

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



***“IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE UNA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 40 MW”***

**INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

ISRAEL RUBÉN SALINAS GARCÍA

PROMOCIÓN 2005-II

LIMA – PERÚ

2010

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	3
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Alcances.....	4
1.4. Limitaciones.....	5
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Evolución del Mantenimiento.....	6
2.1.1. La primera generación.....	7
2.1.2. La segunda generación.....	7
2.1.3. La tercera generación.....	8
2.1.4. Participación de los departamentos.....	12
2.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.....	13
2.2.1. Siete preguntas para construir un MCC.....	14
2.2.2. Funciones y estándares de comportamiento.....	16
2.2.3. Fallas funcionales.....	18
2.2.4. Modos de falla.....	19
2.2.5. Efecto o consecuencias de Falla.....	21
2.2.6. El proceso de selección de tareas MCC.....	23

2.2.7.	Aplicando el proceso MCC.....	25
2.2.8.	Resultados del análisis MCC.....	29
CAPÍTULO III		
IMPLEMENTACIÓN DEL MCC.....		30
3.1.	Definiendo el sistema.....	30
3.2.	Proceso de Implementación.....	31
3.3.	Aplicación de AMEF.....	33
3.4.	Tablas de Niveles AMEF.....	34
3.4.1.	Tabla de Nivel de Ocurrencia (NO).....	35
3.4.2.	Tabla de Nivel de Detección (ND).....	35
3.4.3.	Tabla de Nivel de Severidad (NS).....	36
3.4.4.	Tabla de Ponderación.....	37
3.5.	Evaluación del Mantenimiento Preventivo de un transformador de potencia.....	38
3.5.1.	Estudio del comportamiento del equipo.....	39
CAPÍTULO IV		
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		47
4.1.	Análisis de resultados.....	47
CAPÍTULO V		
ESTRUCTURA DE COSTOS.....		55
5.1.	Inversiones y costos de implementación.....	55
CONCLUSIONES.....		58
RECOMENDACIONES.....		60
BIBLIOGRAFÍA.....		61
PLANOS		
APENDICE		

PRÓLOGO

Mediante el presente informe se dan a conocer las pautas que deben tenerse en cuenta para realizar la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) en los equipos más críticos de una Central Hidroeléctrica, la cual, de manera regular ha llevado un programa de mantenimiento rutinario con tareas periódicas preventivas, pero en algunos casos ha tenido que afrontar situaciones difíciles tomando acciones reactivas.

En el capítulo I, se indican los antecedentes, los objetivos del informe, los alcances y las limitaciones que conllevan la implementación de la nueva herramienta de gestión del mantenimiento.

En el capítulo II, se presenta el marco teórico en donde se detallan: la evolución histórica del mantenimiento, los conceptos básicos del MCC, y el análisis de modos y efectos de fallas (AMEF).

En el capítulo III, se describe la forma de como se lleva a cabo la implementación de MCC en la central Hidroeléctrica, teniendo en cuenta los sistemas y subsistemas involucrados, además hace referencia a la codificación de los mismos.

En el capítulo IV, se hace una explicación sobre las estrategias del MCC y se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

En el capítulo V, se muestran los costos estimados de la implementación teniendo en cuenta la compra de equipos para mantenimiento predictivo y contrastación

Asimismo, se presentan las respectivas Conclusiones, Recomendaciones, la Bibliografía, Planos esquemáticos y como Apéndice: La codificación EBL utilizada para la elaboración del presente Informe.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La idea del mantenimiento está cambiando, debido a un aumento de mecanización, mayor complejidad de la maquinaria, nuevas técnicas de mantenimiento y un nuevo enfoque de la organización y de las responsabilidades del mismo.

El mantenimiento está reaccionando ante nuevas expectativas. Estas incluyen una mayor importancia a los aspectos de seguridad y del medio ambiente, un conocimiento creciente de la conexión existente entre el mantenimiento y la calidad del producto, y un aumento de la presión ejercida para conseguir una alta disponibilidad de la maquinaria al mismo tiempo que se optimizan, sin dejar de lado la premisa que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional.

Es precisamente en la carrera por sobrepasar las fronteras del mantenimiento tradicional que ocurre el desarrollo del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC).

1.1 ANTECEDENTES

La Central Hidroeléctrica en donde se implementará el MCC viene operando alrededor 40 años; mantiene una frecuencia de 12 meses para su mantenimiento mayor, cuenta con más del 50% de trabajadores empíricos (tanto en la operación como en el mantenimiento) y a consecuencia de esto sostiene un programa de mantenimiento rutinario basado en sus valiosas experiencias.

1.2 OBJETIVO

El objetivo del presente informe es implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad en una Central Hidroeléctrica de 40MW, y con ello reducir los costos de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, evitando o quitando acciones de mantenimiento rutinario, que no son estrictamente necesarias.

1.3 ALCANCES

La implementación toma énfasis en la idea de trabajo de grupo y calidad. Es por ello que los trabajadores serán elementos fundamentales en la implementación del sistema; estos recolectarán los datos que luego serán convertidos en información, de la siguiente manera:

- Selección del sistema y documentación.
- Definición de fronteras del sistema.
- Diagramas funcionales del sistema.
- Identificación de funciones y fallas funcionales.

- Construcción del análisis modal de fallos y efectos.
- Construcción del árbol lógico de decisiones.
- Identificación de las tareas de mantenimiento más apropiadas

1.4 LIMITACIONES

Las limitaciones que se presentan en la implementación del nuevo método, teniendo en cuenta una central hidroeléctrica su antigüedad son:

- Ausencia de la información física o información deteriorada de la planta.
- Dificultad en la definición de sistemas y funciones.
- Dificultad en implementar esquemas de reuniones cortas semanales y grupos de trabajo completos.
- Presupuesto de implementación menor con relación al tiempo de implementación.
- Rotación de gerentes y visión a corto plazo de los mismos.
- Mantener el grupo de trabajo durante toda la implementación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

La evolución del mantenimiento acontece por la imparable necesidad de ser cada vez más productivos. Se dice que el mantenimiento es un fenómeno dinámico y no estático, ya que está inmerso en continuos cambios, basta con reconocer que los equipos envejecen y otros son reemplazados, lo que determina cambios en las frecuencias de mantenimiento, además herramientas modernas, personal mejor capacitado y nuevas técnicas de trabajo acortan los tiempos de reparaciones.

Ante esta avalancha de cambios, los mantenedores están buscando por todas partes un nuevo enfoque al mantenimiento, una estructura estratégica que sintetice los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para que puedan evaluarlos sensiblemente y puedan aplicarlos probablemente para que sean el mayor valor de ellos y de sus compañías.

Desde 1930, la evolución del mantenimiento puede remontarse a través de tres generaciones. El MCC se está volviendo rápidamente en una piedra

angular de la Tercera Generación, pero esta generación sólo puede verse en perspectiva a la luz de la Primera y Segunda Generación.

2.1.1. La Primera Generación

La Primera Generación cubre el periodo hasta la Segunda Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que las paradas de servicio no importaban mucho. Esto significó que la prevención de fallas del equipo no tenía una prioridad muy alta en las mentes de la mayoría de los gerentes. Al mismo tiempo, la mayoría de los equipos eran simples y muchos de ellos estaban sobredimensionados. Esto los hizo fiables y fáciles de reparar. Como resultado, no había necesidad de un mantenimiento sistemático de cualquier clase más allá de una simple limpieza, servicios y rutinas de lubricación.

2.1.2. La Segunda Generación

Debido a la Segunda Guerra Mundial la demanda de bienes de todo tipo en el tiempo más corto y la baja disponibilidad de mano de obra industrial, llevó a que la mecanización aumentara, por tanto la industria comenzaba a depender de las máquinas, entonces el tiempo fuera de servicio y el tiempo de falla de las máquinas se tuvieron que prevenir lo que condujo al concepto de mantenimiento preventivo. En los años de 1960, esto consistió, principalmente, en reparaciones de los equipos hechos a intervalos fijos. El costo de mantenimiento empezó a subir en comparación a los costos operativos, esto llevó al crecimiento de los sistemas de planificación y control del

mantenimiento. Esto ha ayudado a tener al mantenimiento bajo control y es, ahora, una parte establecida de la práctica de mantenimiento.

2.1.3. La Tercera Generación

La tercera generación de mantenimiento tiene como características el aumento de la mecanización y que cada vez son más serias las consecuencias de las fallas de una instalación para la seguridad y/o el medio ambiente. Al final de la década de 1950, la aviación comercial mundial tenía más de 60 accidentes por millón de despegues. Dos tercios de los mismos fueron causados por fallas en los equipos. Esta elevada tasa de accidentalidad, encadenada con el auge de los viajes aéreos comerciales, indicaba que la industria tenía que empezar a hacer algo para mejorar la seguridad.

En esos días, "mantenimiento" básicamente significaba una cosa: reparaciones periódicas. La historia de la transformación del mantenimiento en la aviación comercial desde un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático, hizo de la aviación comercial "la forma más segura para viajar".

Las nuevas investigaciones han cambiado muchas de nuestras creencias más básicas sobre la edad y la falla. En particular, está claro que cada vez hay menos conexión entre la edad de operación de la mayoría de los recursos y cómo ellos probablemente fallen.

La Fig. 2.1, muestra cómo el antiguo punto de vista de la falla simplemente era que cuando las cosas envejecían, más probablemente fallaban. Un conocimiento creciente de “la mortalidad infantil” llevó a la creencia extendida en la Segunda generación sobre la curva de la “bañera”.

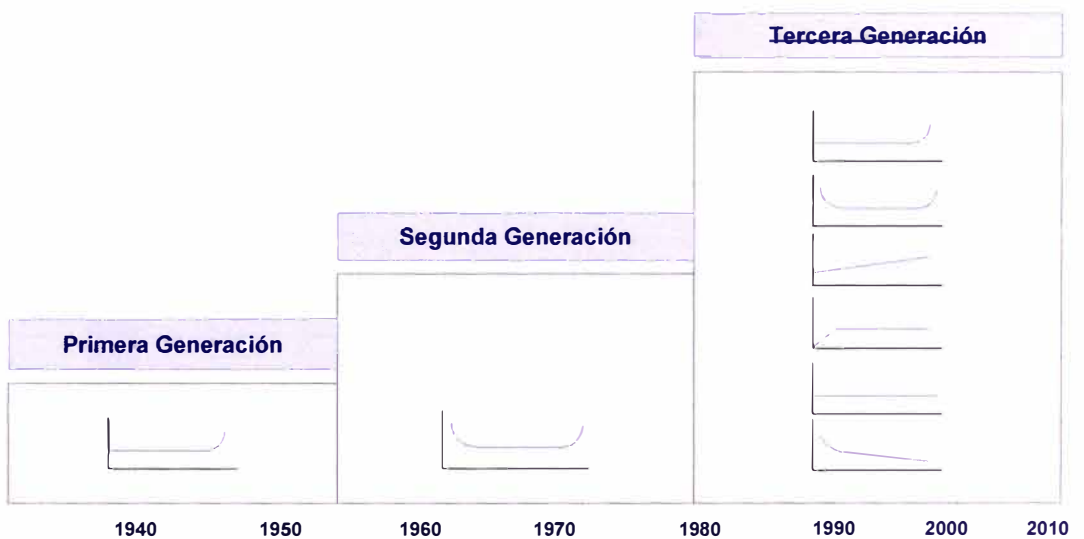


Fig. 2.1 Evolución de la Probabilidad de Falla vs. Vida útil del equipo.

También hubo un crecimiento explosivo en los nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento en los últimos años. Se han desarrollado centenares durante los últimos quince años.

Los equipos en general son más complejos de lo que era hace veinte años. Esto ha llevado a cambios sorprendentes en los modelos de falla, en la Fig. 2.2, se muestra la probabilidad condicional de falla versus la edad de operación para una variedad de componentes eléctricos y mecánicos.

El modelo A es la famosa curva de la bañera. Empieza con una incidencia alta de fallas (conocida como mortalidad infantil) seguido por una probabilidad condicional de falla constante o gradualmente creciente y luego por una zona de desgaste. El modelo B muestra un aumento constante o lento de la probabilidad condicional de falla, acabando en una zona de desgaste.

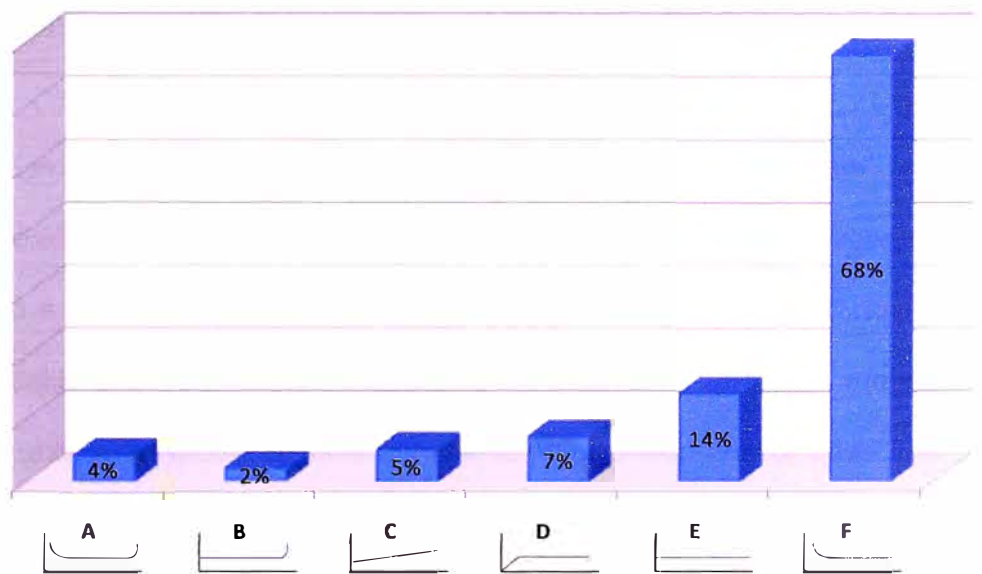


Fig. 2.2 Característica de falla en componentes de aeronáutica.

El modelo C muestra un aumento lento de la probabilidad condicional de falla, pero no hay ningún desgaste identificable por la edad. El modelo D muestra una baja probabilidad condicional de falla cuando el componente es nuevo o justamente al salir de la tienda y luego hay un aumento rápido a una nivel constante, mientras el modelo E muestra una probabilidad condicional constante de falla en todas las edades (falla del azar). El modelo F empieza con una mortalidad infantil alta que cae en el futuro a una probabilidad condicional de falla constante o con un aumento muy lento.

Estudios hechos en la aviación civil mostraron que el 4% de los componentes conforman el modelo A, 2% al B, 5% al C, 7% al D, 14% al E y no menos del 68% al modelo F. El número de veces que estos modelos ocurren en la aviación no es igual necesariamente en la industria. Pero no hay ninguna duda que cuando los recursos llegan a ser más complejos, vemos cada vez más modelos E y F.

Estos hallazgos contradicen la creencia que hay siempre una conexión entre la Confiabilidad y la edad de operación. Esta creencia llevó a la idea que cuanto más se repara un componente, es menos probable que este falle. Hoy día, esto raramente es verdad. A menos que exista un modo de falla dominante relacionado con la edad, los límites de edad hacen poco o nada para mejorar la Confiabilidad de los componentes complejos. En efecto, las reparaciones programadas realmente pueden aumentar la tasa de fallas global, introduciendo la mortalidad infantil en los sistemas estables.

La Fig. 2.3, muestra cómo el énfasis clásico en los sistemas de reparación y administración ha crecido, incluyendo muchos nuevos desarrollos en varios campos diferentes. Los nuevos desarrollos incluyen:

- Herramientas de apoyo para la toma de decisión, como estudios de riesgo, modos de falla, análisis de efectos y sistemas expertos.

- Nuevas técnicas de mantenimiento, como el monitoreo de condición.
- Diseño de equipos con un mayor énfasis en la Confiabilidad y Mantenibilidad.
- Un mayor cambio en el pensamiento orgánico hacia la participación, trabajo en equipo y flexibilidad.

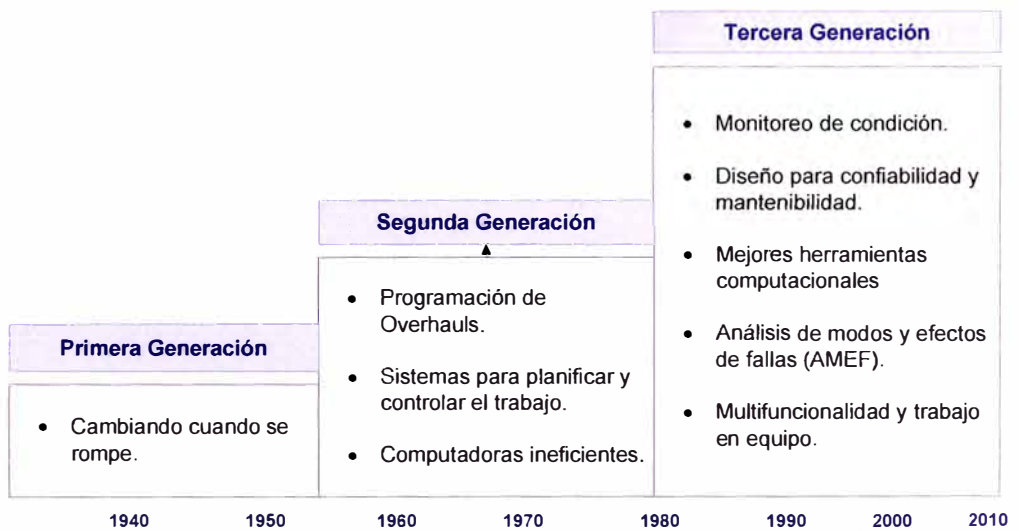


Fig.2.3 Evolución de las técnicas de mantenimiento.

2.1.4. Participación de los departamentos

La participación de los diferentes departamentos de la empresa también se ha evolucionado.

En la Fig.2.4 se puede observar que los mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos era responsabilidad exclusiva del departamento de Mantenimiento. Mientras las técnicas de mantenimiento van evolucionando también las responsabilidades se expanden hacia toda la empresa, es aquí donde se diferencia el MCC, en el compromiso de los departamentos incluso el de la alta gerencia.

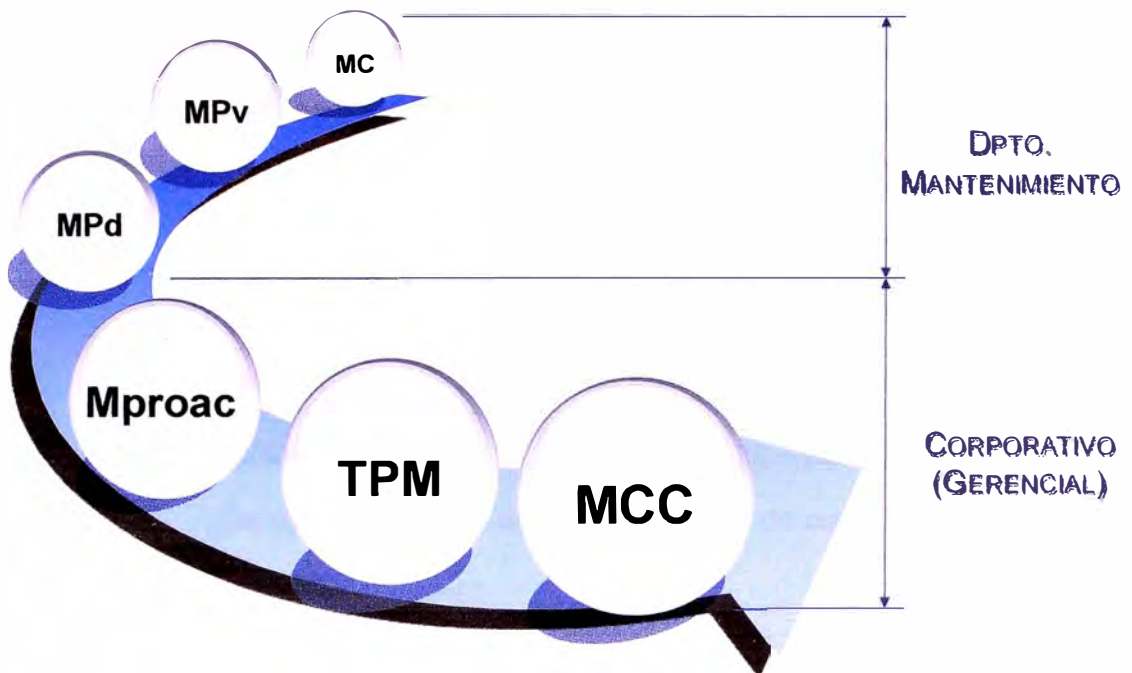


Fig.2.4 Participación de los departamentos de la empresa.

2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

La historia del MCC o RCM por sus siglas en ingles (Reliability Centered Maintenance) se origina en las labores de la fuerza de tareas de la industria de aviación de los Estados Unidos de América entre los años de 1960 y 1980, para mejorar la seguridad y confiabilidad de las naves civiles. La United Airlines fue patrocinada por el por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para redactar un informe sobre la relación existente entre mantenimiento, confiabilidad y seguridad, el cual se convirtió en la piedra angular del MCC. El MCC es un marco de trabajo muy robusto para el desarrollo de estrategias de mantenimiento.

2.2.1 Siete preguntas para construir un MCC

El proceso MCC vincula siete preguntas acerca del recurso o sistema bajo revisión:

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares deseados de desempeño del activo en su contexto operativo actual? (Funciones).
2. ¿De qué maneras el activo puede dejar de cumplir sus funciones? (Fallas Funcionales).
3. ¿Qué causa cada falla funcional? (Modos de Falla).
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional? (Efectos de Falla).
5. ¿En qué formas afecta cada falla funcional? (Consecuencias de Falla).
6. ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla funcional? (Tareas proactivas y Frecuencias).
7. ¿Qué debería hacerse si no se pueden hallar tareas preventivas/predictivas aplicables? (Tareas por Omisión).

La idea central de MCC, según lo indicado por las preguntas, es que cualquier máquina física o sistema tiene al menos una función, y que sus usuarios tienen requerimientos de desempeño por esta. La máquina es considerada como un sistema en un contexto o medio operativo. La falla de una máquina se entiende como su incapacidad para realizar aquello que sus usuarios esperan que realice. En otras palabras, RCM define la falla como un estado de la máquina que no puede ser aceptado por el usuario. Un término específico falla

funcional se define como *“la incapacidad de cualquier activo de cumplir una función según una norma de desempeño que es admitida como aceptable por el usuario”*. Esta definición enfatiza la falla como un estado cualquiera en el cual un estado de desempeño normalizado, definido por el usuario para una función de una máquina específica, que no puede ser alcanzada. La definición separa las fallas de las propiedades físicas de la máquina. Aún si la máquina es físicamente maltratada pero que aún así puede alcanzar el nivel de desempeño que el usuario espera de esta, no existe falla según el paradigma MCC. Por otro lado, una falla puede ocurrir debido a requerimientos de cambio del usuario sin cambios en las propiedades funcionales o estructurales de la máquina.

Al responder a la tercera pregunta de la metodología MCC se pretende identificar los eventos que causan que la máquina entre en estado de falla. Estos eventos se denominan modos de falla. MCC hace una distinción de fallas totales, que es la pérdida total de función, de la falla parcial, que es la incapacidad de cumplir con las normas de desempeño aún cuando la máquina aún está en funcionamiento. El procedimiento de búsqueda de eventos de falla, modos de falla y análisis de efectos de falla (AMEF), es realizado para cada falla funcional. Esto es, para cada estado de falla los eventos causales y los eventos consecuentes son identificados con objeto de predecir los efectos de las fallas. Las consecuencias de las fallas son identificadas en relación a la seguridad personal, medio ambiente, operaciones de producción, y costos de reparación; con objeto de crear una estrategia proactiva para prevenirlas. Debido al origen de la aeronáutica, la

metodología MCC otorga mayor importancia a la vida humana y al medio ambiente que a lo material.

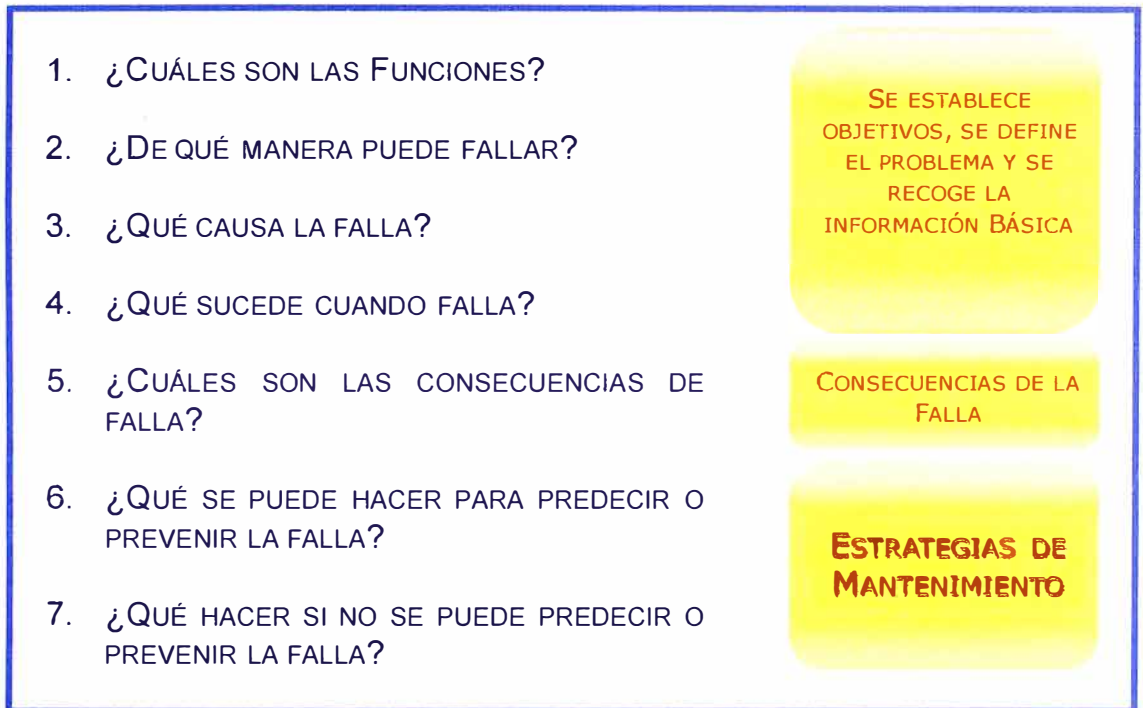


Fig.2.5 Las 07 Preguntas del MCC.

2.2.2 Funciones y Estándares de Comportamiento

Cada elemento de los equipos en el registro de una planta debe de haberse adquirido para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afectará a la organización en cierta manera.

La influencia total sobre la organización dependerá de:

- La función de los equipos en su contexto operacional.
- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Como resultado de esto, el proceso de MCC comienza

definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

El MCC contiene funciones primarias y secundarias:

Funciones Primarias: Constituyen la razón de ser del activo y está asociado a la salida principal (producto de salida) del sistema. Funciones primarias típicas: bombear, comprimir, calentar, etc.

Las funciones primarias pueden ser del tipo: Múltiples independientes, en serie o independientes y Diagramas de bloque funcionales.

Funciones Secundarias: Son aquellas otras funciones que el activo está en capacidad de cumplir en forma adicional a la función primaria.

Principales tipos de funciones secundarias: Protección, Control, Apariencia, Contención, Soporte, Integridad, Seguridad, Ambiente y Superfluas.

Estas funciones, el MCC las clasifica como sigue:

- Integridad Ambiental.
- Seguridad.
- Integridad Estructural.
- Control.
- Contenido.
- Confort.
- Apariencia.
- Dispositivos de Seguridad (claves para fallas ocultas).

En esta parte, se listarán todas las funciones del equipo bajo el análisis: las primarias (por las cuales el equipo existe) y las secundarias (funciones relacionadas con el medio ambiente, integridad estructural, control) y además será necesario cuantificar los standard de funcionamiento.

El MCC define un estándar de ejecución como el parámetro (rango) que permite especificar, cuantificar y evaluar de forma clara la función de un activo. Es importante definir el estándar de ejecución, ya que su valor constituye el parámetro de comparación que permite identificar cuando un activo está cumpliendo su función de forma eficiente.

Cada función tiene dos estándares de ejecución:

- Estándar de ejecución asociado a la confiabilidad inherente, se refiere a la función cuantificada que es capaz de cumplir un activo según su confiabilidad o capacidad de diseño.
- Estándar de ejecución deseado, se refiere a la función cuantificada que se desea o espera conseguir del activo en el contexto operacional.

2.2.3 Fallas Funcionales

El paso siguiente, es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de un fallo funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Una falla funcional se define como la ocurrencia no previsible, que no permite al activo alcanzar el estándar de ejecución esperado y trae como consecuencia que el activo no pueda cumplir con su función o la cumpla de forma ineficiente. Cada función puede tener más de una falla funcional. El MCC clasifica las fallas en dos grandes grupos:

- **Fallas de alto impacto:** Eventos cuyas consecuencias impactan severamente la seguridad, el ambiente o las operaciones.
- **Fallas de bajo impacto:** Eventos cuyas consecuencias no impactan severamente las operaciones.

2.2.4 Modos de Falla

Para lograr establecer los modos y efectos de las fallas se utilizan, generalmente dos herramientas:

El AMEF (Análisis de los Modos y Efectos de la Fallas)

Herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallas de cada activo en su contexto operacional

ALD (Arbol lógico de Decisión) Herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del MCC.

El MCC define el modo de falla como la(s) causa(s) raíz más probable de cada falla funcional. Es decir, el modo de falla es la descripción del evento que causa una falla funcional. Busca determinar el origen de cada falla funcional, que genera la pérdida de la función total o parcial de un sistema/activo en su contexto operacional.

Ahora la tarea es tratar de identificar y describir el evento más probable que cause una falla funcional. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que estemos tratando de prevenir. De esta manera, se asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas.

Es importante acotar que cada falla funcional puede tener más de un modo de falla.

La clasificación de los modos de fallas es la siguiente:

- Cuando la capacidad del equipo llega a niveles que no cumple con el desempeño deseado. Causas principales: Deterioro, fallas en la lubricación, suciedad, desmontaje, errores humanos.
- Cuando el desempeño deseado supera la capacidad del equipo. Causas principales: Sobrecarga sostenida deliberada, sobrecarga sostenida sin intención, sobrecarga repentina sin intención.
- Cuando el activo no es capaz de realizar la función deseada. (Incapacidad inherente). Causa principal: Equipo inapropiado por diseño, fabricación y materiales, etc.

Es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- El mantenimiento está orientado a cada modo de falla.
- Enfocar en qué, no quién, causa las fallas.
- ¿Cuáles modos de fallas deben registrarse?
 - ✓ Lo más probables: Que han ocurrido antes, que son parte del programa de mantenimiento y otros que no son muy posibles.

- ✓ Lo que no son muy probables: Los de consecuencias graves.

2.2.5 Efecto de Falla

Corresponde a la información de los eventos secuenciales que ocurren cuando un modo de falla se da. En otras palabras, esto se refiere a que pasaría si ocurriera. Este paso permite decidir la importancia de cada fallo, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento preventivo (si lo hubiera) sería necesario. Es decir, proporciona la base para decidir si merece la pena realizar el mantenimiento preventivo.

En esta etapa se debe especificar el impacto que trae consigo la ocurrencia de un modo de falla sobre el ambiente, la seguridad, las operaciones y los costos.

Cada modo de falla puede tener más de una consecuencia o efecto. Las características a tener presente son las siguientes:

- Debe tener información necesaria para determinar consecuencias y tareas de mantenimiento.
- Debe describirse como si no estuviera haciéndose algo para prevenirlos.
- Debe considerarse que el resto de los dispositivos y procedimientos operacionales funcionan o se llevan a cabo.

El MCC reconoce que las consecuencias de falla son más importantes que sus características técnicas y representan el punto clave para decidir cuál es el tipo de mantenimiento que se debe ejecutar al activo en su contexto operacional.

La descripción de efectos de fallas debe contener:

- ¿Qué evidencia hay de que ocurrió la falla?
- ¿De qué manera afecta la seguridad y al ambiente?
- ¿Dé qué manera afecta la producción o las operaciones?
 - ✓ ¿Es necesario para el proceso?
 - ✓ ¿Hay impacto en la calidad? ¿Cuánto?
 - ✓ ¿Hay impacto en el servicio al cliente?
 - ✓ ¿Se producen daños a otros sistemas?
- ¿Qué daños físicos ocasiona la falla?
- ¿Qué debe hacerse para reparar la falla?

El MCC clasifica las consecuencias de modos de fallas en cinco categorías:

➤ **Fallas con consecuencias ocultas:**

Fallas no evidentes, las mismas no tienen impacto directo por sí mismas, pero exponen a la planta a otras fallas con consecuencias graves y hasta catastróficas. Ocurren en equipos de seguridad, reserva y control. Fallas de alto impacto.

➤ **Fallas que afectan la seguridad:**

Fallas evidentes que afectan la vida humana:

- ✓ Riesgos humanos.

- ✓ Fallas de alto impacto.

El riesgo de ocurrencia de estos dos tipos de modos de fallas debe ser eliminado totalmente.

➤ **Fallas que afectan el ambiente:**

Fallas evidentes cuyas consecuencias impactarán el ambiente de forma negativa:

- ✓ Regulaciones ambientales.
- ✓ Fallas de alto impacto.

El riesgo de ocurrencia de este tipo de modo de falla debe ser reducido al mínimo.

➤ **Fallas operacionales:**

Un fallo tiene consecuencias operacionales si afectan la producción (fabricación, calidad del producto, servicio al cliente o coste operacional, además del coste directo de reparación). Estas pueden ser de bajo o alto impacto. Las consecuencias de este tipo de modos de fallas generalmente cuestan mucho dinero.

➤ **Fallas con consecuencias no operacionales:**

Fallas evidentes cuyos efectos no afectan de forma importante a la seguridad, el ambiente o las operaciones. Las fallas de bajo impacto y su ocurrencia envuelven sólo los costos directos de reparación.

2.2.6 El Proceso de Selección de Tareas MCC

En este paso se deberán establecer que actividades de mantenimiento se han de ejecutar. La selección de las actividades de mantenimiento en el MCC se realiza tomando en cuenta las posibles

consecuencias producidas por cada modo de fallas, a partir de un proceso estructurado de preguntas contenidas en un árbol lógico de decisión (herramienta diseñada por el MCC).

Las respuestas que se obtienen a partir del árbol lógico de decisión, constituirán las tareas de mantenimiento más adecuadas a ejecutar en los distintos activos y en su contexto operacional. A continuación, se presentan los tipos de actividades de mantenimiento propuestos por el MCC:

Actividades de Prevención:

- ✓ Actividades de restauración programada.
- ✓ Actividades de descarte programado.
- ✓ Actividades con base a condición.
- ✓ Actividades rutinarias de prevención.
- ✓ Actividades de pesquisa de fallas ocultas.

Actividades Correctivas:

- ✓ Rediseño.
- ✓ Actividades de mantenimiento no programado.

Según la metodología MCC, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios basados en los tipos de fallas para decidir si vale la pena realizar el mantenimiento preventivo o correctivo:

- ✓ **Para fallas de alto impacto:** Actividades de mantenimiento que ayuden a prevenir los efectos de este tipo de fallas son obligatorias (actividades de prevención).
- ✓ **Para fallas de bajo impacto:**
 - a.- *Actividades de prevención:* Cuando económicamente la actividad de prevención cuesta menos que los costos que podría generar los efectos de una posible falla.
 - b.- *Actividades correctivas:* Cuando económicamente resulta más barato esperar que ocurra la falla que prevenir su aparición con alguna actividad de prevención.

Otra base para determinar las actividades de mantenimiento son las consecuencias o efectos de falla:

- ✓ **Las fallas con consecuencias ocultas a la seguridad humana**, al ambiente y a las operaciones (fallas de alto impacto), no pueden permitirse que ocurran, por lo que el mantenimiento para prevenir estas consecuencias de fallas, es obligatorio.
- ✓ **En el caso de fallas con consecuencias operacionales y no operacionales (de bajo impacto)**, se seleccionarán actividades de mantenimiento para prevenir sus consecuencias en el caso de que sea más económico prevenir la falla, que los costos generados por los posibles efectos de la misma.

2.2.7 Aplicando el Proceso MCC

Antes de partir para analizar los requisitos de mantenimiento de los recursos en cualquier organización, necesitamos saber lo que son

estos recursos y decidir cuales de ellos estarán sujetos al proceso de revisión MCC. Esto significa que debe prepararse un registro de la planta sin no existe uno ya. De hecho, la inmensa mayoría de organizaciones industriales hoy día ya posee registros de la planta que son adecuados para este propósito, así que sólo se mencionarán los atributos más deseables de estos registros.

a) Planificación

Si se aplica correctamente, el MCC lleva a mejoras notables en la efectividad del mantenimiento y a menudo lo hace sorprendentemente rápido. Sin embargo, la aplicación exitosa del MCC depende de la planificación y preparación meticulosa. Los elementos importantes del proceso de la planificación son como sigue:

- Decida qué recursos probablemente se beneficiarán del proceso de MCC y en ese caso, exactamente cómo se beneficiarán.
- Evalúe las fuentes exigidas para aplicar el proceso a los recursos seleccionados.
- En casos donde los beneficios probables justifiquen la inversión, decida en detalle quién la realizará y quién auditará cada análisis, cuando y donde y arregle todo para que ellos reciban entrenamiento apropiado.
- Asegure que el contexto operativo del recurso se entienda claramente.

b) Grupos de Revisión

El proceso de MCC incluye siete preguntas básicas. En la práctica, las personas de mantenimiento no pueden contestar todas estas preguntas por sí mismos. Esto es porque muchas de las respuestas sólo pueden ser proporcionadas por los operadores.

Esto es válido sobre todo a las preguntas acerca de las funciones, rendimiento deseado, efectos de falla y consecuencias de falla. Por esta razón, una revisión de los requisitos de mantenimiento de cualquier recurso debe ser hecha por grupos pequeños que incluyan a una persona por lo menos de la función de mantenimiento y una de la función de operación. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho que ellos deban tener un conocimiento completo del recurso bajo revisión. Cada miembro del grupo también debe de haber sido entrenado en MCC. El esquema de un grupo de revisión de MCC Típico se muestra en la Fig. 2.6.

El uso de estos grupos permite a la gestión ganar acceso al conocimiento y especialización de cada miembro del grupo en una base sistemática.



Fig. 2.6 Grupo de revisión MCC típico.

Los grupos de revisión del MCC trabajan bajo la guía de especialistas en MCC, conocidos como facilitadores. Los facilitadores son las personas más importantes en el proceso de revisión del MCC. Su papel es asegurar que:

- El análisis de MCC se lleva a cabo al nivel correcto, que los límites del sistema se definan claramente, que ningún componente importante se pase por alto y que se registren propiamente los resultados del análisis.
- El MCC se entienda correctamente y sea aplicado por los miembros del grupo.
- El grupo alcance un acuerdo general de una forma rápida y ordenada, mientras se retenga el entusiasmo y compromiso de los miembros individuales.
- El análisis progrese rápidamente y termine a tiempo.

Los facilitadores también trabajan con los gerentes proyectistas o patrocinadores del MCC para asegurar que cada análisis se plantea apropiadamente y reciba apropiado apoyo directivo y logístico.

2.2.8 Resultados del Análisis MCC

Si se aplica de la manera sugerida, el análisis MCC produce tres resultados tangibles, como sigue:

- Un programa de mantenimiento ha ejecutarse por la sección de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados por los operadores del recurso.
- Una lista de áreas donde deben hacerse los cambios al plan del recurso o la manera en la cual se opera, para tratar con situaciones donde el recurso no puede entregar el rendimiento deseado con su configuración actual.

Dos resultados menos tangibles son que los participantes en el proceso aprenden bastante sobre cómo trabaja el recurso y también tiende a trabajar mejor como grupo que trabaja sinérgicamente (trabajo en equipo).

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN DEL MCC

3.1 DEFINIENDO EL SISTEMA

En esta actividad se requiere:

- Información técnica del equipo, es necesario contar con la información técnica por equipo y sistema a intervenir en el análisis. Teniendo en cuenta que no se tiene información de todos los equipos a analizar se procede a realizar la recopilación y generación de la información necesaria, como por ejemplo:
 - ✓ Especificaciones técnicas.
 - ✓ Diagramas PI&D.
 - ✓ Manuales de operación y mantenimiento.
 - ✓ Registros de mantenimiento.
 - ✓ Planos.
- Definir los límites de cada sistema y subsistema.
- Codificar cada equipo o componente a analizar de tal forma que se pueda relacionar cada equipo con su análisis y poder registrarlos (*Ver Apéndice N° 1: Codificación EBL*)

3.2 PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN:

El éxito del proceso de la implementación, dependerá básicamente del desempeño del equipo natural de trabajo, el cual se encargará de responder las siete preguntas básicas.

Un **Equipo Natural de Trabajo**, se define dentro del contexto del MCC, como un conjunto de personas de diferentes funciones de la organización que trabajan juntas por un período de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común.

Es el contexto dentro del cual se desarrolla el análisis de las Funciones del MCC, deberá estar enmarcado en las actividades que comprenden estrictamente el sistema. Será necesario constar los límites hasta el nivel en que son analizados sus componentes. Se debe tomar en cuenta los factores que influyen sobre el mantenimiento de ello tales como:

- ✓ Factores climáticos (cambios excesivos o constantes)
- ✓ Normas y Reglamentaciones especiales (específicas y legales)
- ✓ Tipo de proceso (continuo 24hs / por lotes, etc.)
- ✓ Redundancia (o formas alternativas de producción)
- ✓ Estándares de Calidad.- (dan específicas condiciones a la operación)
- ✓ Estándares Medio Ambientales (impacto en el medio ambiente)
- ✓ Riesgos a la Seguridad (razones de cuidados)
- ✓ Límites de uso (elementos mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos, electrónicos, etc.)

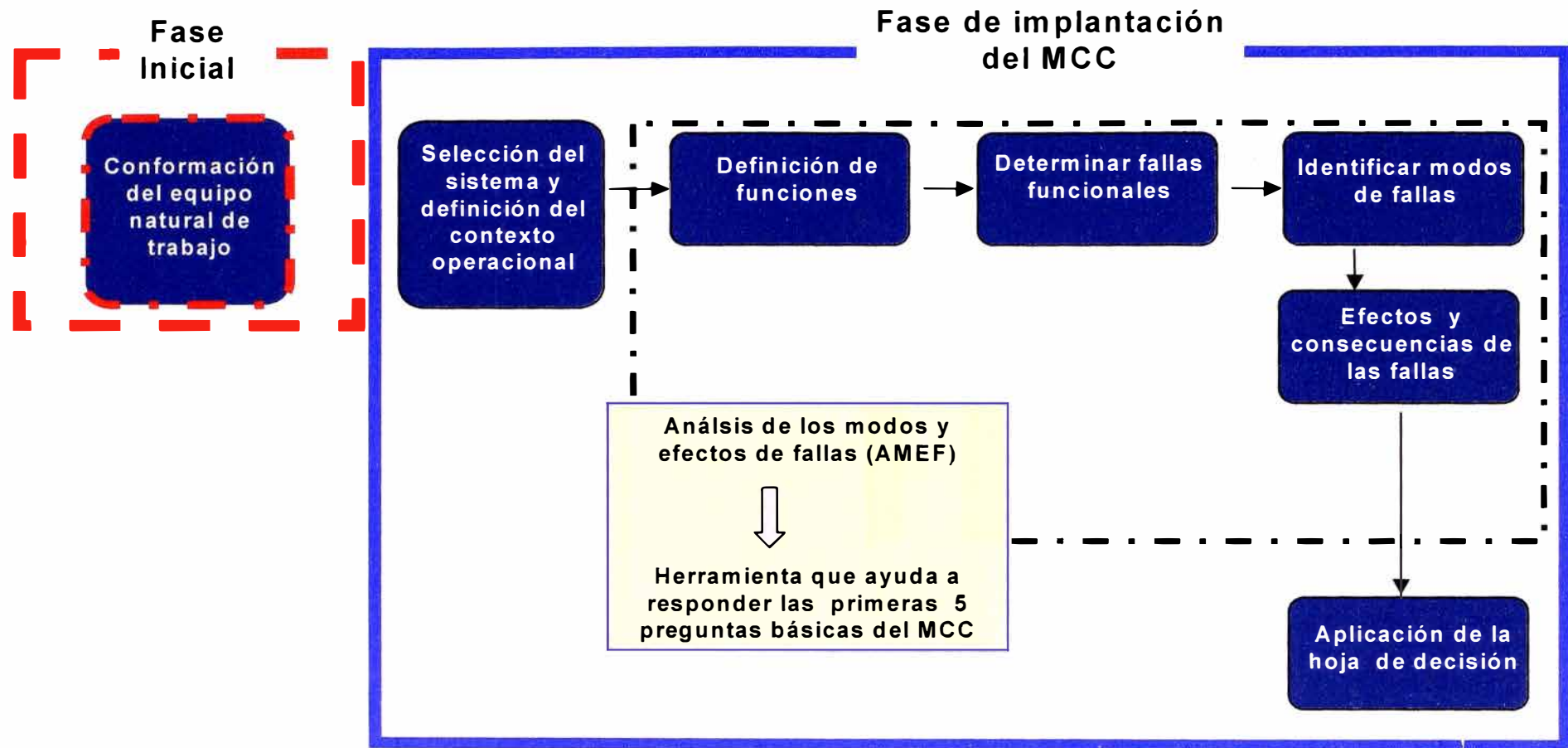


Fig. 3.1 Flujograma de implementación del MCC.

3.3 APLICACIÓN DEL AMEF:

En la Fig. 3.2 se muestra cual es la secuencia seguida de los modos de falla, causas y efectos de falla en el análisis AMEF de las funciones del equipo a ser analizado.

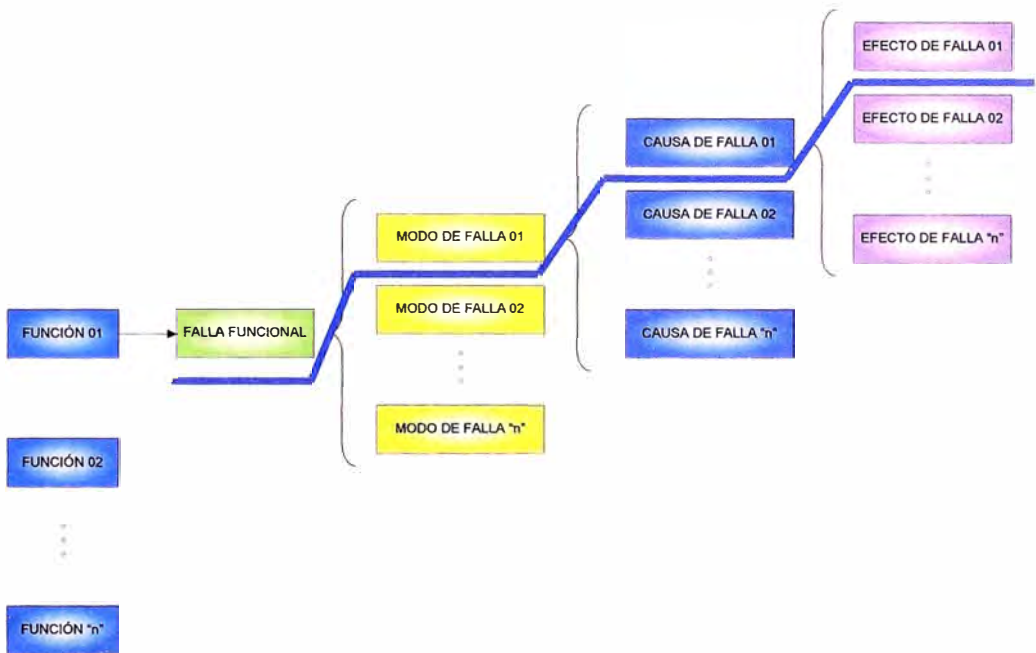


Fig. 3.2 Secuencia del análisis de una falla funcional.

El inicio de la aplicación conceptual del M. C. C consiste en determinar las funciones específicas y los estándares de comportamiento funcional asociado a cada uno de los elementos de los equipos objeto de estudio, en su contexto operacional

En la Fig. 3.3 se muestra el registro AMEF para un sistema de bombeo principal de una planta. Este registro nos servirá para contestar las 5 primeras preguntas del MCC.

MCC: HOJA DE REGISTRO DEL AMEF. SISTEMA DE SUMINISTRO PLANTA		SISTEMA: BOMBEO PRINCIPAL EQUIPOS PRINCIPALES :BOMBAS PRINCIPALES Y AUXILIARES, VÁLVULAS, INSTRUMENTACIÓN.				Facilitadores: Facilitador N° 01 Fecha de inicio: Fecha de culminación: # reuniones: 6 sesiones		PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO.			
#	Estándar de ejecución - FUNCION	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de ocurrencia del modo del falla	Efecto de Falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Suministrar en condiciones seguras y de óptima calidad productos derivados de hidrocarburos desde Car hasta planta Guatiro (Caudal promedio Diesel y GLP 2500 bls/h (min. 2200 y max. 2500 bls/h)	A	No ser capaz despachar productos derivados de hidrocarburos por el poliducto (en función de las condiciones del producto manejado) - PÉRDIDA TOTAL DE LA FUNCIÓN	1A1	Falla eléctrica	Paradas programadas: 2/año. NO PROGRAMADAS: 10/año. Capacidad contratada: 12,543 MMBs/mes.	A nivel operacional, se produce una pérdida inmediata de la capacidad de bombeo. Al ocurrir una falla eléctrica, arranca el sistema el cual suplir los sistemas de esenciales (instrumentación, control y servicios). Las medidas de corrección son el aseguramiento del sist. de bombeo (cierre de válvula). Período de reposición (1-3 horas máximo)	Actividades externas			
				1A2	Falla línea tendido eléctrico de la planta	24 eventos al año (cortas)	ESCENARIO CRITICO: Pérdida de las dos líneas / Idem al anterior - Causa ambiental, o falla de componente / caso de causa ambiental (caída de ramas, choques con animales) se puede reparar entre 1-3 h. Operacionalmente se pierde la línea asociada a la bomba que en el momento está en servicio (rango de re abastecimiento: 1,5 h). ESCENARIO NORMAL: la falla solo afectará parcialmente el proceso de bombeo.	Preventivo	Rutinario: Limpieza. Preventivo: Limpieza de aisladores y cambio de empalmes, ajuste de conexiones	15 días (zonas críticas - expuesta al mar)	Personal contratado/ 5 personas / 1 día
				1A3	Fallas del sistema de aterramiento	2 eventos en 7 años	Cuando cae un rayo (esto ha ocurrido dos veces) se para el sistema de bombeo, aseguran el sistema y se inicia el proceso de restablecimiento. El tiempo depende de la falla (entre 5 horas y dos días) - oculta	Pesquisa de falla	Prueba de resistencia de aislamiento (megado) se hace al instalar el equipo	Averiguar sobre modos de fallas adicionales	1 Electricista
				1A4	Falla o Bajo nivel de inventarios (problemas con tanqueros / territorial marino)	En condiciones normales, esto puede ocurrir dos veces al mes. Actualmente esto no ocurre pues se tiene una situación diferente a la normal. SE TIENEN EN SERVICIO TANQUES QUE ANTES ESTABAN FUERA DE SERVICIO	Cuando se tiene bajos inventarios de productos y se requiere bombear, se puede afectar los equipos de bombeo. Desde el punto de vista de seguridad, un bajo nivel, pueden traer problemas potenciales en los tanques (vapores en tanques de techo flotantes: hasta el próximo llenado) ESTE MDF ES PROBABLE SOLO CUANDO OCURRE RETRASO DE TANQUEROS. Actualmente, esto no es probable que ocurre por la política de máximo inventario.	Preventivas	Incrementaria el mantenimiento de los sistemas de filtros y bombeo / Ajustar políticas operacionales - logística		
		B	Despachar de forma parcial - fuera de las cond. Normales de operación - PÉRDIDA PARCIAL DE LA FUNCIÓN	1B1	Fuga prensaestopas de la válvula de pie de tanque	menos de 1 en 13 años	Planificar mantenimiento para ajustar prensaestopas (no afecta la capacidad de bombeo). Seguridad: propicia condiciones inseguras con leve impacto ambiental.	Correctiva	Esperar que comience a fugar y reparar		1 mecánico / 5 horas
				1B2	Falla mecánica válvula motorizada de tanque: (1) tuerca de arrastre actuador; (2) caída de compuerta; (3) tranca del actuador	(1) Entre 1-2 veces en 13 años. (2) Nunca ha ocurrido; (3) 1-2 VECES EN 13 AÑOS	Casos 1 y 2, se pierde la capacidad parcial de bombeo. (1) Sustituir tuerca de arrastre en línea (2-3 horas) COSTO S: 600 MBS, Dos personas 6 M/H. (2) En caso de ralla se debe asegurar la operación de bombeo, seccionar la línea parcialmente y drenar, sustituir la válvula o simplemente reparar el bonete con la compuerta (esto es mas rápido). Reemplazar la válvula completa: 8 horas, 3 personas (Bs. 4MMBs) En caso de emergencia apaga fuego, reemplazar bonetes y compuerta: 3 personas, 4 horas (Bs 4MMBs) (3) Pérdida de la capacidad total de bombeo. En caso de falla del actuador, se debe desmontar el actuador y sustituir (en línea) tiempo para reparar 4 horas 2 personas, costos del actuador Bs 1.5 MMBs.	1) Preventivo, 2) Correctivo, 3) Preventivo	(1 y 3) Revisión, ajuste de prensaestopas, lubricación	6 meses	1 mecánico, 1 electricista, 2 obreros - 4 horas

Fig. 3.3 Ejemplo Registro AMEF.

3.4 TABLAS DE NIVELES AMEF:

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) utiliza las siguientes tablas de Criticidad de Modos de falla (Mcdermott, Robin; Mikulak, Raimond y Beauregard, Michael." *The Basics of FMEA*". Quality Resources, New York, USA):

3.4.1 Tabla de Nivel de ocurrencia:

Escala que permite definir el nivel de ocurrencia de cada modo de falla en un determinado activo.

Nivel de ocurrencia : N. O.	Descripción (frecuencia de ocurrencia)	Probabilidad de ocurrencia de la falla
10	Muy alta: falla que es casi inevitable	Más de una ocurrencia por día, o una probabilidad de más de tres ocurrencias en diez eventos
9		Una ocurrencia cada tres o cuatro días, o una probabilidad de tres ocurrencias en diez eventos
8	Alta: continuamente falla	Una ocurrencia por semana o una probabilidad de cinco ocurrencias en cien eventos
7		Una ocurrencia por mes, o una ocurrencia en cien eventos
6	Moderada: ocasionalmente falla	Una ocurrencia cada tres meses o tres ocurrencias en mil eventos
5		Una ocurrencia cada seis meses en un año, o una ocurrencia en diez mil eventos
4		Una ocurrencia por año o seis ocurrencias en cien mil eventos
3	Baja: relativamente falla poco	Una ocurrencia entre uno y tres años o seis ocurrencias en diez millones de eventos
2		Una ocurrencia entre tres y cinco años o dos ocurrencias en un billón de eventos
1	Remota: no es probable que falle	Una ocurrencia en mas de cinco años, o menos de dos ocurrencias en un billón de eventos

3.4.2 Tabla de Nivel de Detección:

Escala que permite definir el nivel de detección o control actual que se tiene sobre los modos de fallas y/o los efectos que estos pueden producir en un contexto operacional definido.

Nivel de detección: N. D.	Descripción (Grado de control o detección)	Definición.
10	Absolutamente incierto	EL proceso y el producto no es controlado o inspeccionado, las anomalías por fallas no son detectados
9	Muy remoto	Se inspecciona solo el producto final a partir de un nivel aceptable de calidad
8	Remoto	Se inspecciona solo el producto final en base a un modelo previamente probado
7	Muy bajo	Se inspecciona solo el producto manualmente durante todo el proceso(no hay ayuda de equipos modernos de control)
6	Bajo	Se inspecciona solo el producto manualmente durante todo el proceso, usando pruebas de ensayo y error
5	Moderado	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado al final del proceso en la línea de producción (25 % automatización)
4	Moderadamente alto	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado en dos puntos del proceso en la línea de producción (50 % automatización)
3	Alto	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado en más de dos puntos del proceso en la línea de producción (75 % automatización)
2	Muy alto	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado durante todo el proceso en la línea de producción (100 % automatización)
1	Totalmente controlado	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado durante todo el proceso de la línea de producción (100 % automatización con calibración continua y mantenimiento preventivo de los equipos utilizados para controlar e inspeccionar el proceso y el producto)

3.4.3 Tabla de Nivel de Severidad:

Escala que permite definir el nivel de severidad o el impacto que podría generar la ocurrencia de un modo de falla.

Nivel de Severidad: N. S.	Descripción (Nivel de severidad de la falla)	Efectos de las fallas
10	Peligrosamente alto	Fallas que pueden causar pérdidas humanas
9	Extremadamente alto	Fallas que pueden crear complicaciones con regulaciones federales (leyes)
8		Fallas que hacen inoperables los equipos y provocan la pérdida de función para la que fueron diseñados.
7	Alto	Fallas que causan un alto grado de insatisfacción al cliente que recibe el servicio
6	Moderado	Fallas que afectan un subsistema y originan un mal funcionamiento de los equipos disminuyendo la calidad del servicio
5	Bajo	Fallas que provocan la pérdida de eficiencia y causan que el cliente se queje.
4		Fallas que pueden ser mejoradas con pequeñas modificaciones y su impacto sobre la eficiencia de los equipos es pequeña
3	Menor	Fallas que podrían crear mínimas molestias al cliente, molestias que el mismo cliente podría corregir en el proceso sin necesidad de perder eficiencia
2		Fallas que son difíciles de reconocer por el cliente y cuyos efectos serán insignificantes para el proceso
1	Ninguno	Fallas que no son identificables por el cliente y no afectan la eficiencia del proceso

3.4.4 Tabla de Ponderación:

Criticidad	NO+ND+NS	Estrategia de mantenimiento
Critico	25 a 30	Tarea de Mantenimiento Predictivo / Preventivo
Esencial	19 a 24	Tarea de Mantenimiento Preventivo
Necesario	12 a 18	Tarea de Mantenimiento Preventivo / Correctivo
Opcional	2 a 11	Tarea de Mantenimiento Correctivo o ningún mantenimiento

3.5 EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA:

La sección de Transformadores Principales del departamento de Mantenimiento Eléctrico tiene un área conformada por 2 Transformadores Elevadores de Potencia, a los cuales se les hace un mantenimiento mensual de 210HH, obteniendo un 98% de cumplimiento en la empresa. El tiempo estimado para realizar los cambios de piezas defectuosas es de 48HH, ahora procedemos a calcular el % de mantenimiento preventivo.

$$\%MP = \frac{HHMP}{HHT} * 100$$

$$HHMP = \# EQUIP * \frac{HH Req}{\# EQUIP * FRECUENCIA} * \frac{FRECUENCIA AJUSTADA}{PERIODO DE ESTUDIO} * \%Cumplimiento$$

$$HHMP = 2Transf.E. * \frac{210HH}{2ETransf.E. * MENSUAL} * \frac{12MESES}{1AÑO} * 0.98 \Rightarrow$$

$$HHMP = 2469.6HH / AÑO$$

$$HHT = HHMP + HHMCP + HHMCE$$

$$HHT = 2469.6HH / AÑO + 48HH / AÑO \Rightarrow HHT = 2517.6HH / AÑO$$

$$\%MP = \frac{2469.6HH / AÑO}{2517.6HH / AÑO} * 100 = 98.09\%$$

El resultado obtenido demuestra que la central tiene un porcentaje muy alto de mantenimiento preventivo y que garantiza el funcionamiento óptimo de los equipos y demuestra la gran labor ejercida por el personal que opera en el área de mantenimiento en la sección de Transformadores Principales.

3.5.1 Estudio del comportamiento del equipo

Durante los primeros 6 meses, los transformadores de potencias tuvieron el siguiente comportamiento con respecto a sus operaciones, generando los siguientes datos:

TIEMPOS DE OPERACIÓN (TAF)	2	8	15	29	43	64	70	89	112	122
TIEMPOS PARA REPARAR (TPR)	2	41	48	93	99	112	152	214	234	261

- **Cálculo de la Mantenibilidad**

Ordinal	TPR	PF
1	2	9
2	8	18
3	15	27
4	29	36
5	43	45
6	64	55
7	70	64
8	89	73
9	112	82
10	122	91

$$M(t) = \frac{1}{e^{t^{\alpha} (t/\mu)}}$$

$$Pf = \frac{\text{Ordinal}}{N+1} * 100$$

$$Pf = \frac{1}{10+1} * 100 \Rightarrow 9$$

$$Pf = \frac{6}{10+1} * 100 \Rightarrow 55$$

$$Pf = \frac{2}{10+1} * 100 \Rightarrow 18$$

$$Pf = \frac{7}{10+1} * 100 \Rightarrow 64$$

$$Pf = \frac{3}{10+1} * 100 \Rightarrow 27$$

$$Pf = \frac{8}{10+1} * 100 \Rightarrow 73$$

$$Pf = \frac{4}{10+1} * 100 \Rightarrow 36$$

$$Pf = \frac{9}{10+1} * 100 \Rightarrow 82$$

$$Pf = \frac{5}{10+1} * 100 \Rightarrow 45$$

$$Pf = \frac{10}{10+1} * 100 \Rightarrow 91$$

- **Cálculo de la Variable Reducida**

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$Y_1 = 40$$

$$X_1 = -1$$

$$m = \frac{160 - 40}{2 - (-1)} \Rightarrow 40$$

$$m = 40$$

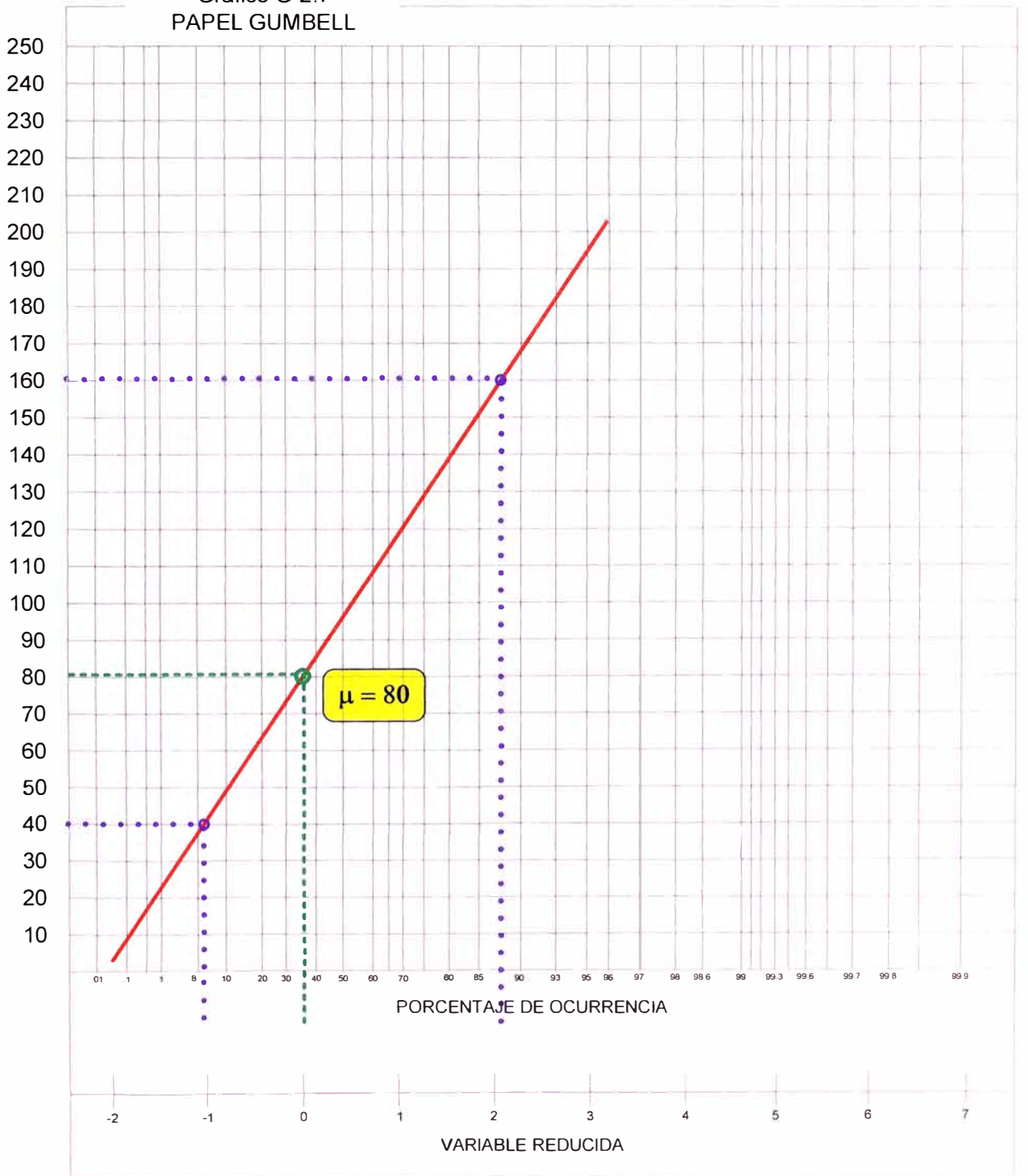
$$Y_2 = 160$$

$$X_2 = 2$$

TPR

PAPEL GUMBELL

Gráfico G-2.7
PAPEL GUMBELL



pf

- **Cálculo de la inversa de m**

$$a = \frac{1}{m}$$

$$a = \frac{1}{40} \Rightarrow 0.025$$

- **Cálculo del Tiempo para Reparar Geométrico (TPPRg)**

$$TPPRg = \mu + \frac{0.5778}{a}$$

$$TPPRg = 80 + \frac{0.5778}{0.025} \Rightarrow 103.11$$

- **Cálculo del Tiempo para Reparar Aritmético (TPPRa)**

$$TPPRa = \sum \frac{TPR}{N}$$

$$TPPRa = \sum \frac{554}{10} \Rightarrow 55.4$$

- **Cálculo del Porcentaje de comparación de los valores obtenidos**

$$\%E = \left| \frac{55.4 - 103.11}{55.4} \right| * 100 \Rightarrow 86$$

- **Cálculo general de la Mantenibilidad**

$$M(t) = \frac{1}{e^{t^{0.025} \cdot (t/\mu)}}$$

$$M(t) = \frac{1}{e^{t^{0.025} \cdot (103.11/80)}} * 100 \Rightarrow 91\%$$

$$t = TPPRg$$

Los resultados calculados omiten una Mantenibilidad alta, lo que garantizara un óptimo funcionamiento en los equipos y respuestas positivas en todo ámbito de los equipos en sus respectivos mantenimientos.

- **Cálculo de la Confiabilidad**

$$RM = \frac{Ordinal - 0.3}{N + 0.4} * 100$$

$$RM = \frac{1 - 0.3}{10 + 0.4} * 100 \Rightarrow 6.7$$

Ordinal	TAF	RM
1	4	6.6
2	46	16.2
3	68	25.8
4	90	35.5
5	118	45.1
6	132	54.8
7	172	64.4
8	224	74.1
9	244	83.7
10	268	93.3

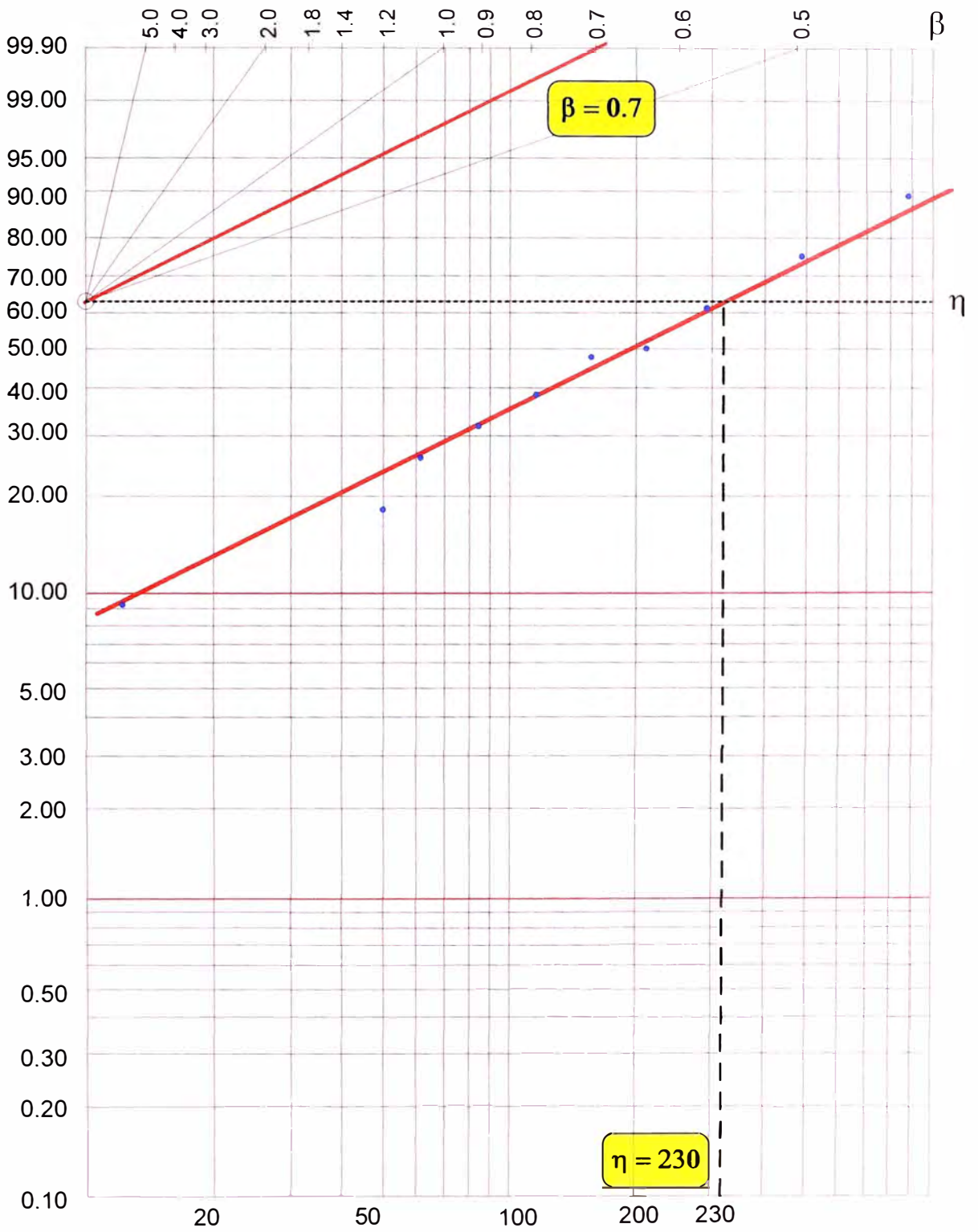
Es importante destacar que al obtener el primer valor y tomando en cuenta la cantidad de Ordinales, podemos localizar rápidamente valores estándar a RM o PF (Cada uno de ellos tiene una tabla específica asignada).

Fragmento de la Tabla donde podemos localizar los valores estándar de los RM.

Medians Ranks

8	9	10	11	12	13	14	15
8,3	7,4	6,6	6,1	5,6	5,1	4,8	4,5
20,1	17,9	16,2	14,7	13,5	12,5	11,7	10,9
32,1	28,6	25,8	23,5	21,6	20,0	18,6	17,4
44,0	39,3	35,5	32,3	29,7	27,5	25,6	23,9
55,9	50,0	45,1	41,1	37,8	35,0	32,5	30,4
67,9	60,6	54,8	50,0	45,9	42,5	39,5	36,9
79,8	71,3	64,4	58,3	54,0	50,0	46,5	43,4
91,7	82,0	74,1	67,6	62,1	57,4	53,4	50,0
	92,5	83,7	76,4	70,2	64,9	60,4	56,5
		93,3	85,2	78,3	72,4	67,4	63,0
			93,8	86,4	79,9	74,3	69,5
				94,3	87,4	81,3	76,0
					94,8	88,2	82,5
						95,1	89,0
							95,4

Obtenidos los Resultados, Procedemos a Graficarlos en el papel **WEIBULL** para obtener los valores de β y η



Cálculo general de la Confiabilidad

$$M(t) = \frac{1}{e^{0.025 * (103.11/80)}} * 100 \Rightarrow 91\% \quad t = TPRg$$

$$Ps(t) = \frac{1}{e^{\left(\frac{103.11}{230}\right)^{0.7}}} * 100 \Rightarrow 73\%$$

Un 73% es un porcentaje normal, lo que implica que los Transformadores de potencia tienen un estado estable.

- **Cálculo general de la Disponibilidad**

$$Rs = \frac{TPO}{TPO + TPR} * 100 \quad TPO = \eta \quad TPR = TPRa$$

$$Rs = \frac{230}{230 + 55.4} * 100 \Rightarrow 80\%$$

La Disponibilidad de los equipos es óptima, está un poco más del valor normal que corresponde a 70%, aun puede considerarse un plazo más de disponibilidad de los equipos, los cuales lograrán el objetivo con el respectivo mantenimiento realizado para mantenerlo Disponible y General respuestas positivas a la empresa.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

El resultado de los análisis de los generadores, las turbinas, los gobernadores y los transformadores de potencia se muestra en los siguientes cuadros. Considerados en el plan de mantenimiento de la Central Hidroeléctrica de 40MW.

GENERADOR

Código de equipo	Descripción	Falla Funcional	Modo de Falla	Observación	Estrategia de Mantenimiento	Acción	Comentario
421.001.060430	Protección contacto a tierra	Accionamiento trabado	Functional error on equipment (electric, hydraulic, mechanic)	Stop, due to electrical damage	Test Funcional Basado en Condición	Se harán pruebas de accionamiento de los relés cada 3 meses, al cabo de 2 años se realizarán pruebas funcionales.	La falla funcional del relé BBC VE dejaría al generador desprotegido, en consecuencia el generador estaría en un alto riesgo de falla, por lo que se ha considerado una consecuencia C en este análisis. Los pruebas de funcionamiento se realizarán cada 3 mes
421.001.079-120	Monitoreo del estator	Failure of the equipment monitoring	Measuring error(quantity, voltage, electric current, temperature, pressure, frequency)	reduced reliability	Test Funcional Basado en Condición	se programa una recalibración de los instrumentos indicadores cada 2 años.	En este mntto. se esta considerando un error de medición de los relojes indicadores en sala de mando. Se considera en el mantenimiento la revisión del convertidor estabilizador que alimenta a los equipos de monitoreo (ver esquema A15, andamos: 105.1.18-
421.001.100	Estator	Pollution (oil, water, gas, particles)	Insulation breakdown	Stop, due to electrical damage	Test Funcional Basado en Condición	Se programará mediciones de aislamiento una vez al año, cada 2 años se programa una limpieza total con solvente dieléctrico y aire comprimido. Además se realizarán pruebas de control.	Se cuenta con 54 barras de bobinas en stock, esto es suficiente para una fase (la tercera parte de 162 ranuras). Esta es una falla a tierra de una de las fases del estator como consecuencia de la pérdida del aislamiento, donde actuarán los relés de protección
421.001.100	Estator	Insulation breakdown	Short circuit	Stop, due to electrical damage	Test Funcional Basado en Condición	Se programará mediciones de aislamiento una vez al año, cada 2 años se programa una limpieza total con solvente dieléctrico y aire comprimido.	Esta falla es el cortocircuito entre espiras o entre espiras y tierra, provocando la actuación de los relés de protección que desconectan al generador. Este trabajo lo realizará personal especializado (tercero). Considerando un MTBF de 5 años y un MDTeB
421.001.200	Rotor	Pollution (oil, water, gas, particles)	Insulation breakdown	Stop, due to electrical damage	Test Funcional Basado en Condición	Se programará mediciones de aislamiento una vez al año, cada 2 años se programa una limpieza total con solvente dieléctrico y aire comprimido. Además se realizarán pruebas de control.	Se cuenta en stock con una bobina completa, esto es suficiente para un polo del rotor. Se considera esta falla como una falla a tierra de uno de los polos del rotor como consecuencia de la pérdida del aislamiento, actuarán los relés de protección, sacando fu
421.001.260	Carbones	Wear and tear (electrical, Mechanical)	Wear /tear (electrical, Mechanical)	Reduced production capacity	Reparación o acondicionamiento Programado	Se planea realizar cambios en los carbones en forma intercalada cada dos meses.	Consideramos que esta falla ocurre cuando tenemos el caso crítico en el que la mayor parte de carbones están gastados lo que impide regular la potencia reactiva. Para realizar el trabajo de cambio de carbones se considera las paradas de grupos por operaci
421.001.618-051	Válvula manual	Corrosion	Wear/ tear (electrical, Mechanical)	Stop, due to mechanical damage	Reparación o acondicionamiento Programado	Se programa el cambio de esta válvula cada 10 años.	Se considera como falla el desprendimiento de la lenteja de la válvula y la erosión en el asiento de hermeticidad entre válvula y lenteja. En el caso del desprendimiento de la lenteja, esto sobrecalentaría el generador lo que origina una parada inmediata
421.001.631-001	Intercambiador aire / agua no. 1	Corrosion	Wear/ tear (electrical, Mechanical)	Absence/reduction of cooling	Reparación o acondicionamiento Programado	Se realizará un cambio de intercambiador cada 3 años y los que salgan se repararán.	En este análisis se consiera el desgaste y rotura del intercambiador de calor causada por la corrosión, como consecuencia hay una reducción del enfriamiento del alternador. Se considera cambiar el intercambiador por uno reparado cada 3 años.
421.001.710	Cojinete Guia Superior	Wear and tear (electrical, Mechanical)	Overheat (cables, connections, bearings, oil)	Stop, due to mechanical damage	Reparación o acondicionamiento Programado	Reparación o acondicionamiento Programado	Contrastar esta reparación con el mntto. al rotor y estator. Se considera el sobrecalentamiento por desgaste. G. Alfaro: confirmar si el desenganches del cojinete guía superior esta deshabilitado en el grupo, de ser negativo se deben reponer. Se cuenta co
421.001.720	Cojinete de Apoyo	Wear and tear (electrical, Mechanical)	Overheat (cables, connections, bearings, oil)	Stop, due to mechanical damage	Reparación o acondicionamiento Programado	Se cambiará el cojinete cada 20 años.	Contrastar esta reparación con el mntto. al rotor y estator. Se considera el sobrecalentamiento por desgaste de los segmentos del cojinete de apoyo. G. Alfaro: los desenganches del cojinete de apoyo están deshabilitados en el grupo, se deben reponer.
421.001.720-110	Serpentín de cojinete	Erosion	Leak (gas/air, oil, water)	Stop, due to mechanical damage	Monitoreo de basado en condición	Cada 3 meses se hará un análisis de aceite de la cuba del cojinete de apoyo y guía superior. El serpentín de refrigeración se cambiará a los 10 años. Continuamente el maquinista deberá inspeccionar los niveles de aceite como tarea rutinaria.	Se considera como falla a una picadura en el serpentín del cojinete de apoyo.

TURBINA

Código de equipo	Descripción	Falla Funcional	Modo de Falla	Observación	Estrategia de Mantenimiento	Acción	Comentario
411.001.201	Eje Turbina	Corrosion	Wear / tear (electriacI, Mechanical)	Stop, due to mechanical damage	Test Funcional Basado en Condición	Se realizará un test funcional cada 6 meses para ver el alineamiento del eje y test de vibración.	Esta falla se considera como desgaste del eje las rayaduras que se presentan en la zona del cojinete. Se considera que se rectifica el eje y a su vez se embabita y tornea un cojinete (5 días) que se ajuste a la nueva medida del eje.
411.001.210	Rodete	Erosion	Wear / tear (electriacI, Mechanical)	Reduced production capacity	Inspección Basada en Condición	se considera una secuencia de inspecciones mensuales entre los meses de diciembre a marzo, en la inspección se hará la medición de las luces y grado de desgaste.	La falla del rodete por desgaste se presenta casi al final del periodo de avenidas, para lo cual se considera solo este periodo del año para realizar las inspecciones.
411.001.310	Paletas guias	Erosion	Wear / tear (electriacI, Mechanical)		Inspección Basada en Condición	Se programan una inspección cada dos semanas entre los meses de Die a Abr.	En este mantenimiento no se ha considerado un mntto. correctivo por ser el cambio de turbina una tarea programada con varios meses de anticipación por lo tanto no se ha considerado tiempo muerto con pérdida de producción. Sabemos que cuanto más desgastada
411.001.611	Tapa superior	Erosion	Wear / tear (electriacI, Mechanical)	Flood	Inspección Basada en Condición	Se programa una inspección a la semana para observar el estado de las tuberías de descarga de la tapa superior.	Se esta considerando la falla en las tuberías de descarga (cachos) de la tapa superior que pueden causar inundación en el recinto de turbina; luego de cambiar la turbina consideramos que al sexto mes se iniciaría una inspección a la semana de la tapa supe
411.001.710	Cojinete Guia de Turbina	Leak (gas/air, oil, w ater)	Overheat (cables, connections, bearings, oil)	Stop, due to mechanical damage	Reparación o acondicionamiento Programado	Se realizará permanentemente una Inspección, se registrarán las temperaturas y los niveles de aceite, y se programara un overhaul una vez al año para revisar y medir los diámetros interiores del cojinete.	La reparación dura 12hrs. 4 hombres. Se están rectificando todos los ejes y cojinetes. Para abril 2006 se cambiaran 2 grupos con ejes y cojinetes rectificadas a una medida estándar. Los ejes y cojinetes desmontados deberán rectificarse igual para asi co
411.001.710	Cojinete Guia de Turbina	Wear and tear (electriacI, Mechanical)	Overheat (cables, connections, bearings, oil)	Stop, due to mechanical damage	Reparación o acondicionamiento Programado	Se hará un análisis de vibración 2 veces al año y un overhaul una vez año durante el cambio de turbina.	Esta falla se considera el desgaste excesivo del cojinete (incluso el desgaste de la turbina, en este caso el cambio de turbina es innrimente) que ocasiona vibración por no guiar al eje de la turbina, luego se produce el calentamiento del cojinete. Como el
411.001.719	Monitoreo del cojinete	Unbalance	Measuring error(quantity, voltage, electric current, temperature, pressure, frequency)	Stop, due to mechanical damage	Test Funcional Basado en Condición	Se programa hacer una contrastación una vez al año de este medidor de temperatura.	En esta falla se considera solamente la avería del reloj que marca la temperatura. La falla de la sonda no se considera porque se encuentra sumergida en una cavidad del cojinete llena de aceite. En caso de que falle medidor de temperatura se cambiará sin

GOBERNADOR

Código de equipo	Descripción	Falla Funcional	Modo de Falla	Observación	Estrategia de Mantenimiento	Acción	Comentario
414.001.102	Servomotor no. 2	Corrosion	Wear/tear (electriaci, Mechanical)	Absence/reduction of oil pressure	Reparación o acondicionamiento Programado	Se cambia el pistón del servomotor cada 10 años.	El pistón se cambia en debido a rayaduras en su superficie lo que ocasiona fugas de aceite a través de su superficie.
414.001.213-220	Turbinita auxiliar	Jamming	Obstruction	Reduced reliability	Funciona hasta fallar	Reactivo	FALLA: Se atora el filtro de la tubería de alimentación de agua de los inyectores de la turbinita auxiliar.
414.001.213-220	Turbinita auxiliar	Erosion	Deformation	Reduced reliability	Funciona hasta fallar	Reactivo	FALLA: Desgaste de la tobera y de la aguja del eyector. Se hace la reparación sin tener que parar la máquina. Reparación en 4 hrs. por 2 personas.
414.001.215-120	Compresor	Wear and tear (electriaci, Mechanical)	Deformation	Stop, due to mechanical damage	Funciona hasta fallar	Reactivo	FALLA: Desgaste del pistón o anillos de compresión. Se debe tener en cuenta que los compresores trabajan por intervalos cortos para mantener la presión del aire. OBSERVACIÓN: Los compresores de emergencia de ambos grupos, al 15-04-06, se encuentran avería
414.001.300	Monitoreo del sistema de regulación hidráulico / mecánico	Gasket error	Break/burst (cables, tubes, insulation)	Reduced reliability	Funciona hasta fallar	Maquinista debe dar la alerta en cuanto empieza a gotear aceite en el presostato.	FALLA: Ha ocurrido que se ha roto el diafragma de uno de los presostatos (63AQ, 63Q1, 63Q2, 63Q3, 63Q4), cualquiera de estos si deja de funcionar manda bloqueo de la unidad, si se detecta a tiempo la falla y se puentea en la sala de relés se puede hacer!
414.001.330	Alternador piloto para el control de frecuencia	Pollution (oil, water, gas, particles)	Insulation breakdown	Aggregate not ready for operation	Test Funcional Basado en Condición	Cada año se hará mediciones del aislamiento en el alternador piloto. Cada 3 años de hará un overhaul en el sitio, limpieza total y aplicación de solvente dieléctrico. INICIO: FEBRERO 2007	El alternador piloto genera energía para la regulación frecuencia-potencia. - FALLA: El alternador piloto tuvo una falla de aislamiento y se quemó su devanado. - CB task: Se mide el aislamiento en 0.5 hrs por 2 personas.
414.001.370	Electroválvulas	False contact	Functional error on equipment (electric, hydraulic, mechanic)	Disconnection	Test Funcional Basado en Condición	Se harán pruebas de accionamiento eléctrico y mecánico una vez al año. INICIO: AGOSTO 2006.	FALLA: Se considera cuando la electroválvula falla en plena operación y esto ocasiona la salida del grupo de servicio.
414.001.500	Regulador eléctrico EM 58	Wear and tear (electriaci, Mechanical)	Functional error on equipment (electric, hydraulic, mechanic)	Reduced production capacity	Monitoreo de Condición Continuo	El operador monitorará continuamente el regulador en la operación diaria. Cada 3 años se hará un overhaul al pupitre del regulador.	FALLA: Desgaste mecánico en el limitador de apertura y el variador de velocidad, que ocasionaría una reducción en la generación de potencia.

TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Código de equipo	Descripción	Falla Funcional	Modo de Falla	Observación	Estrategia de Mantenimiento	Acción	Comentario
461.001.060420	Protección corriente máxima	Accionamiento trabado	Functional error on equipment (electric, hydraulic, mechanic)	Stop, due to electrical damage	Test Funcional Basado en Condición	hacemos una prueba de operación cada tres meses, y un test funcional a cada dos años (al 13-4-6: estos relés serán relés de respaldo porque ya se va a instalar el relé numérico).	REPUESTOS: Se cuenta con repuestos. - La consecuencia de la falla de estos relés se ha considerado C (catastrófica) debido a que una falla que no sea despejada dañaría el generador lo que llevaría a su reparación y pérdida de producción.
461.001.060-610	Protección Buchholtz	False contact	Functional error on equipment (electric, hydraulic, mechanic)	Stop, due to electrical damage	Test Funcional Basado en Condición	Cada año se hará una prueba de accionamiento mecánico y eléctrico.	REPUESTO: Contamos con repuesto. - Se considera la falla del relé y esto afectaría al transformador. Este trafo no. 1 se cambiará por el reparado en ABB. OBSERVACIÓN: En este momento el sello de la válvula de cierre que aísla el relé Buchholtz del tanque
461.001.200	Sistema de enfriamiento	Erosion	Break/burst (cables, tubes, insulation)	Aggregate not ready for operation	Reparación o acondicionamiento Programado	A los 6 meses haremos el intercambiador de calor y verificaremos que no haya rastros de aceite y dentro de un año se hará una limpieza del intercambiador.	FALLA: El intercambiador de calor del trafo BBC (grupo 2) se perforó, el aceite se desplazó por este hacia el agua, produciéndose gran desplazamiento de aceite lo que ocasionó el disparo del relé Buchholtz. - En caso de falla el manto correctivo sería
461.001.220	Válvula de refrigeración	False contact	Insulation breakdown	Stop, due to electrical damage	Test Funcional Basado en Condición	Se hace una medición de corrientes de fases, medición de aislamiento y revisión del fin de carrera, una vez al año.	FALLA: Anteriormente la falla del fin de carrera ocasionó el trabamiento del motor lo que ocasionó su falla de aislamiento y se quemó. En gnral. Debemos revisar el accionamiento mecánico y hacer pruebas eléctricas a esta válvula.
461.001.230-100	Bomba de aceite no. 1	Wear and tear (electrical, Mechanical)	Insulation breakdown	Reduced production capacity	Test Funcional Basado en Condición	Hacemos medición de aislamiento y de corrientes de fase dos veces al año durante los días de parada por sólidos, bajo caudal o cambio de turbina.	FALLA: Se ha quemado en una ocasión el motor de la bomba, lo que ocasionó sacar de servicio a la unidad para hacer la reparación. En caso de fallar se reduce la generación en la unidad para evitar el sobrecalentamiento en el trafo, esto no es confiable. P
461.001.800	Sistema de control y monitoreo	Failure of the equipment monitoring	Measuring error(quantity, voltage, electric current, temperature, pressure, frequency)	Stop, due to electrical damage	Monitoreo de Condición Continuo	El maquinista tomará lecturas de la temperatura todos los días y las compara con las medidas de los otros termómetros de el agua de refrigeración.	TERMOMETROS: El termostato es el que sensa la temperatura del aceite en el tanque principal y que puede dar señal de alarma y disparo. En caso falle el termostato de temperatura de aceite, contamos con las mediciones de la temperatura de núcleo, devanado
461.002.060-610	Protección Buchholtz	False contact	Functional error on equipment (electric, hydraulic, mechanic)	Stop, due to electrical damage	Test Funcional Basado en Condición	Cada año se hará una prueba de accionamiento mecánico y eléctrico.	REPUESTO: NO TENEMOS REPUESTO. -- Se considera la falla del relé y esto afectaría al transformador. - NOTA: Averiguar si las bridas al costado de las bridas del relé Buchholz son válvulas, si es así, entonces se puede hacer la prueba al relé Buchholz.
461.002.200	Sistema de enfriamiento	Erosion	Break/burst (cables, tubes, insulation)	Aggregate not ready for operation	Reparación o acondicionamiento Programado	A los 6 meses abriremos el intercambiador de calor y verificaremos que no haya rastros de aceite y dentro de un año se hará una limpieza del intercambiador.	FALLA: El intercambiador de calor del trafo BBC (grupo 2) se perforó, el aceite se desplazó por este hacia el agua, produciéndose gran desplazamiento de aceite lo que ocasionó el disparo del relé Buchholtz. -- En caso de falla el manto correctivo sería
461.002.220	Válvula de refrigeración	False contact	Insulation breakdown	Stop, due to electrical damage	Test Funcional Basado en Condición	Se hace una medición de corrientes de fases medición de aislamiento y revisión del fin de carrera, una vez al año.	FALLA: Anteriormente la falla del fin de carrera ocasionó el trabamiento del motor lo que ocasionó su falla de aislamiento y se quemó. En gnral. Debemos revisar el accionamiento mecánico y hacer pruebas eléctricas a esta válvula.

Los resultados listados anteriormente sólo deben verse como un medio a un fin. Específicamente, la función de mantenimiento debe habilitar y completar todas las expectativas. Como lo hacen, se resume en los párrafos siguientes:

- Mayor seguridad e integridad medioambiental: el MCC considera la seguridad y las implicaciones medioambientales de cada modo de falla antes de considerar su efecto en la operación. Esto significa que se toman pasos para minimizar todos los riesgos identificables sobre seguridad y medio ambiente relacionados con el equipo, si no los elimina totalmente. Integrando la seguridad en la corriente principal de toma de decisión de mantenimiento, el MCC mejora también las actitudes sobre la seguridad.

- Mejora el rendimiento operativo (productividad, calidad del producto y servicio del cliente): el MCC reconoce que todos los tipos de mantenimiento tienen algún valor y mantiene reglas para decidir qué es más conveniente en cada situación. Haciéndolo así, ayuda a asegurar que sólo las formas más eficaces de mantenimiento son escogidas para cada recurso y esa acción conveniente se toma en casos donde el mantenimiento no puede ayudar. Se enfocó mucho más en el esfuerzo que mantenimiento lleva a los saltos garantizados en el rendimiento de los recursos existentes donde éstos se buscan. El MCC fue desarrollado para ayudar a las aerolíneas a realizar programas de mantenimiento para los nuevos tipos de avión antes que ellos entren en servicio. Como resultado, es una manera ideal de desarrollar tales programas para los nuevos recursos, especialmente para equipos complejos para los cuales no hay ninguna información histórica disponible. Esto ahorra mucho a los ensayos de prueba y error que son a menudo parte del desarrollo

de los nuevos programas de mantenimiento, ensayo que frustra y consume tiempo y produce errores que pueden ser muy costosos.

- Mayor rentabilidad de mantenimiento: el MCC continuamente enfoca su atención en las actividades de mantenimiento que tienen el mayor efecto en el rendimiento de la planta. Esto ayuda a asegurar que todo gasto en mantenimiento se haga donde será más beneficioso. Además, si se aplica correctamente el MCC a los sistemas de mantenimiento existentes, reduce la cantidad de trabajo rutinario (en otras palabras, las tareas de mantenimiento que son emprendidas en una base cíclica) emitido en cada periodo, que normalmente son de 40% a 70%. Por otro lado, si el MCC es empleado para desarrollar un nuevo programa de mantenimiento, la sobrecarga de trabajo programado resultante es mucho más baja que si el programa es desarrollado por métodos tradicionales.

- Vida útil más larga de componentes caros: debido a un énfasis cuidadosamente enfocado en el uso de técnicas de mantenimiento de condición.

- Un banco de datos comprensivo: una revisión MCC finaliza con un registro comprensivo totalmente documentado de los requisitos de mantenimiento de todos los recursos significativos usados por la organización. Esto hace posible adaptarse a las circunstancias cambiantes (como modelos de cambio cambiantes o a la nueva tecnología) sin tener que revistar todas las políticas de mantenimiento desde el principio. También permite a los usuarios del equipo que demuestren que sus programas de mantenimiento se construyen sobre

bases racionales (el camino requerido de la auditoría por cada vez más reguladores). Finalmente, la información guardada en las hojas de trabajo del MCC reduce los efectos de la rotación del personal con la pérdida correspondiente de experiencia y especialización. Una revisión de MCC de los requisitos de mantenimiento de cada recurso también proporciona una vista más clara de las habilidades exigidas para mantener un recurso y para decidir qué repuestos deben mantenerse en stock. Un valioso producto derivado es también que se mejoran los planos y manuales.

- Una mayor motivación de los individuos, sobre todo las personas que están envueltas en el proceso de revisión. Esto lleva a una gran mejora del entendimiento general del equipo en su contexto operativo, junto con una más amplia “propiedad” de los problemas de mantenimiento y sus soluciones. Esto también significa que las soluciones son más probables de soportar.

- Mejor trabajo en equipo: el MCC mantiene un idioma técnico común, fácilmente entendido por todos los que tenemos algo que ver con mantenimiento. Esto da un mejor entendimiento a las personas de mantenimiento y de operación que puede (y no puede) lograr mantenimiento y lo que debe hacerse para lograrlo.

CAPÍTULO V

ESTRUCTURA DE COSTOS

5.1 INVERSIONES Y COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

En la Fig. 5.1 se muestra la tendencia entre los costos del mantenimiento tradicional contra la inversión del MCC.

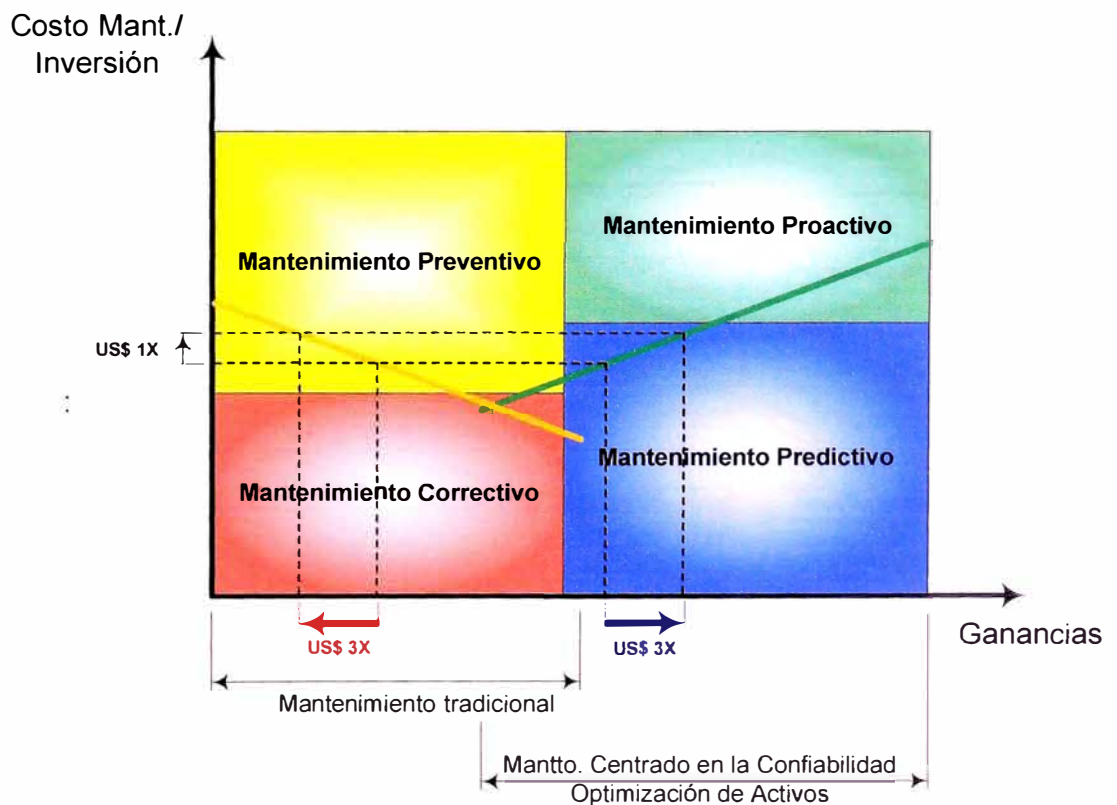
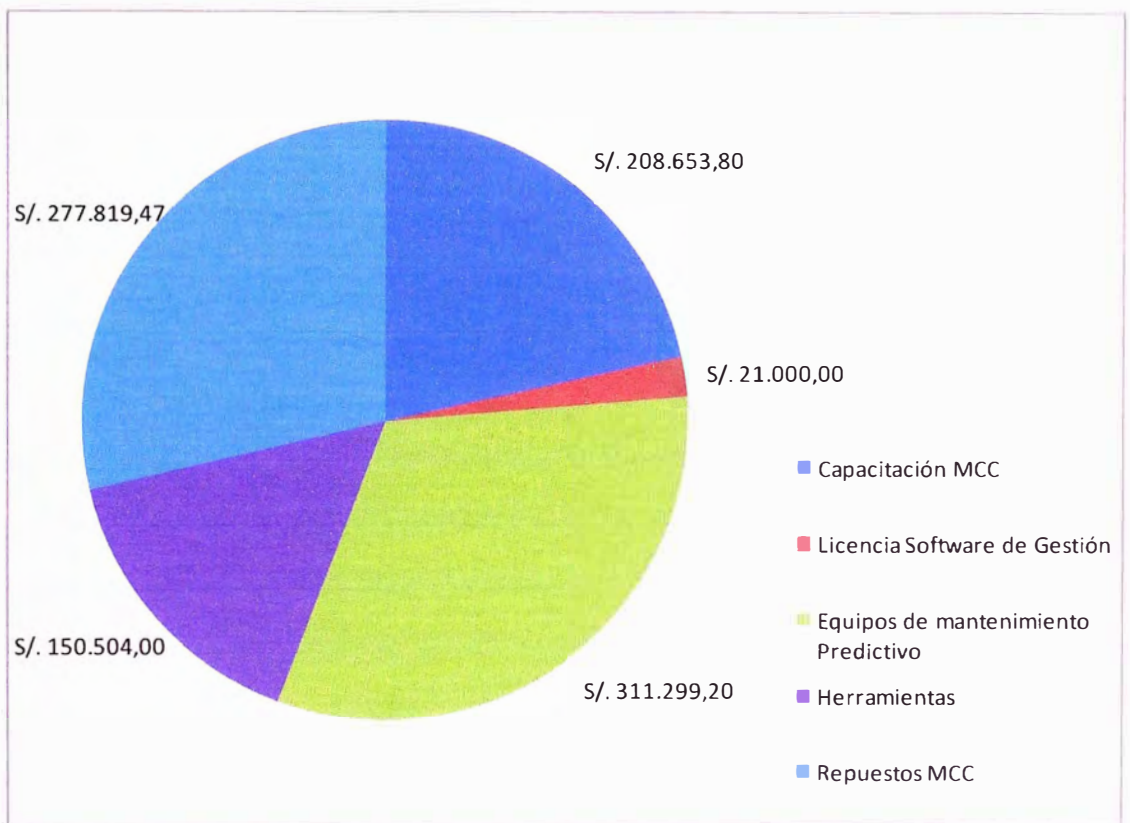


Fig. 5.1 Mantenimiento Tradicional vs. MCC.

Durante el primer año del proceso de implementación del programa de MCC se incurrieron en los siguientes costos, tal como se muestra en la siguiente distribución:



El análisis MCC para la Central Hidroeléctrica ha dado como resultado la compra de repuestos necesarios para minimizar la duración de tiempos muertos que podrían ser excesivos por causa de tiempos importación y transporte, estos tiempos son parte del proceso normal de consecución de dichas actividades que se tornan tiempos significativos cuando se trata de reponer la operación de los equipos durante una situación de falla. La

siguiente tabla muestra los elementos necesarios para garantizar la confiabilidad de la operación de la Central Hidroeléctrica.

También se contempla la compra de un software gestión de mantenimiento para realizar el registro, la planificación y seguimiento de las actividades de mantenimiento.

CONCLUSIONES

1. Los mayores tiempos utilizados fueron en la recopilación de información ya que no se contaba con ella. Normalmente el MCC rinde resultados muy rápidamente. De hecho, si ellos se enfocan y se aplican correctamente, las revisiones del MCC pueden pagarse por sí mismo en materia de meses. Las revisiones transforman los requisitos de mantenimiento percibidos de los recursos físicos usados por la organización y la manera en las que la función de mantenimiento se percibe en su conjunto.
2. El costo de implementación de esta técnica de mantenimiento centrado en confiabilidad significa un gran costo de inversión para la organización. Por lo que es indispensable el compromiso de la alta gerencia.
3. Si el MCC es usado correctamente para volver a evaluar los requisitos de mantenimiento de los activos existentes, transformará ambos requisitos y la forma en que es percibida la función mantenimiento como operación total. El resultado es un mantenimiento menos costoso, más armonioso y más eficaz.
4. Es necesaria la adquisición de herramientas de computo para poder manejar el gran volumen de información generada tanto para la ejecución de los análisis así como para almacenar la información histórica que se irá

generando tras la ejecución de las tareas de mantenimiento, de tal forma que esto permita en el futuro una exploración rápida y sencilla de la información histórica generada por cada actividad de mantenimiento asociada a un equipo.

5. Todos estos problemas son parte de la corriente principal de gestión del mantenimiento y muchos ya son el objetivo de los programas de mejora. Un rasgo mayor del MCC es que provee una estructura gradual eficaz para seguirla por todos enseguida y para involucrar a todos los que tenemos algo que ver con el equipo en el proceso.

RECOMENDACIONES

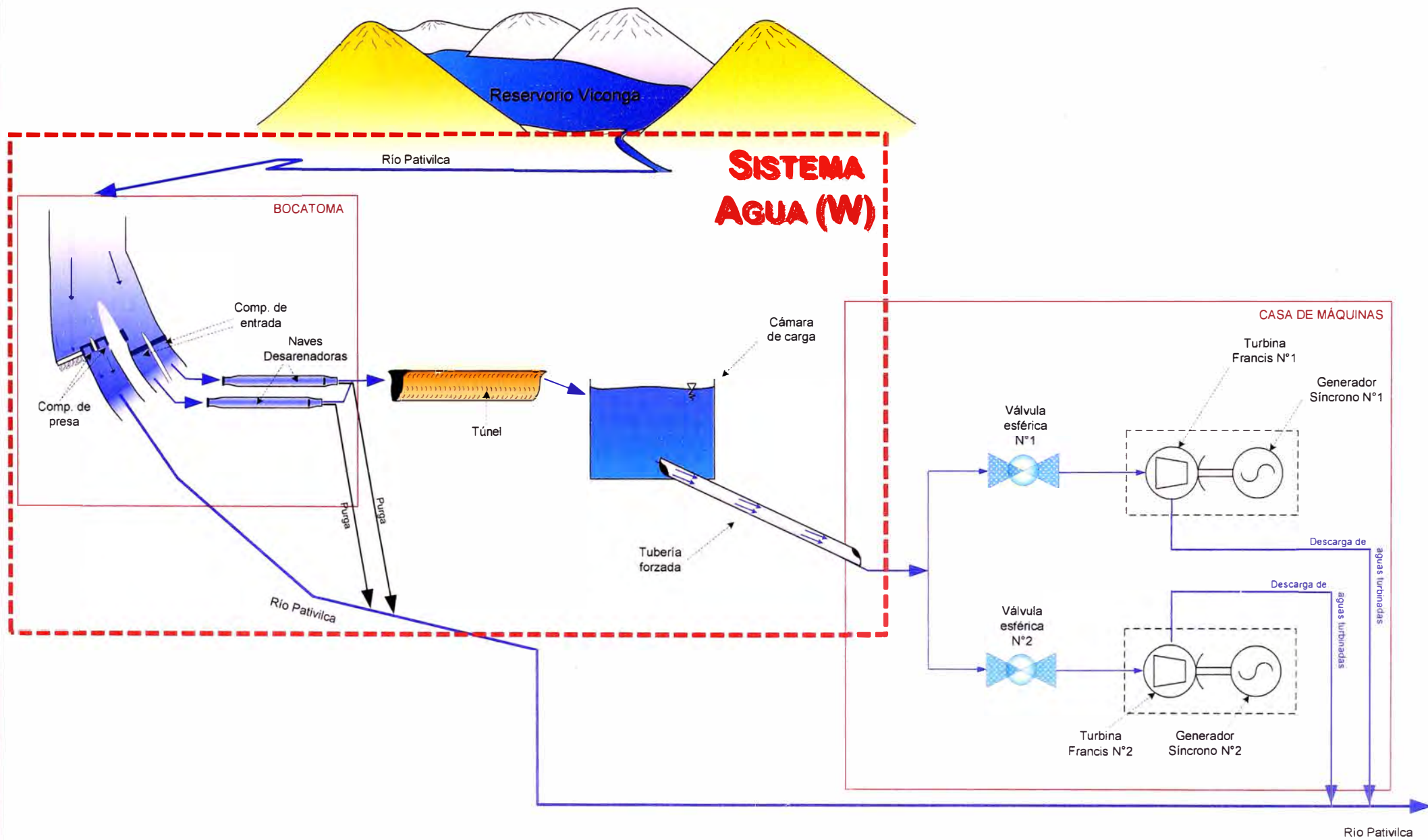
1. La Empresa debe documentar adecuadamente los resultados del programa de mantenimiento preventivo basados en la confiabilidad con la finalidad de solicitar una certificación internacional
2. Los resultados de la optimización del mantenimiento preventivo, expresados en los indicadores correspondientes, deben monitorearse continuamente para la mejora continua.
3. Se deben implementar programas de motivación a fin de que el personal aporte en forma permanente sus sugerencias para la optimización del programa.
4. Estudiar la alternativa de implementar los modernos programas de evaluación de proyectos que son dinámicos al tomar en cuenta el riesgo, tal como el de las Opciones Reales.

BIBLIOGRAFÍA

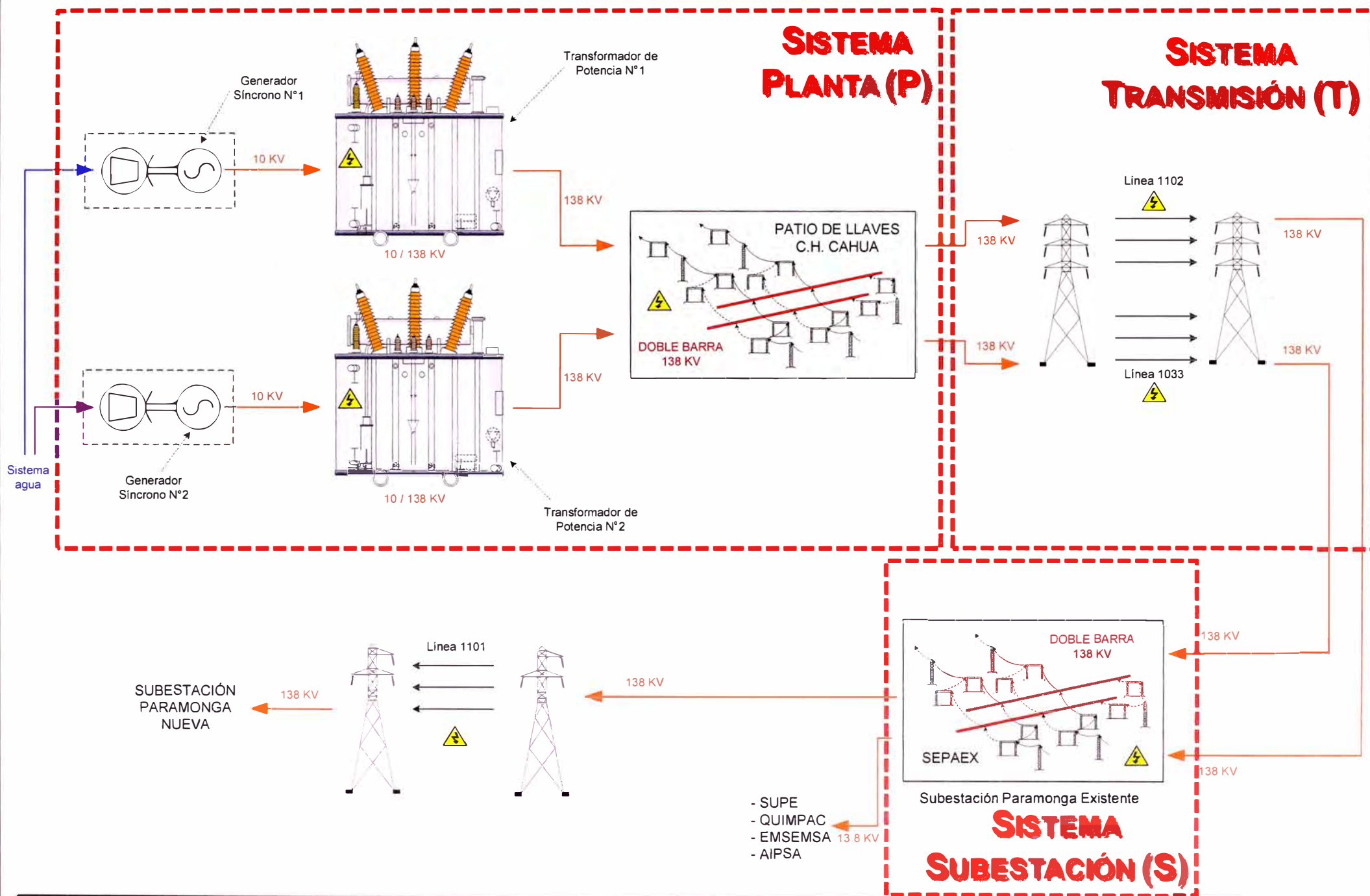
1. The evolution of reliability: How RCM developed as a viable maintenance approach, The Reliability Handbook, Vol. 23 por Jardine, A.
2. Diseño de un sistema de apoyo para la administración de capacidad en la industria de arriendo de equipos Industriales, 2007 por Juan Pablo Torres Cabrera.
3. Gestión del mantenimiento Basado en la Confiabilidad por TECSUP.
4. Administración Moderna del Mantenimiento por Lourival Augusto Tavares.
5. Material académico del Curso de Titulación. Docente: Víctor Ortiz.

PLANOS

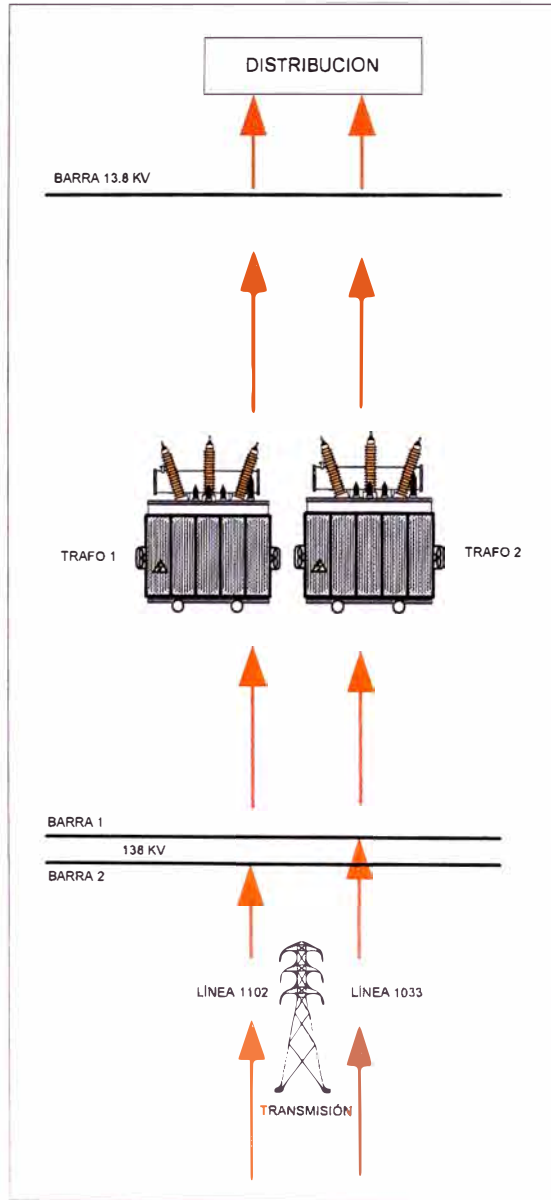
SISTEMA AGUA PRINCIPAL



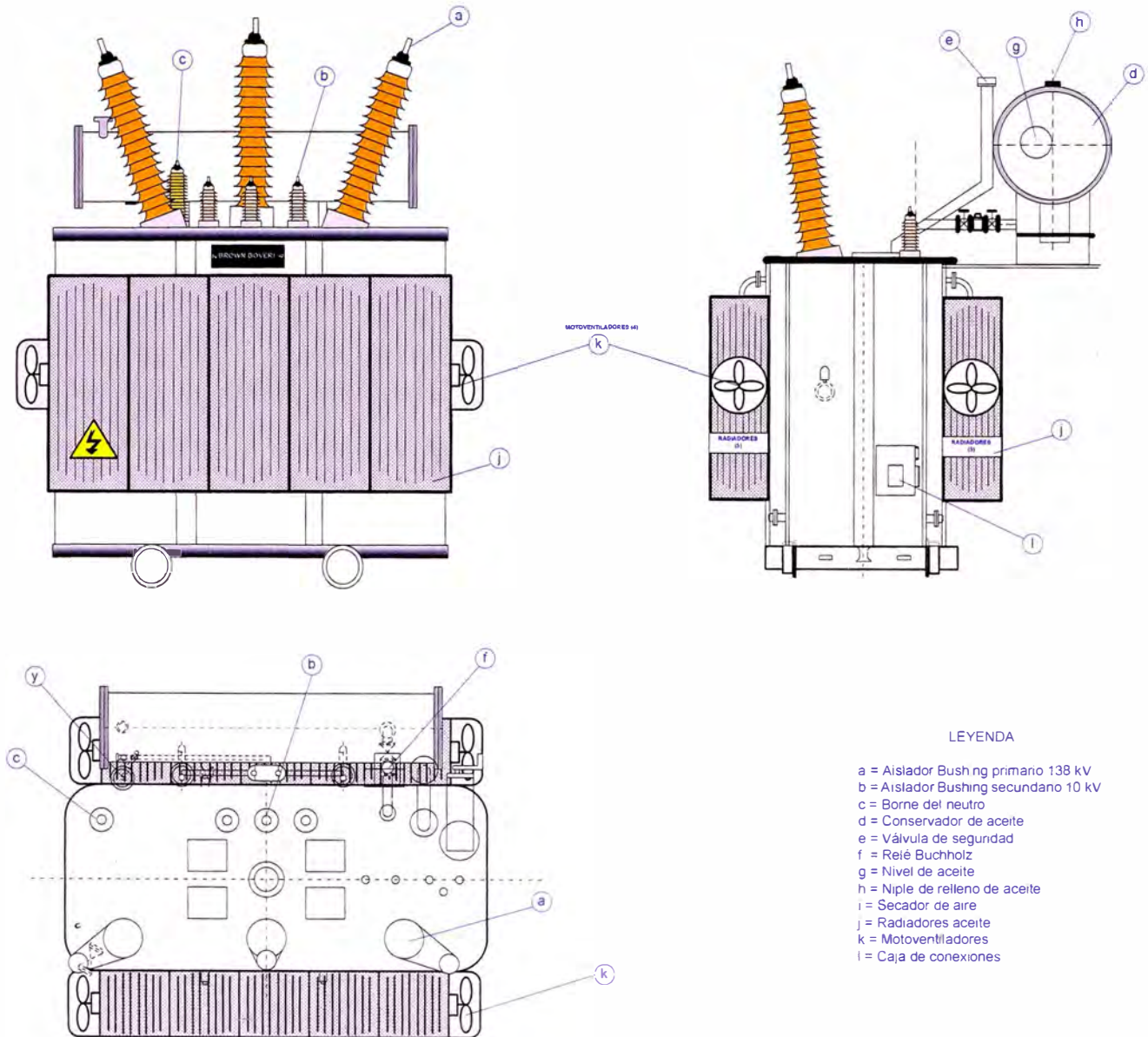
SISTEMA ELÉCTRICO PRINCIPAL



ESQUEMA DE LOCALIZACION DEL PROCESO



TRANSFORMADOR DE POTENCIA



LEYENDA

- a = Aislador Bush ng primario 138 kV
- b = Aislador Bushing secundano 10 kV
- c = Borne del neutro
- d = Conservador de aceite
- e = Válvula de seguridad
- f = Relé Buchholz
- g = Nivel de aceite
- h = Niple de relleno de aceite
- i = Secador de aire
- j = Radiadores aceite
- k = Motoventiladores
- l = Caja de conexiones

APENDICE

