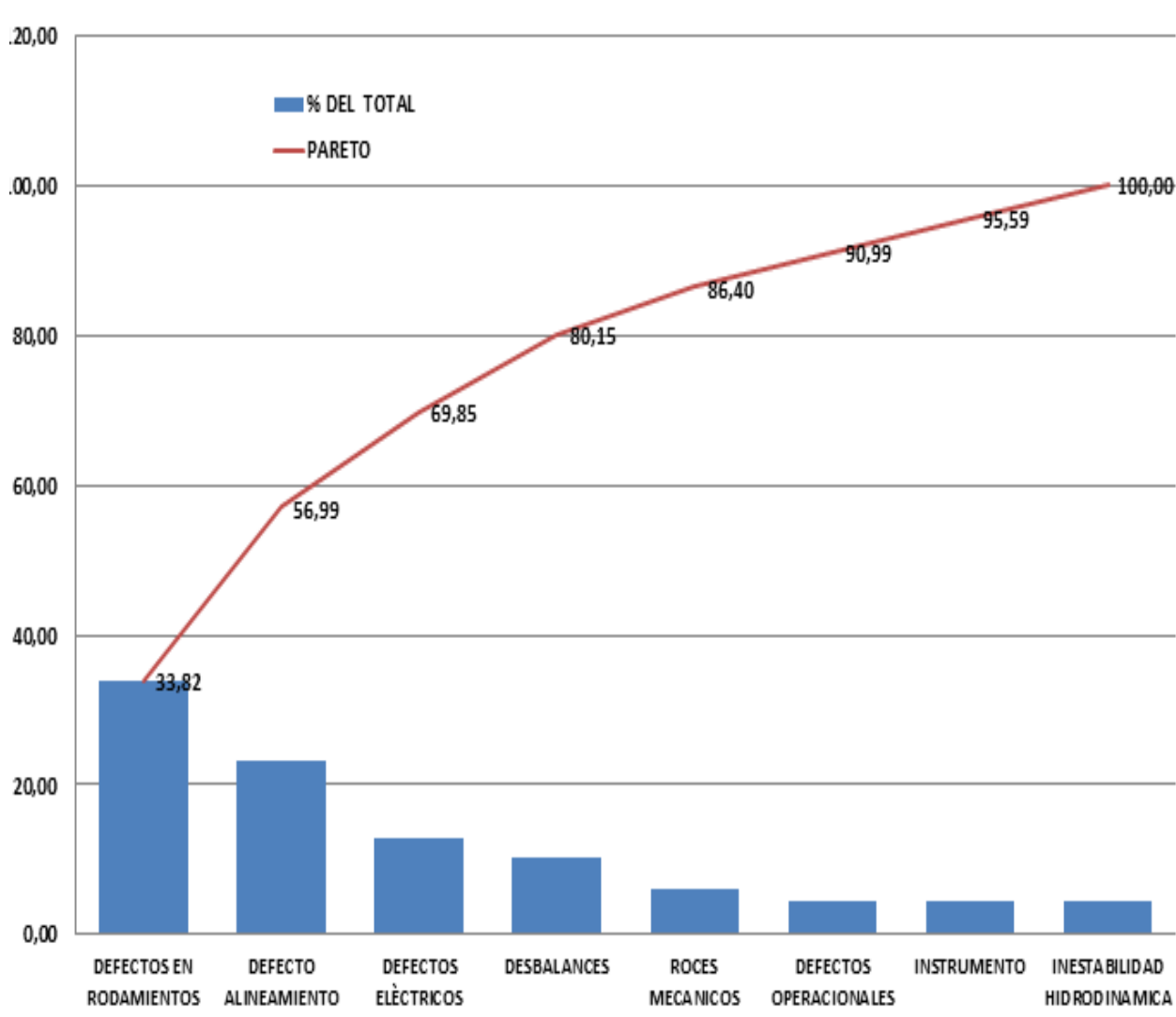


Nota: Tomado de Planificación del grupo de Diagnóstico CTE

La figura 3.5 nos permite conocer a partir de la técnica de Pareto cuales son los defectos por sistemas de mayor influencia como: defectos en alineamientos, eléctricos, desbalances y rodamientos los cuales constituyen los de mayor incidencia.

Figura 3.5

Aplicación de la técnica de Pareto para la determinación de defectos



Nota: Tomado de Planificación del grupo de Diagnóstico CTE

3.7.1 Resultados técnicos, valoración cuantitativa de la aplicación del diagnóstico

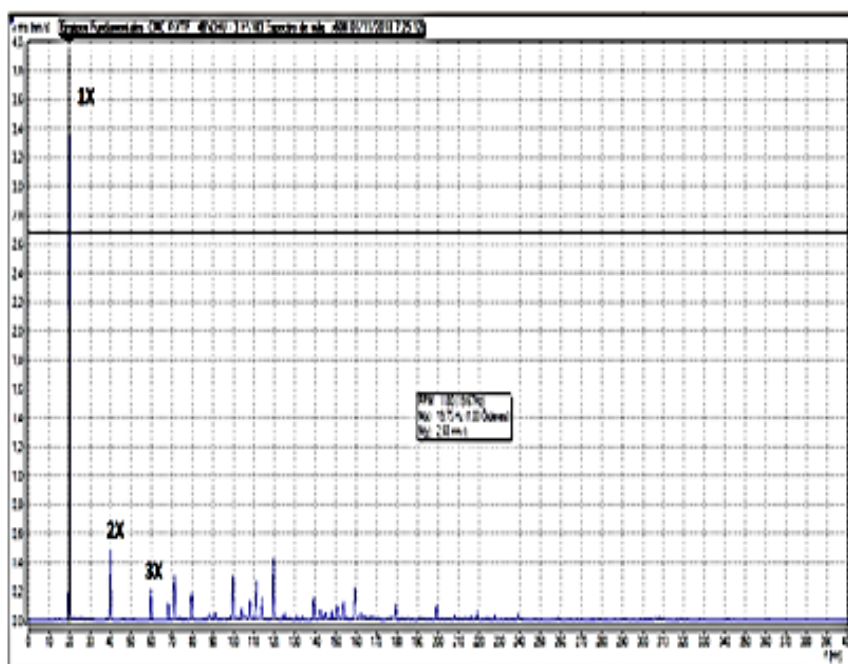
El estudio de vibraciones permite según el análisis de los espectros, determinar qué tipo de falla se viene manifestando, lo que permite planificar acciones de mejoras de los parámetros o mantenimientos, direccionado a la falla en cuestión, así como determinar si es preciso detener el equipo o puede ser resuelta con este en servicio.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de los diferentes comportamientos espectrales que se manifiestan en los equipos dinámicos, producto a los efectos que se producen durante su explotación.

Esta información permite realizar los análisis específicos, teniendo en cuenta las mediciones de los parámetros de estados, en condiciones normales de funcionamiento, los aspectos de parámetros según el fabricante y el comportamiento según las mediciones que se realizan periódicamente.

Figura 3.6

Resultados de análisis espectral Chumacera 3 VTF 4B



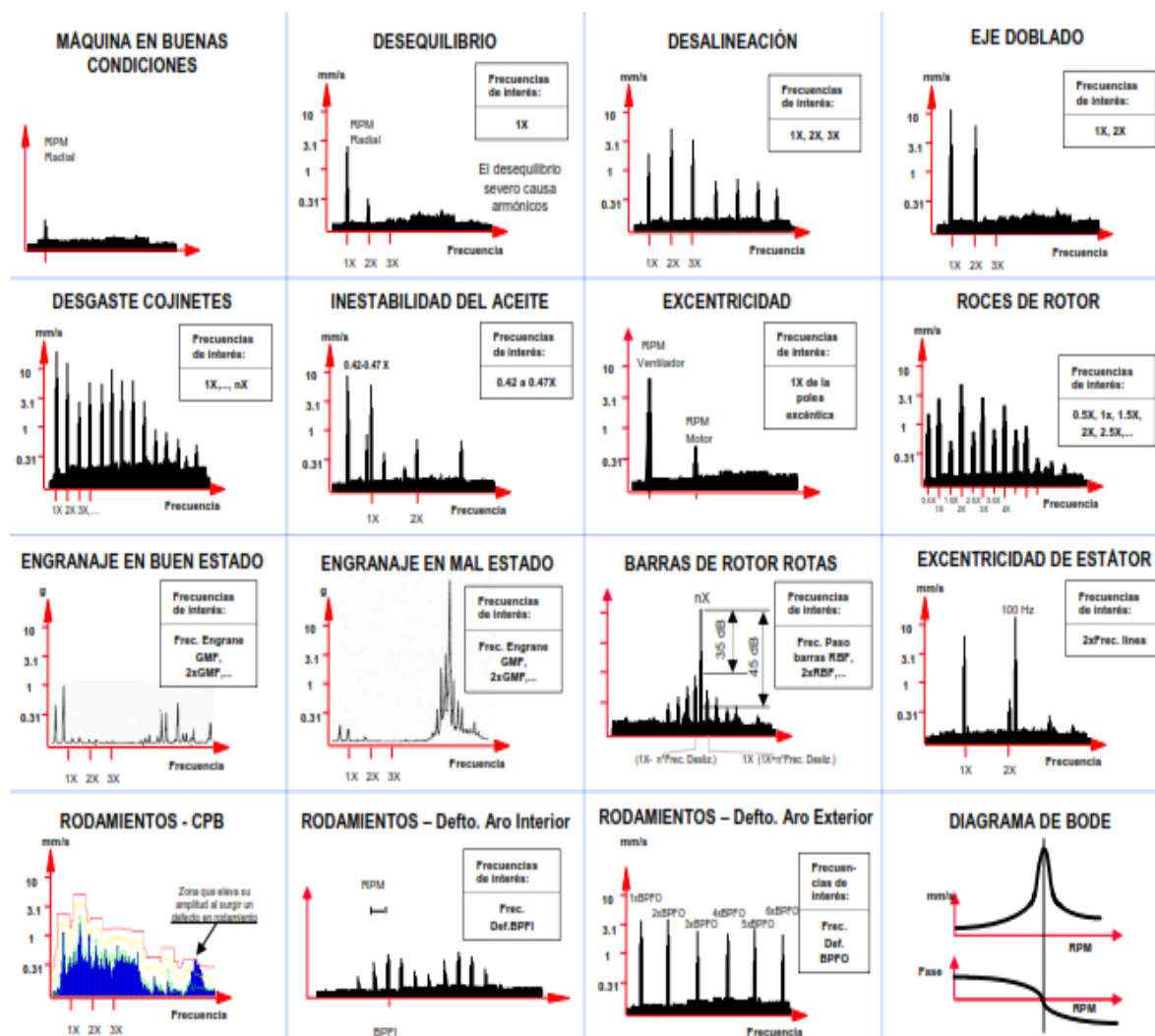
Ordenes	Amplitud
Hz	mm/s
1X	3.35
2X	0.49
3X	0.22

Nota: Tomado de Planificación del grupo de Diagnóstico CTE

Según la interpretación de espectros (ver Figura 3.7) se puede observar que con los resultados arrojados en la figura 3.6 el defecto presente tiende a ser el desalineamiento.

Figura 3.7

Guía de interpretación de espectros



Nota: Tomado de Planificación del grupo de Diagnóstico CTE

3.7.2 Resultados económicos de la aplicación del Mantenimiento por Diagnóstico según estados a equipos categoría B

Es evidente que el criterio de ahorro a partir de una evaluación de la rentabilidad de una inversión, es el que nos da un criterio certero de la efectividad de la aplicación del sistema de mantenimiento por diagnóstico según estado, para ello fue necesario realizar un inventario en términos de costo por averías, después de la implantación del Mantenimiento por Diagnóstico, resultados que se sintetizan durante el desarrollo de este epígrafe.

La presente evaluación económica se realiza a partir de la comparación entre la aplicación del Mantenimiento Preventivo Planificado y el Mantenimiento por Diagnóstico, según estado con un

Sistema de Mantenimiento por Diagnóstico que tiene mayor incidencia en la detección de las posibles fallas ocurridas en los sistemas de trabajos de equipos rotatorios, siendo similares en lo referido a producción de valores (MW) y costos promedios de producción en pesos.

En la tabla 3.5, aparecen los datos de pérdidas por energía indisponible que nos permiten realizar la valoración económica de los cambios realizados en el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado y Diagnóstico a equipos de categoría A y B estudiados en la tabla 3.1.

Tabla 3.5

Por ciento de indisponibilidad de los sistemas por paradas por mantenimientos

Equipos.	Indisponibilidad % MW	Cantidad de equipos
Ventilador Tiro Forzado	50 %	4
Bomba Agua Alimentar	50 %	6
Bomba Circulación	50 %	4
Bomba de condensado	50 %	4
Turbinas	100 %	2

Nota: Elaboración propia

3.8 Análisis del elemento costo de mano de obra, del Sistema de Ventilador de Tiro Forzado (VTF) del MPP y Diagnóstico

A continuación se muestran en las tablas 3.6 y 3.7, el análisis del elemento costo de mano de obra, de la ficha de costo de mantenimiento, del Sistema de Ventilador de Tiro Forzado (VTF) del MPP y Diagnóstico.

Donde en el MPP laboran 2 Mecánicos de Mantenimiento A y 1 Mecánico de Mantenimiento B, se trabaja con un total de 334 horas.

En el Mantenimiento Predictivo laboran 2 Especialistas de Mantenimiento Industrial A, se trabaja con un total de 6 horas.

Las unidades deben trabajar con la carga 255 MWh al 50% equivalente a 127.5 MWh.

El Costo del MW promedio actual es de \$ 2 270.80.

Precio 2 265.00 \$ / MW.

Costo 2 239.00 \$ / MW.

Diferencia 26.00 \$ / MW (utilidad).

El Costo de Mano de obra se resume como Importe x Cantidad de Obreros x Vacaciones acumuladas.

Vacaciones acumuladas: 9.09 %.

Importe (salario devengado) se resume como Tarifa horaria x Tiempo Real Trabajado.

Tiempo Real Trabajado: 334 h.

Tarifa horaria se resume como salario básico / 190.6 h.

196.6 h equivale a 7.9 h / día x 24 días / mes

Tabla 3.6

Costo de mano de obra del Sistema de Ventilador de Tiro Forzado (VTF) MPP

Tipo de Mantenimiento: MPP						
Sistema: Ventiladores de Tiro Forzado (VTF)						
Mano de Obra						
Categoría	Salario básico	Sal/Hrs/190.6	Tiempo Real Trabajado (Hrs)	Importe	Cantidad	Costo
Mecánico Mantenimiento A	\$ 5 627.00	29.5226	334	\$ 9 860.5351	2	\$ 19 721.07
Mecánico Mantenimiento B	\$ 5 379.00	28.2214	334	\$ 9 425.9496	1	\$ 9 425. 94
						29 147.01 x 9.09%
Total						\$ 2 649.46

Nota: Elaboración propia

Tabla 3.7

Costo de mano de obra del Sistema de Ventilador de Tiro Forzado (VTF) Mantenimiento Predictivo (Diagnóstico)

Tipo de Mantenimiento: Predictivo (Diagnóstico)						
Sistema: Ventiladores de Tiro Forzado						
Mano de Obra						
Categoría	Salario	Sal/Hrs/190.6	Tiempo Real Trabajado (Hrs)	Importe	Cantidad	Costo
Esp. Mto. Industrial A	\$ 7 277.00	38.1794	6	\$ 229.0766	1	\$ 229.08
Esp. Mto. Industrial A (J.G.)	\$ 8 349.00	43.8038	6	\$ 262.8228	1	\$ 262.82
						491.90 x 9.09%
Total						\$ 44.71

Nota: Elaboración propia

Por consiguiente se muestra un resumen del total de los costos de mano de obra por mantenimientos, quedando claro que el resultado es favorable para la aplicación del Mantenimiento por Diagnóstico, el cual asciende a \$ 4 292.16, representando aproximadamente el 40.5 % del MPP, equivalente a un ahorro de \$ 6 305.68 al año en el sistema VTF (ver tabla 3.8).

Tabla 3.8

Resumen por Costos de mano de obra por Mantenimientos

Mantenimientos	Costo mano de obra	Cantidad de Equipos	Frecuencia anual	Costo Total
MPP	\$ 2 649.46	4	1	\$ 10 597.84
Diagnóstico	\$ 44.71	4	24	\$ 4 292.16
Diferencia				\$ 6 305.68

Nota: Elaboración propia

Se analiza con la aplicación del MPP las utilidades brutas dejadas de ingresar por el tiempo en que la planta se encuentra limitada o en parada, resumiéndose como:

Tiempo real trabajado (334 h) x la capacidad de generación limitada (127,5 MWh) x 26 pesos de utilidad, equivale a \$ 1 107 200.00.

Tabla 3.9

Utilidades brutas dejadas de ingresar

Tiempo Real Trabajado (Hrs)	Capacidad de generación limitada (MW)	\$ de utilidad	Utilidad bruta dejada de ingresar (\$)
334	127.5	26	\$ 1 107 200.00

Nota: Elaboración propia

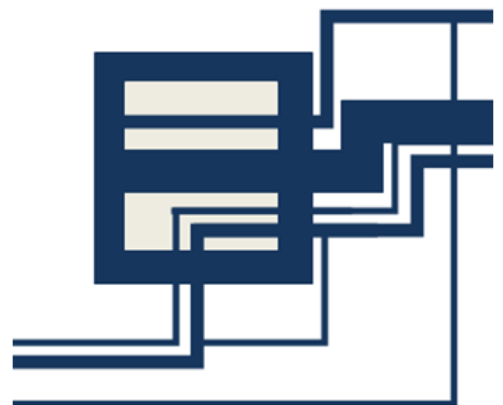
Demostrando que el Mantenimiento por diagnóstico es menos costoso, más efectivo, le ahorra al país la diferencia de salario entre ambos mantenimientos además de la utilidad bruta dejada de ingresar. Añadiendo que durante la parada del equipo, para la aplicación del MPP, el Sistema Eléctrico Nacional tiene que suplir la generación con grupos electrógenos y plantas menos eficientes, ocasionando al país mayores gastos.

3.9 Conclusiones parciales

En el presente capítulo se evaluó siguiendo los pasos de la metodología propuesta:

1. El diagnóstico del sistema organizativo actual en la CTE CMC donde se detectaron los problemas fundamentales.
2. Se desarrolló un análisis para la selección y categorización de los equipos más acertados atendiendo a su nivel de importancia técnico-económico dentro del proceso.
3. Se aplicó un conjunto de métodos y técnicas para la determinación de parámetros de estados y equipos a evaluar atendiendo a la cantidad de defectos por sistemas (Pareto).
4. Se demostró mediante los resultados técnico-económicos que con el plan MPP los desarmes de equipos son innecesarios sin un previo análisis del estado de explotación y funcionamiento del mismo.

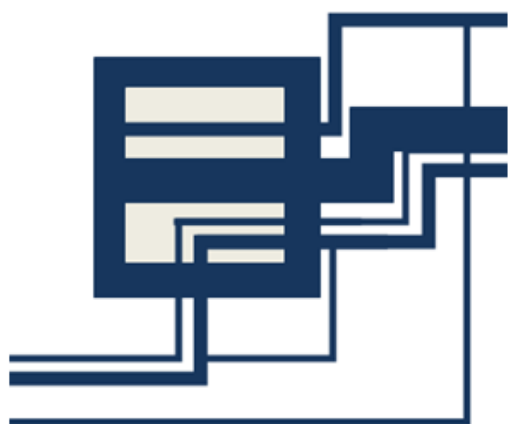
CONCLUSIONES GENERALES



Conclusiones generales

1. Se desarrolló un marco teórico referencial que permitió establecer el estado de la ciencia en el tema objeto de estudio mediante una recopilación bibliográfica donde se estudió la situación y formas organizativas actuales del mantenimiento en la industria. Conceptualizando elementos del diagnóstico, parámetros de estado, vibraciones y las reparaciones, que permiten lograr la comprensión de la metodología propuesta en este trabajo.
2. Se diseñó la Metodología para la factibilidad técnico-económica de Sistemas de Mantenimiento a aplicar en Centrales Eléctricas, la cual facilita el estudio de la situación actual de la gestión del mantenimiento, desarrollando las etapas para la aplicación del control de dichos sistemas, validado en la CTE CMC Cienfuegos.
3. Se validó la metodología en la CTE CMC Cienfuegos donde se demostró que la aplicación de las técnicas del diagnóstico trae aparejada consigo la mejora de la calidad en las reparaciones ya que se logran disminuir considerablemente las averías por defectos, como por ejemplo, desalineamientos en equipos a partir de su detección predictiva e introducción de su realización in situ en cada equipo que lo requiere.
4. La aplicación de la metodología para su validación en la CTE CMC Cienfuegos, ha demostrado que, la ejecución del mantenimiento por diagnóstico o mantenimiento flexible, es más ventajoso que aplicar solamente el mantenimiento preventivo planificado (MPP), teniendo en cuenta que al no realizar necesariamente la parada de los equipos, disminuye considerablemente los gastos de fuerza de trabajo, recursos materiales, gastos indirectos y por ende la pérdida de una cantidad considerable de energía disponible en el año, representando, en el ejemplo de estudio analizado, el 60 % de reducción del costo de mano de obra, y 1 107.2 MP de utilidad bruta dejada de ingresar.

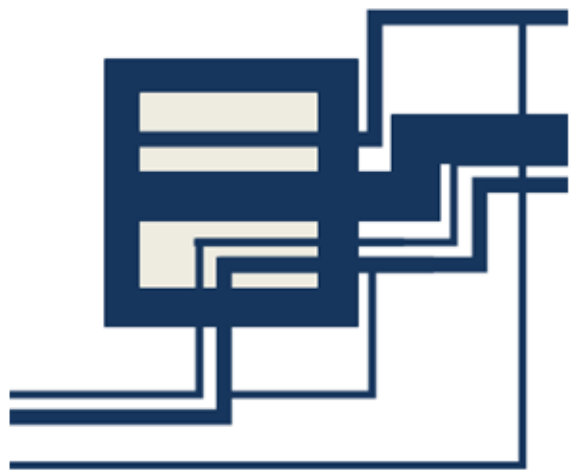
RECOMENDACIONES



Recomendaciones.

1. Seguir profundizando en el análisis de vibraciones de todos los equipos dinámicos de la CTE CMC, hasta llegar al conocimiento de la causa raíz de las fallas y poder accionar sobre estas para su erradicación.
2. Crear una base informativa de los análisis realizados a cada equipo y los resultados de la detección de los defectos, que sirva de guía para todo el personal del grupo de diagnóstico e interés del personal de mantenimiento.
3. Extender el análisis efectuado a todos los sistemas de equipos de la planta, tomando como referencia todos los elementos de la ficha de costo, para obtener un resultado más completo de los valores del costo del mantenimiento y conocer las pérdidas totales del mismo en la empresa.
4. Continuar la capacitación del personal del grupo de diagnóstico y planificación como forma de seguimiento y ganancia desde el punto de vista de perfeccionamiento en la actividad.
5. Elevar a la máxima dirección de la UNE, la metodología propuesta y su validación, para su análisis y aprobación a través del Consejo técnico asesor y posterior generalización en el resto de las centrales eléctricas del país.

BIBLIOGRAFÍA



Bibilografia

- Alarcón Quiñonez, B. A., & Romero Montenegro, D. M. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una empresa productora y comercializadora de harina y aceite de pescado ubicada en la ciudad de Santa Elena*. (Tesis de Grado). Universidad de Santa Elena.
- Alkaim, J. (2003). *Metodología para incorporar conocimiento intensivo*. (Tesis Doctoral). Universidad Federal de Santa Catarina.
- Andrade Solórzano, C. L., & Herrera Suárez, M. (2021). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. 4(8), 2-18.
- Arevalo, R. (2019). *Medición y análisis de vibraciones, evaluación, norma ISO10816-6*. CIDIN.
- Arias, A. (2006). *Un modelo de gestión de mantenimiento hacia la exelencia*. (Ponencia). V Congreso Cubano de Mantenimiento, La Habana. Cuba
- Ayabaca Sarría, C., Merino Criollo, M., Romero Granda, G., Zurita Moreno, E., Reina Guzmán, S., Venegas Vásconez, D., & Vila Pastor, C. (2022). *Desarrollo de una metodología experimental por análisis de vibraciones y ultrasonido para detección de fallas mecánicas en motores de combustión de unidades generadores eléctricas*.
- Ballesterro Roble, F. (2017). *La Estrategia predictiva del mantenimiento industrial*. <file:///C:/Users/ecruz/AppData/Local/Temp/la-estrategia-predictiva-en-el-mantenimiento-industrial-2017---pdf-26-mb.pdf>
- Batista Prendes Jesús. (1987). *Curso de Vibraciones y balance Dinámico de Maquinas Rotatorias*. La Habana.
- Batista Rodriguez, C. (2000). *Contribución al diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento para los centrales azucareros cubanos*. (Tesis de Doctoral). Universidad ISJAE.
- Borroto Pentón, Y. (2005). *Contribución al mejoramiento de la gestión del Mantenimiento en Hospitales en Cuba*. (Tesis Doctoral). Universidad de Santa Clara.

- Cabrera Centurión, J. G. (2021). *Diseño de un módulo educativo para el estudio de las vibraciones mecánicas mediante la variación de los parámetros inercia, rigidez y fuerza de excitación*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/19450>
- Cabrera Meza, J. D. (2020). *Mantenimiento preventivo de las máquinas rotativas de los laboratorios de las UTS Barrancabermeja empleando análisis de vibraciones*. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/3635>
- Casaña Medel, J. C., de la Rosa Andino, A. A., Macías Socarrás, I., Morales Tamayo, Y., Zamora Hernandez, Y. K., & Aguilera Corrales, Y. (2021). El mantenimiento a partir de los indicadores de clase mundial en la fábrica Lácteos Bayamo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(3).
- Castillo Morales, G. (1999). *Mantenimiento a Equipos, Máquinas e Instalaciones*. Cienfuegos.
- Cárcel, F. J. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Chaviano Bernal, S., & Fernández, S. (2004). *Factibilidad Técnico-Económica de la Introducción del Sistema del MBC en Equipos Rotó dinámicos*. (Tesis de Grado) Universidad de la Habana.
- Chaviano, O & Fernández, A. (2009). *Determinación del costo de mantenimiento en la empresa Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes” de Cienfuegos*. Universidad de Cienfuegos
- Chaviano, O., & Nuñez, M. (2010). *Procedimiento para determinar el costo de la actividad de mantenimiento en la Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas UEB*. UEB
- Climent, C. C. (2017). *Elaboración de un plan de mantenimiento para planta de extrucción de plástico*. riunet.upv.es.
- Corrales, A. (1993). *Reflexión sobre el mantenimiento en las industrias modernas*. España.
- Correa Soto, J. (2021). *Instrumento metodológico para la gestión energética en los órganos de gobierno en Cuba*. (Tesis doctoral). Universidad de Cienfuegos.
- De la Paz Martínez, E. M. (1997). *Técnica de Fiabilidad y Especialización en gerencia de mantenimiento*. Universidad de Las Villas.
- 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. *Revista ingeniería mecánica*, 11(1), 69-76.

De León Ramírez, E. M. (2021). *Diseño de investigación para la propuesta de un plan de mantenimiento predictivo con base en normas ISO 17359: 2011 aplicado a los componentes críticos de un cuarto frío para empresas exportadoras de hortalizas de Guatemala*. (Tesis Doctoral). Universidad de San Carlos de Guatemala.

Díaz, S. (1994). *Medición y análisis de vibraciones*. IWA PUBLISHINE.

Fabro, E. (2003). *Modelo Para Planejamento de manutencao baseado em indicadores de criticidade de processo*.

Fernández García, S. (1994). *Metodología para la introducción del Diagnóstico Integral para Centrales y Sub-Estaciones Eléctricas*. La Habana.

García, G., & Quijano. (2004). *Mejora en la Confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica, desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo*. (Tesis de Maestría). Universidad Pontificia Comillas, Madrid.

García Saboya, S. G., & Muñoz Camones, A. J. (2019). *Análisis de metodologías del mantenimiento preventivo en el sector industrial*.

González Pérez, Raúl, & Rolo Naranjo Alberto. (1996). *Etapas para la Implementación del mantenimiento Predictivo y por Diagnóstico en Máquinas Rotatorias*. La Habana.

Guevara Gaibor, M. C., & Landa Díaz, L. M. (2019). *Análisis de vibraciones en el motor de combustion interna J20-A A través de simulación de modos de fallas para contribuir el mantenimiento predictivo (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo)*.

IRD. Mechanalysis. (1998). *Manual de Instrucciones para capacitación del cliente*. Madrid.

Jaramillo, P. (2004). *El Futuro de la Función de Mantenimiento*. <http://www.sopORTEYSIA.com.co>.

Jeira, & Gibson. (2004). *Aspectos Generales Sobre La gestion Del Mantenimiento*. Organización De Esta Actividad y Sus Respnsabilidades.

Leiva Castro, D.,(1996). *Metodología y diseño para la implantación del Sistema Alternativo de Mantenimiento a Equipos Rotatorios en la C.T.E Carlos M. De Céspedes Cienfuegos*. (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos.

- Marrero Hernández, R. A., Vilalta Alonso, J. A., & Martínez Delgado, E. (2019). Modelo de diagnóstico-planificación y control del mantenimiento. *Ingeniería Industrial*, 40(2), 148-160.
- Martínez Galindo, P., & Casas Nebra, R. J. (2019). Mantenimiento predictivo; estado del arte y desarrollo de herramienta para monitorización.
- Miranda Salinas, Y. R. (2020). *Implementación de un plan de mantenimiento predictive por análisis de vibraciones en equipos rotativos críticos en la central termoeléctrica Santo Domingo de los Olleros*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25115>
- Morrow, L. (1973). *Manual de mantenimiento industrial:organizacion, ingeniería mecánica, eléctrica, química, civil, procesos y sistemas*. Continental.
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Ellman, Suerio y Asociados.
- Mundarain Castañeda, C. H. (2009). *Diseño de un Programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos*. (Tesis de Grado). Universidad de Puerto La Cruz.
- Pérez González, A. (2021). *Disponibilidad y eficiencia de equipos dinámicos mediante el análisis de vibraciones como parte del mantenimiento predictivo en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos*. (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos.
- Pérez Rondón, F. A. (2021). *Conceptos generales en la Gestión del mantenimiento industrial*. Ediciones USTA. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Portuondo Pichardo, F. (1994). *Selección y diseño de un sistema de mantenimiento*. Pueblo y Educación.
- Ramírez Pino, J. (2021). *Preliminares en la implementación de la gestión de la ingeniería del mantenimiento al sistema de transporte de la Empresa de Logística Azumat Sucursal Matanzas*. (Tesis de Grado). <https://rein.umcc.cu/handle/123456789/1857?show=full>
- Ramos, M. G. M., Lozano, B. Y. P., & Suárez, H. N. L. (2020). Implementación de mantenimiento preventivo y predictivo a los equipos del proceso de producción en la empresa EQUIACEROS SAS. *Ingenio Libre*, 8(18), 70-77.

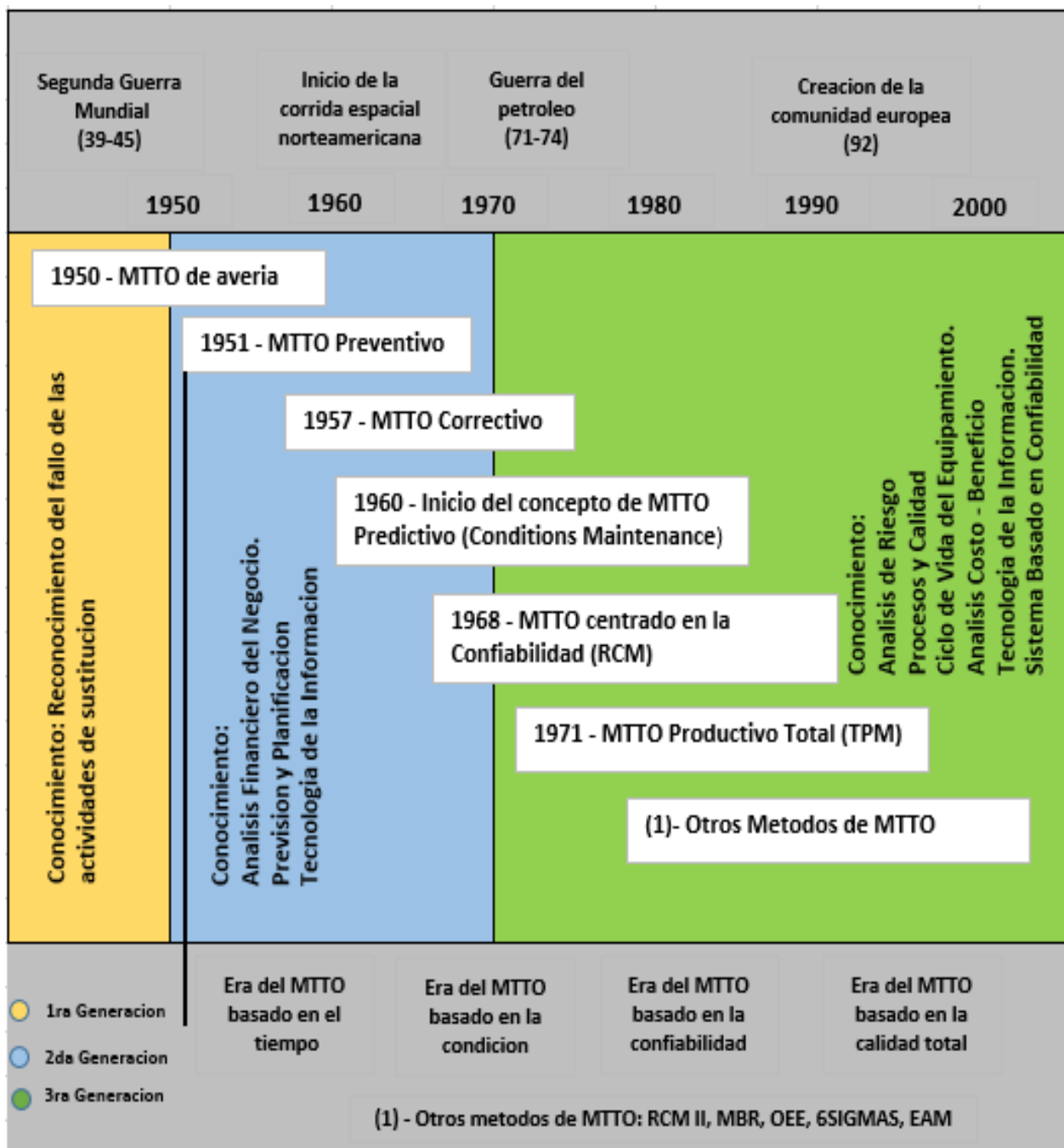
- Ríos Doylet, J. L. (2022). *Estudio técnico-económico para la creación de un centro de diagnóstico remoto de vibraciones mecánicas en la Empresa Hivimar SA en la ciudad de Guayaquil*. (Tesis Doctoral). Universidad de Guayaquil.
- Rivera, A. G. (2022). *Diseño de un absorbedor de vibración de alto rendimiento dinámico basado en inersor y rigidez negative conectado a una estructura tipo viga*. (Tesis Doctoral). Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Robles Sangurima, J. A. (2022). *Análisis de vibraciones torsionales de elementos oscilantes en un motor de combustión interna como aporte al monitoreo de la condición de automotores*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
- Ruano González, C. M. (2023). Metodología para el diagnóstico y la gestión de mantenimiento en las subestaciones eléctrica de los grupos de generación distribuida. C & T Riqchary. *Revista de investigación en ciencia y tecnología*, 5(1), 23-28.
- Sierra, J. G., Carrasco, F. J. C., & Valencia, J. M. (2019). Importancia del mantenimiento, aplicación a una industria textil y su evolución en eficiencia. 3c Tecnología. *Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 8(2), 50-67.
- Striker, P. (2010). Bringing social justice back in: Cuba revitalizes sustainable development. *Local Environment*, 15(2), 185-197.
- Suiza. ISO 10816. (2009). Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating. Ginebra.
- Suiza. ISO 2041. (2009). *International Standard Organization. Vocabulary on Mechanical Vibration, Shock and Condition Monitoring*.
- Trocel, D. (2007). *Implementando un efectivo Programa de Mantenimiento Basado en Condición*. Centro de formación técnica para la industria
- Villar Ledo, L., Díaz Concepción, A., Infante Abreu, M. B., Vilalta Alonso, J. A., Alfonso Álvarez, A., & Rodríguez Soto, Á. A. (2022). Análisis de herramientas para el diagnóstico de la gestión del mantenimiento. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(1), 493-510.
- Vizcarra Aguayo, G. (2019). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo en las instalaciones eléctricas del Parque Metropolitano La Muralla*. Centro de formación técnica para la industria

White, G. (2010). *Introducción al análisis de vibraciones*. Azima DLI.



Anexo 1

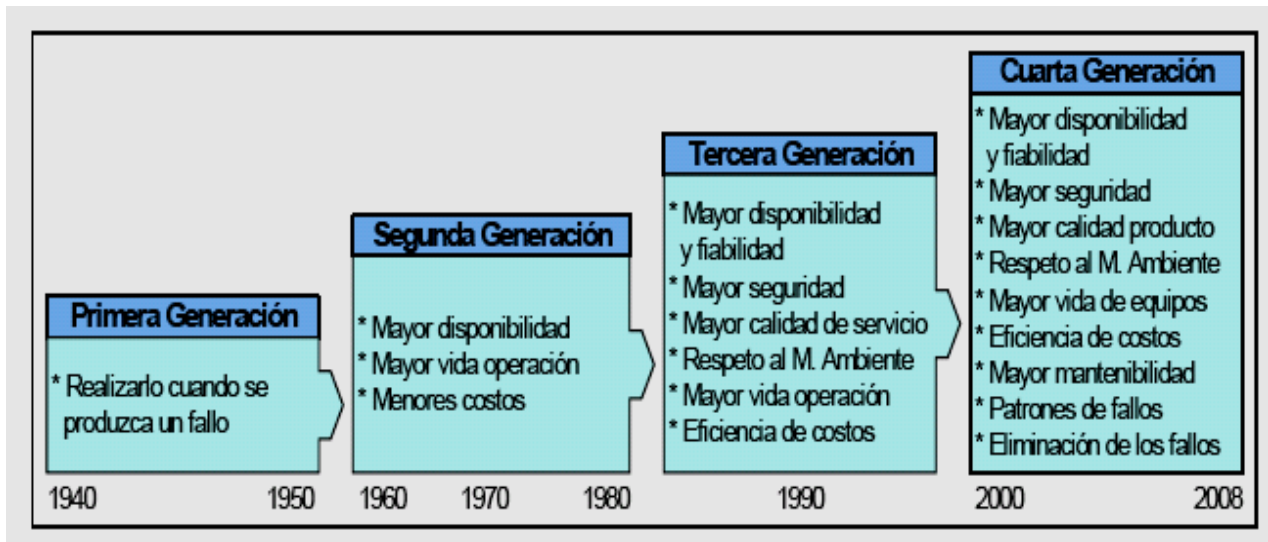
Síntesis evolutiva del mantenimiento



Nota: Alkaim (2003)

Anexo 2

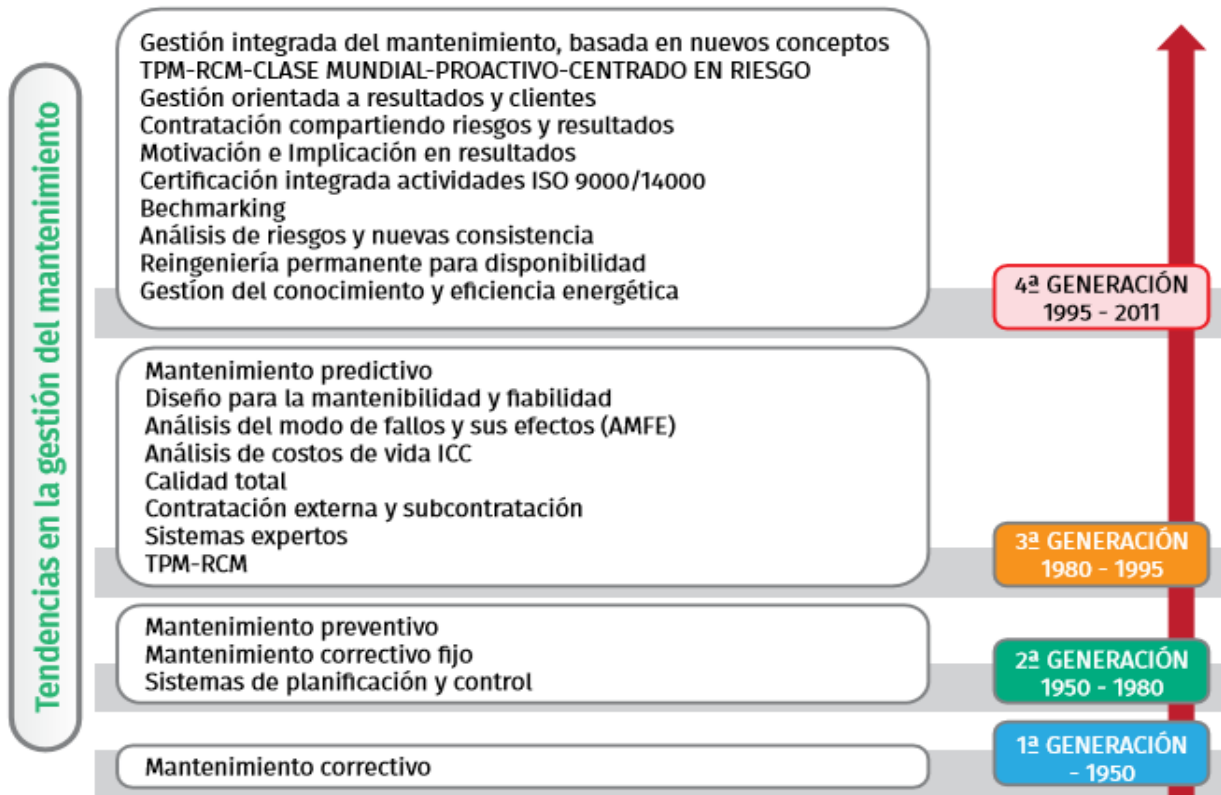
Evolución de las expectativas del mantenimiento



Nota: García & Quijano (2004)

Anexo 3

Evolución de las técnicas del mantenimiento



Nota: Cárcel (2014)

Anexo 4

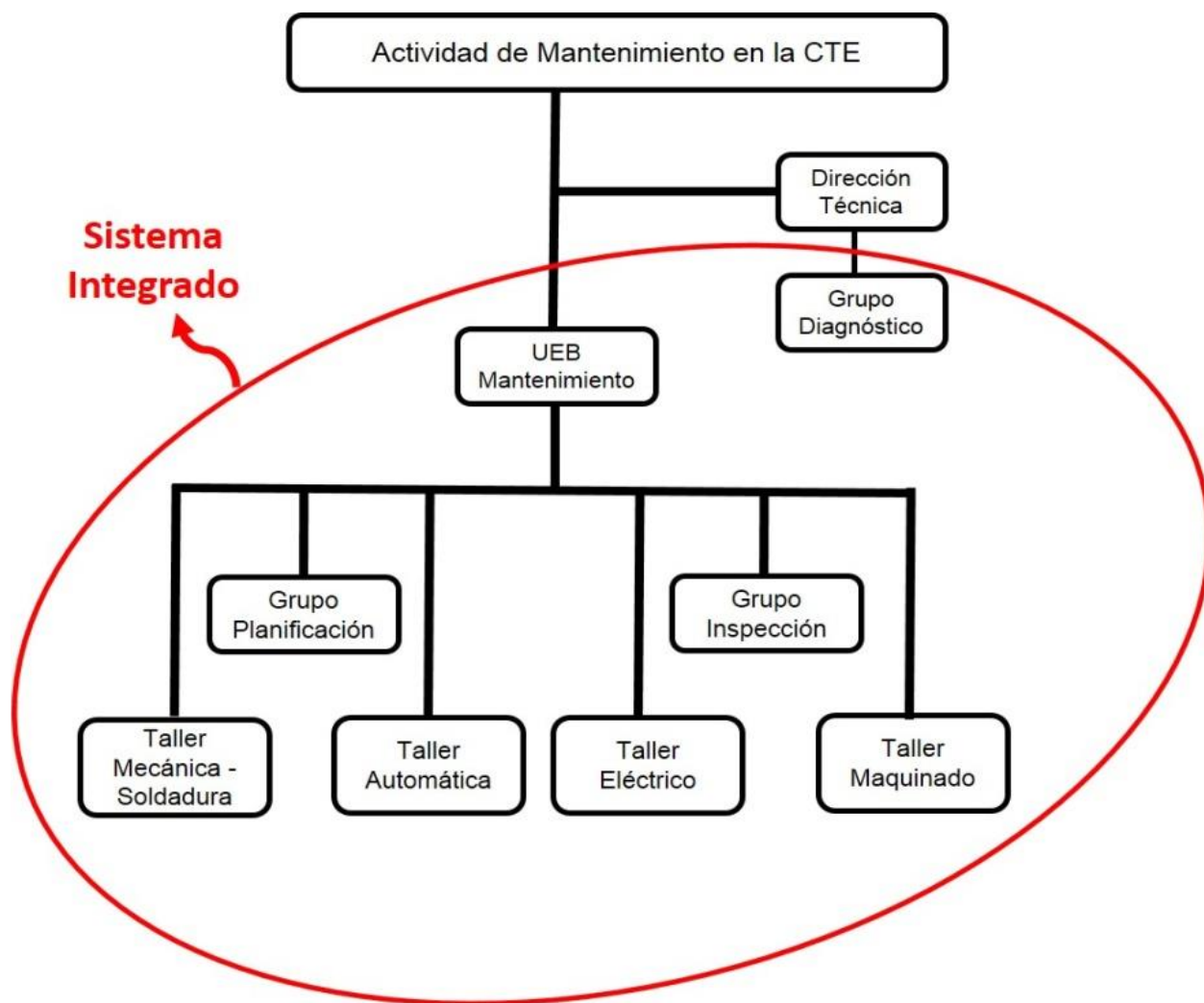
Organigrama general de la empresa



Nota: Tomado del Sistema interno de la CTE

Anexo 5

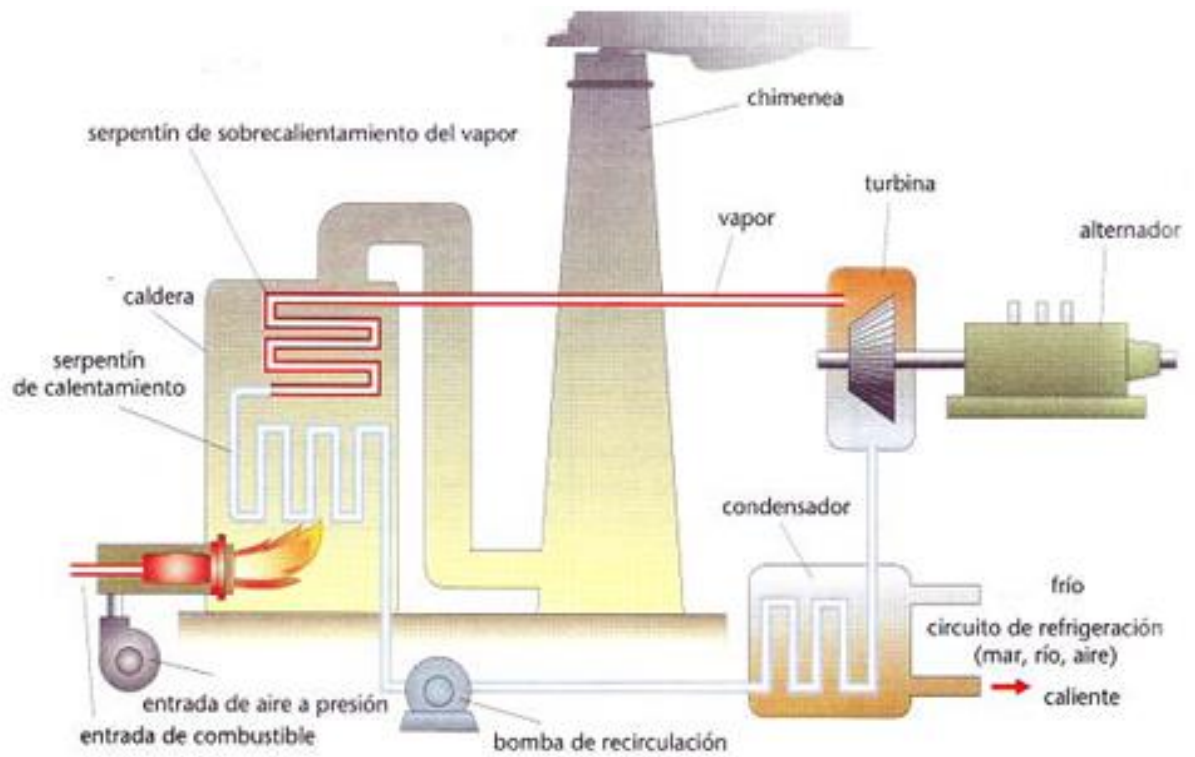
Estructura de la actividad de mantenimiento en la CTE



Nota: Pérez (2021)

Anexo 6

Esquema general de una central térmica



Nota: Pérez (2021)

Anexo 7



VIBXpert II
Costo: \$ 38 048.74

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)



Ultraprobe 2000.
Costo \$ 4 000.00

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



Espectrómetro pmi master pro \$
82 401.23

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.

1. Análisis de materiales almacenes.
2. Análisis de materiales para soldar.
3. Análisis de piezas de repuestos a fabricar por maquinado



Medidor de espesores
costo \$ 1 088.57

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.



Cámara termográfica
Costo: \$ 25 935.86

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.