

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM EN GRUPO GENERADOR DE EJE HORIZONTAL DE 24 MVA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELÉCTRICISTA

PRESENTADO POR:

CARLOS CAMILO FLORES REYES

**PROMOCIÓN
1998 – I**

**LIMA – PERÚ
2010**

**APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD RCM EN GRUPO GENERADOR DE EJE
HORIZONTAL DE 24 MVA DE UNA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA**

Por siempre, mi agradecimiento a mis padres por la formación que me brindaron y a mis hermanos por el apoyo incondicional.

SUMARIO

El tema principal del presente informe de suficiencia es la aplicación de la metodología para realizar el estudio del mantenimiento centrado en confiabilidad o Reliability Centered Maintenance (RCM) en un grupo generador de 24MVA de eje horizontal de una central hidroeléctrica. Para realizar el estudio RCM, hemos considerado que el grupo generador en estudio tiene las mismas características técnicas y condiciones de operación a uno de los grupos generadores que se tiene en la central hidroeléctrica de Yaupi de la empresa Electroandes S.A.

El objetivo de la aplicación del estudio RCM en un grupo generador es elaborar un plan de mantenimiento periódico, el cual está constituido por las estrategias de mantenimiento que aplican a cada equipo componente del generador desde un enfoque técnico-económico, y además estas deben ser de fácil implementación en un plan de mantenimiento.

En los primeros dos capítulos del informe se explica el objetivo y el alcance del tema del informe y también una breve introducción al RCM. En capítulo tercero, se explica la metodología para efectuar la aplicación del estudio RCM para un equipamiento en general.

La aplicación de la metodología del estudio RCM en un grupo generador de 24MVA de eje horizontal de una central hidroeléctrica de características similares a la central hidroeléctrica de Yaupi, es abarcado por el cuarto capítulo del informe, en donde después de realizar el estudio RCM de los componentes críticos del grupo generador se tiene el plan de mantenimiento periódico.

En la parte final del informe se encuentra las conclusiones y recomendaciones y una sección de anexos que contiene el detalle del desarrollo del estudio RCM de cada equipo o sistema crítico que componen el grupo generador.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
ANTECEDENTES	2
1.1. Objetivo	2
1.2. Alcance	3
CAPITULO II	4
EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	4
2.1. Introducción al mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	4
2.2. Historia del mantenimiento centrado en confiabilidad	5
2.3. Definición, justificación y fundamentos del mantenimiento centrado en confiabilidad	5
2.3.1. Definición de RCM	5
2.3.2. Justificación del RCM	5
2.3.3. Fundamentos	6
CAPITULO III	7
METODOLOGIA DE APLICACIÓN DEL ESTUDIO RCM	7
3.1. Paso 1. Selección de equipos críticos	7
3.2. Paso 2. Definición de fronteras	8
3.2.1. Fronteras	8
3.2.2. Interfaz	8
3.2.3. Datos del equipo	9
3.2.4. Condiciones ambientales	9
3.2.5. Condiciones de operación	9
3.2.6. Información adicional	9
3.2.7. Formato	9
3.3. Paso 3. Definición de funciones	11
3.3.1. Función primaria	11
3.3.2. Funciones secundarias	11
3.3.3. Funciones de protección o seguridad	11
3.3.4. Contexto operacional	12
3.3.5. Estándar de funcionamiento	12

3.4.	Paso 4. Definición de fallas funcionales	13
3.5.	Paso 5. Definición de modos de falla	14
3.6.	Paso 6. Identificación de los efectos	16
3.7.	Paso 7. Análisis de consecuencias y evaluación de severidad	17
3.7.1.	Análisis de consecuencias	17
3.7.2.	Variables de consecuencia de falla	23
3.7.3.	Calculo de la Severidad (S)	24
3.7.4.	Grados de severidad	24
3.8.	Paso 8. Asignación de causas dominantes	25
3.9.	Paso 9. Selección de tareas de mantenimiento costo - efectivas y árbol lógico de decisión	26
3.9.1.	Probabilidad de fallas	26
3.9.2.	Mantenimiento predictivo	27
3.9.3.	Mantenimiento preventivo	31
3.9.4.	Tareas de búsqueda de fallas	31
3.9.5.	Cambio de diseño	32
3.9.6.	Ningún mantenimiento	32
3.9.7.	Determinación cualitativa de frecuencias	32
3.9.8.	Árbol lógico de decisión	33
3.9.9.	Retroalimentación	36
3.10.	Paso 10. Comparación de tareas de mantenimiento y definición de estrategia final	36
3.11.	Paso 11. Implementación de la estrategia, seguimiento de resultados y actualización del estudio (retorno a la experiencia)	37
	CAPITULO IV	39
	APLICACIÓN DEL RCM EN GRUPO GENERADOR DE EJE HORIZONTAL DE 24 MVA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	39
4.1.	Selección de equipos críticos	39
4.2.	Definición de fronteras	43
4.2.1.	Formatos de fronteras	43
4.3.	RCM de equipos y sistemas de grupo generador	43
4.4.	Selección de las estrategias finales y el plan de mantenimiento	44
4.5.	Implementación del plan de mantenimiento, seguimiento de resultados y actualización del estudio	50
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
	ANEXOS	53

ANEXO A: RCM-001 TURBINA	54
ANEXO B: RCM-002 GENERADOR	64
ANEXO C: RCM-003 COJINETES DE APOYO	68
ANEXO D: RCM-004 EXCITATRIZ PRINCIPAL	72
ANEXO E: RCM-005 REGULADOR DE VELOCIDAD	80
ANEXO F: RCM-006 VÁLVULA DE ADMISIÓN	85
ANEXO G: RCM-007 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	90
ANEXO H: RCM-008 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	97
ANEXO I: RCM-009 SISTEMA CONTRA INCENDIO	101
ANEXO J: RCM-010 SISTEMA FRENO	106
ANEXO K: DATOS TÉCNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA YAUPI	109
BIBLIOGRAFÍA	110

INTRODUCCIÓN

El propósito del presente informe de suficiencia es explicar la metodología empleada en la aplicación del estudio RCM de los componentes o equipos de un grupo generador de 24 MVA de eje horizontal de una central hidroeléctrica. El estudio RCM de los componentes o equipos de un grupo generador de una central hidroeléctrica tiene como objetivo identificar las estrategias de mantenimiento que técnico – económico aplican a cada uno de los equipos en estudio y finalmente ser implementados en un plan de mantenimiento periódico. El desarrollo del estudio RCM se fundamenta en la confiabilidad del equipo o sistema en un contexto de operación.

Para iniciar el estudio RCM a los componentes críticos de un grupo generador de eje horizontal de una central hidroeléctrica fue necesario indicar el contexto de operación del grupo generador en estudio. Razón por la que se consideró que el grupo generador en estudio tiene las mismas características técnicas y operación similar a uno de los grupos generadores de la central hidroeléctrica de Yaupi, de la empresa Electroandes S.A., la cual está conformada por cinco grupos generadores de eje horizontal de 24 MVA, en donde cada grupo generador es accionado por una turbina del tipo pelton de dos inyectores.

El contenido del informe de suficiencia abarca los siguientes temas, en el primer capítulo se expone los antecedentes, objetivo y el alcance del estudio, para luego, en el segundo capítulo hacer una breve introducción al RCM. La explicación a detalle de la metodología para la aplicación del estudio RCM en un equipo genérico es abordada en el tercer capítulo en donde se han incluido ejemplos de temas genéricos para el mejor entendimiento de la metodología. En el capítulo cuatro se hace un resumen de la aplicación del estudio RCM de los componentes críticos de un grupo generador que opera en un determinado contexto, obteniéndose finalmente un programa de mantenimiento que se centra en la confiabilidad del equipo. En la sección de anexos del informe se adjuntan los estudios RCM completos de cada equipo o sistema crítico del grupo generador.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

En la actualidad las tareas de mantenimiento en los grupos generadores de una central hidroeléctrica se ejecutan con la finalidad de dar cumplimiento a los programas de mantenimientos: de corto, mediano y largo plazo regulados por el COES.

El mantenimiento de los componentes o equipos de los grupos generadores está a cargo por lo general de un área de mantenimiento, que es la encargada de la gestión del mantenimiento el cual comprende el planeamiento de los trabajos y su ejecución.

Para el planeamiento de los trabajos de mantenimiento se tienen en cuenta: la estrategia, la frecuencia, duración y calidad del trabajo de mantenimiento, los cuales tienen incidencia directa en los indicadores de mantenimiento y en la disponibilidad de los grupos generadores. La ejecución del plan de mantenimiento implica cumplir los programas de mantenimiento en las fechas programadas con el fin de reducir la tasa de ocurrencia de acciones correctivas ante fallas de algún componente o equipo. El objetivo del área de mantenimiento es garantizar el buen funcionamiento y la disponibilidad de los grupos generadores. Los programas de mantenimiento se incluyen todos los trabajos de mantenimiento que se realizarán en la unidad de generación, los cuales se deben ejecutar en las fechas planeadas y en los tiempos propuestos y deben de ser comunicado al personal de mantenimiento con anticipación.

La necesidad de mejorar los programas de mantenimiento conlleva a la búsqueda de una filosofía de mantenimiento que permita determinar si las prácticas actuales en mantenimiento son las correctas, si se están realizando en el momento oportuno y si son las que técnico-económico aplican. La filosofía de mantenimiento que permite dar respuesta a estas interrogantes es el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. La metodología para la aplicación del estudio de RCM es presentada en este informe de suficiencia.

1.1. Objetivo:

Realizar la aplicación de la metodología para el estudio del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a los equipos y componentes electromecánicos críticos de un grupo generador de eje horizontal de 24MVA de una central hidroeléctrica, con el objetivo de identificar las mejores prácticas de mantenimiento que técnico-económico que aplican

y su implementación en un plan de mantenimiento periódico que se centra en la confiabilidad del equipo.

1.2. Alcance

El alcance del informe de suficiencia considera realizar el estudio RCM a los equipos y componentes eléctricos y mecánicos del grupo generador de 24MVA de eje horizontal, que se le ha dado la categoría de crítico:

- Turbina pelton – eje horizontal
- Generador síncrono 24 MVA
- Cojinetes de apoyo de turbina y de generador
- Válvula de admisión principal.
- Excitatriz principal.
- Regulador de velocidad.
- Sistema de refrigeración del generador y chumaceras
- Sistema de lubricación.
- Sistema contra incendio.
- Sistema de freno.

En el estudio RCM a estos los equipos y componentes eléctricos y mecánicos que conforman un sistema, se tienen en cuenta los costos que se incurren en la ejecución de la tarea de mantenimiento (costos del mantenimiento y costos de repuestos críticos), el lucro cesante por indisponibilidad de la unidad, también hemos considerado los aspectos e impactos al medio ambiente, los peligros y riesgos asociados a la persona, las leyes y normativas del país que aplican al sub sector de generación de energía eléctrica.

CAPITULO II

EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

2.1. Introducción al mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

Desde la década de los sesenta, las organizaciones dedican muchos esfuerzos a mejorar la gestión del mantenimiento. Se capacita al personal, se busca mejorar la disponibilidad y reducir los costos, apoyándose en sistemas o software especializados, pero:

¿Estamos realizando las tareas correctas?

De nada sirve hacer tareas “correctamente” si no son las tareas “correctas”.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad MCC o RCM (Reliability Centered Maintenance), es una metodología de mantenimiento de tercera generación y sostiene que:

- Lo importante no es la falla, sino la consecuencia de la falla.
- Dos máquinas idénticas pueden requerir estrategias de mantenimiento totalmente distintas, porque trabajan en contextos operacionales diferentes.
- No todas las fallas ocurren en función del envejecimiento del componente o equipo.

Asimismo, el RCM permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento correctas, que aseguren:

- Alta disponibilidad
- Confiabilidad
- Seguridad de personas e instalaciones
- Calidad del producto o servicio
- Cuidado del medio ambiente
- Costo - eficacia

El estudio RCM es multidisciplinario, pues requiere de la participación de personas de las siguientes áreas:

- Operación, porque saben de la importancia de cada activo para la operación del sistema.
- Mantenimiento, porque conocen del estado de los equipos y las tareas de mantenimiento para cada activo.
- Comercial, porque conocen de los ingresos, multas y compensaciones.

- Seguridad y Medio ambiente, porque darán las recomendaciones a considerar respecto de la seguridad del personal y la conservación del medio ambiente.

2.2. Historia del mantenimiento centrado en confiabilidad

En la década de los sesenta, existía una alta incidencia de fallas en los aviones que producían accidentes graves de consecuencias fatales. De cada un millón de aviones comerciales que despegaban, 60 sufrían este tipo de accidentes. En aquel entonces se analizó que de producirse un gran incremento del tráfico aéreo, la industria de la aviación se tornaría inviable por insegura y por los altísimos costos de mantenimiento.

Es así como la industria aeronáutica de los EEUU desarrolla el RCM logrando reducir drásticamente la ocurrencia de accidentes fatales por fallas en los aviones. Así, en los años noventa, se registraron hasta 2 accidentes graves de consecuencias fatales, por cada millón de despegues.

Debido a los buenos resultados, el año 1973 el Departamento de Defensa de los EEUU incorporó el RCM en aplicaciones militares y posteriormente el año 1984 el EPRI aplicó RCM para reducir los costos en centrales nucleares. A partir del año 2005 las principales empresas de generación y transmisión de energía en Perú consideran el estudio RCM en sus políticas de mantenimiento.

2.3. Definición, justificación y fundamentos del mantenimiento centrado en confiabilidad

2.3.1. Definición del RCM

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM: Reliability Centered Maintenance) es una metodología sistemática y estructurada que se utiliza para determinar los requerimientos de mantenimiento de los activos en su contexto de operación, a partir del cual se crea o modifica un programa de mantenimiento periódico.

La metodología conduce a seleccionar tareas de mantenimiento solo si las consecuencias de las fallas así lo requieren.

Consiste en efectuar un estudio exhaustivo de las funciones de los equipos, sus posibles fallas funcionales, los modos de falla, las causas de fallas, los efectos y consecuencias de las fallas.

A partir de esta evaluación, se determinan las estrategias más adecuadas al contexto de operación, cuidando que sean técnicamente factibles y económicamente viables.

2.3.2. Justificación del RCM

La justificación de la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM está basada en los beneficios obtenidos por la empresa que opta por hacer un estudio de RCM. En la figura 2.1 se muestra los beneficios que se logran con el estudio RCM.



Fig. 2.1. Justificación del RCM

2.3.3. Fundamentos

La metodología RCM hace 7 preguntas secuenciales lógicas acerca de la función, el modo de ocurrencia de una falla y consecuencias, en los equipos seleccionados para el estudio:

1. ¿Cuáles son las funciones? FUNCIÓN
2. ¿De qué manera la función no se cumple?..... FALLA FUNCIONAL
3. ¿De qué modo falla el equipo, respecto de su función en el contexto operacional?
..... MODO DE FALLA
- ¿Qué causa cada modo de falla?..... CAUSAS
4. ¿Qué pasa cuando ocurre una falla?..... EFECTOS
5. ¿En qué forma afecta una falla?..... CONSECUENCIAS
6. ¿Qué se puede hacer para prevenir cada modo de falla?
..... TAREAS DE MANTENIMIENTO
7. ¿Qué se puede hacer si no se puede prevenir el modo de falla?
.....ÁRBOL DE DECISIÓN

CAPITULO III

METODOLOGIA DE APLICACIÓN DEL ESTUDIO RCM

La aplicación del estudio RCM comprende la ejecución de los siguientes pasos:

Paso 1. Selección de equipos críticos

Paso 2. Definición de fronteras

Paso 3. Definición de funciones

Paso 4. Definición de fallas funcionales

Paso 5. Definición de modos de falla

Paso 6. Identificación de los efectos

Paso 7. Análisis de consecuencias y evaluación de severidad

Paso 8. Asignación de causas dominantes

Paso 9. Selección de tareas de mantenimiento costo-efectiva y árbol lógico de decisión

Paso 10. Comparación de tareas de mantenimiento y definición de estrategia final

Paso 11. Implementación de la estrategia, seguimiento de resultados y actualización del estudio (retorno a la experiencia)

3.1. Paso 1. Selección de equipos críticos

El primer paso del estudio es seleccionar los equipos o sistemas críticos a los cuales se les realizará todo el análisis del estudio RCM. Los equipos o sistemas se seleccionan teniendo en cuenta los criterios siguientes:

- Económico
- Operativo
- Seguridad
- Medio ambiente
- Imagen corporativa
- Costo de repuestos
- Costo de reparación

Al considerar los criterios anteriores, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Pérdida económica causada por menores ingresos percibidos, pago de compensaciones y penalidades.
- Gran cantidad de actividades de mantenimiento preventivo (MP) o alto costo de estas actividades.

- Gran cantidad de actividades de mantenimiento correctivo (MC) o alto costo de estas actividades.
- Paradas parciales o totales de producción.
- Seguridad física del personal propio o de terceros.
- Afectación al medio ambiente.
- Cumplimiento de exigencias regulatorias del OSINERGMIN, COES, MINEM.

3.2. Paso 2. Definición de fronteras

En la definición de fronteras del equipo o sistema a los cuales se le va a hacer el estudio RCM, se recomienda tener en cuentas los siguientes puntos:

3.2.1. Fronteras

Se deben establecer los límites o fronteras del estudio de cada equipo o sistema para poder centrarse específicamente en el elemento a analizar. Se requiere definir con toda exactitud que se va incluir en el estudio con la finalidad de evitar que equipos o sistemas consecutivos se traslapen.

Dependiendo del elemento que se seleccione como crítico para el estudio, se tendrán fronteras de equipos, fronteras de sistemas y fronteras de sub-sistemas. Para definir correctamente las fronteras se recomienda:

- Delimitar considerando las funciones principales del equipo
- Minimizar el número de subsistemas

3.2.2. Interfaz

La interfaz se determina al definir las variables de entrada y salida a los equipos o sistemas en estudio.

Mediante una revisión minuciosa del equipo o sistema se debe determinar que variables entran y que variables salen del equipo o sistema. Entre las más comunes entradas y salidas se tienen:

- Tensión CA y CC de alimentación
- Señales de alarma
- Señales de los sistemas de protección
- Señales SCADA
- Señales de control
- Señales de estado
- Aire comprimido
- Agua del sistema de enfriamiento

La interfaz no forma parte del estudio RCM del equipo y se asume disponible. Es decir, para el estudio tanto las variables de entrada como las de salida siempre estarán

disponibles. Si es bastante probable la falta de alguna variable de entrada o salida, se debe evaluar la posibilidad de efectuar un estudio específico para el equipo o subsistema que lo suministra. Por ejemplo al determinar las fronteras en un transformador de potencia se tiene:

- Tipo de equipo: Transformador de potencia trifásico 50 MVA.
- Límites físicos: Bushings, cuba, fundaciones, gabinete.
- Componentes propios a incluir: Cables de mando, control, protección, conectores de acometidas, puesta a tierra y sus conectores, fusibles, interruptores de CA y CC.
- Límites de los componentes: No se incluye el cableado de control externo al equipo, que llega al bloque de borneras pero si se incluye a las borneras.
- Elementos externos a excluir: Cables de acometida, red de tierra de la subestación.

3.2.3. Datos del equipo

Se indican las especificaciones técnicas o datos de placa del equipo en estudio para identificarlos correctamente y diferenciarlos de los demás equipos de su familia. Para cada equipo o sistema a estudiar se debe definir los datos técnicos a incluir en el formato de fronteras.

3.2.4. Condiciones ambientales

Se indican las variables de tipo ambientales a las cuales está expuesto el equipo. Se considera la temperatura, humedad, altitud, nivel de corrosión y grado de polución.

3.2.5. Condiciones de operación

Cada equipo dependiendo de su tipo o ubicación dentro del sistema tiene sus propias condiciones de operación. Por ejemplo un transformador de potencia que normalmente opera al 90% de su carga, que su cambiador de tomas bajo carga opera en promedio 50 veces al día entre las posiciones 5 y 10, que su demanda máxima es de 60 MVA, etc.

3.2.6. Información adicional

Se indica toda información relativa a historial del equipo, performance, tipos de protecciones y comentarios en general que ayuden al desarrollo del estudio.

3.2.7. Formato

Para la definición de las fronteras del estudio RCM de cada equipo o sistema se utiliza un formato preparado por el equipo de personas que participaron en el estudio RCM. El formato utilizado tiene en cuenta todos los puntos que abarca el paso 2 de la metodología. El uso de un formato de fronteras es de mucha utilidad en el momento cuando se definen los modos de fallas, se identifican sus efectos y consecuencias en otros equipamientos. En la figura 3.1. se muestra un ejemplo del tipo de formato que se puede utilizar para la definición de las fronteras de los equipos y sistema.

RCM	
FRONTERAS DEL ESTUDIO	
EQUIPO:	
N° :	
1. DATOS GENERALES	
Fecha	Central de generación
DATOS EN JOBTECH	
Ubicación técnica	Equipo
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
1.- Fabricante Año de fabricación Año de puesta en servicio N° de serie Altura Descarga 2.- Fabricante Año de fabricación Año de puesta en servicio	3.- Tipo Fabricante Año de fabricación Año de puesta en servicio N° de serie Código interno Número de cucharas Diámetro Exterior Diámetro Impulso Ancho de Cucharas Velocidad Nominal
3. CONDICIONES AMBIENTALES	
Temperatura ambiente Humedad Nivel de corrosión	Altitud Grado de polución
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN	
5. FRONTERAS	
6. INTERFAZ	
ENTRADAS	SALIDAS
7. INFORMACIÓN ADICIONAL	

Fig. 3.1. Formato utilizado para definir las fronteras de equipos

3.3. Paso 3. Definición de funciones:

El RCM se basa en las funciones de los equipos o sistemas, por tanto debe quedar bien claro y debe existir consenso en los miembros del equipo de trabajo cuando estas se definan. Las funciones de un equipo en su contexto operacional real no necesariamente coinciden con las funciones de diseño, por tanto se debe determinar el comportamiento funcional en todos sus aspectos: calidad, seguridad, cantidad de producción, costos. Si las funciones se definen correctamente, las tareas de mantenimiento que se determinen con el estudio realmente preservarán las funciones del equipo. Los equipos tienen tres tipos principales de funciones:

3.3.1. Función primaria

Es la razón principal por la cual el equipo existe y generalmente se reconoce por el nombre del equipo. Por ejemplo la función primaria de un transformador es "Transformar la potencia nominal en sus devanados".

3.3.2. Funciones secundarias

Son las funciones que debe cumplir el equipo en adición a su función principal para cumplir su estándar de funcionamiento y se pueda lograr el producto con la calidad y estándares esperados, es decir son aquellas requeridas para el correcto cumplimiento de la función primaria. Por ejemplo una función secundaria de un transformador es "Mantener la estanqueidad total del aceite". En términos generales podemos decir que las funciones secundarias pueden estar vinculadas a contención, soporte, higiene, seguridad, parámetros de control como presión, temperatura, caudal, etc. que están vinculadas a la calidad y cantidad producida.

3.3.3. Funciones de protección o seguridad

Los equipos tienen elementos de protección o seguridad automáticos, los cuales deben:

- Actuar una alarma cuando una función está alcanzando un nivel prefijado de desvío respecto a su funcionamiento normal.
- Detener el equipo cuando tal desvío alcanza un nivel de riesgo inaceptable.
- Poner en funcionamiento un equipo o elemento auxiliar que corrija, sustituyendo a la función principal, ante un desvío funcional inaceptable del equipo.
- Eliminar o disminuir las condiciones anormales que suceden debido a una falla o desvío funcional.
- Proteger contra situaciones naturalmente inseguras para otorgar un nivel de seguridad aceptable.

Generalmente estas funciones de protección no son evidentes (funciones ocultas), es decir que en condiciones normales de funcionamiento del equipo se desconoce si tal

función está en condiciones de operar cuando es requerida. Para definir las funciones de los equipos se debe conocer con mucha claridad el contexto en el cual opera el equipo y su estándar de funcionamiento.

3.3.4. Contexto operacional

El contexto operacional reúne las condiciones requeridas por el equipo para que cumpla las funciones requeridas por el usuario. El contexto operacional comprende las condiciones de operación o funcionamiento del equipo, ambientales y de seguridad. Los siguientes conceptos se han de tener en cuenta para definir el contexto operacional:

- **Proceso:** El proceso que realiza el equipo en estudio.
- **Redundancia o respaldo:** Se debe identificar si existe redundancia para tener en cuenta en la selección de tareas.
- **Calidad:** Dependerá del producto esperado por el cliente o por los niveles adecuados para no transgredir la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE).
- **Ambiental:** Se debe determinar la medida en que las operaciones afectan al medio ambiente.
- **Seguridad:** Se debe determinar la medida en que las operaciones afectan la seguridad física de las personas.
- **Carga de trabajo:** Se debe conocer a que carga estará sometido el equipo, porque a dos equipos similares se les asignarán diferentes tareas de mantenimiento si están sometidos a diferentes cargas.

3.3.5. Estándar de funcionamiento

Otro aspecto muy importante para definir las funciones de los equipos, es conocer su estándar de funcionamiento. El estándar de funcionamiento es el valor o rendimiento que el usuario espera del equipo. Lo que normalmente debe ocurrir es que el valor nominal del equipo sea superior al estándar de funcionamiento. La diferencia entre el valor nominal (capacidad inicial) y el valor del estándar de funcionamiento se conoce como margen de deterioro y es representada en la figura 3.2.

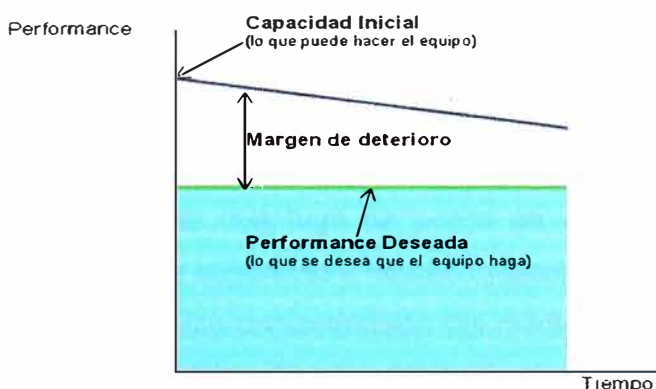


Fig. 3.2. Margen de deterioro de un equipo

Por ejemplo, al definir la función primaria de un transformador como “Transformar la potencia nominal en sus devanados”, estamos indicando como estándar de funcionamiento la potencia nominal del transformador.

- En general, la función de un equipo se define con:
- Un verbo, generalmente en infinitivo. (Transformar)
- Un propósito u objeto. (la potencia)
- Una performance o estándar de funcionamiento. (nominal)
- Ejemplo de definición de la función de una bomba
- Función de la bomba: bombear agua del tanque X al tanque Y con un caudal de 800 litros/minuto o más.
- Un verbo: bombear
- Un propósito: agua del tanque X al Y
- Una performance: caudal de 800 litros/minuto o más.

3.4. Paso 4. Definición de fallas funcionales

Falla funcional es la incapacidad de un equipo de cumplir un estándar de funcionamiento deseado. Al definir una falla funcional se describe como: NO se cumple la función. Se puede decir entonces, que la falla funcional es la negación de la función.

Una falla funcional puede estar referida a una falla total o parcial del equipo. Se denomina falla total si el equipo pierde completamente la función y deja de funcionar. Una falla parcial es aquella que luego de manifestarse, el equipo sigue funcionando pero sin cumplir su estándar de funcionamiento.

También se presenta una falla funcional si el equipo no cumple con los límites establecidos en su estándar de funcionamiento. En algunos equipos su estándar de funcionamiento define un límite superior de precisión, en otros un límite inferior y en algunos se define un rango de funcionamiento con límites superior e inferior y debe cumplirse ambos.

Como un equipo puede tener más de una función, puede presentar diferentes fallas funcionales. Para definir correctamente las fallas funcionales se debe describir de manera general como se deja de cumplir la función, se debe cuidar de no describir como o porque ocurrió la falla y no se debe incluir a ningún componente del equipo. Para cada función del equipo se debe definir sus fallas funcionales.

Por ejemplo si se presenta una fuga de aceite en un cojinete de una máquina rotativa, para el responsable de seguridad y medio ambiente lo considerará falla cuando caiga aceite al piso porque implica contaminación del medio ambiente y riesgo para que una persona resbale, para el responsable de lubricación será falla cuando el consumo de lubricante sea significativo, para el operador será falla cuando aparezca la alarma de

sobre-temperatura de cojinete o cuando se detenga la máquina por agarrotamiento del cojinete.

Ejemplo de fallas funcionales en un transformador de potencia

Equipo: Transformador de potencia trifásico de 50 MVA

Tabla N°3.1. Fallas funcionales en un transformador de potencia

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL
Transformar la potencia nominal en sus devanados	No transforma la potencia nominal en sus devanados
	Transforma potencia parcialmente

Ejemplo de fallas funcionales en una máquina envasadora

Equipo: Máquina envasadora de cemento blanco

Tabla N°3.2. Fallas funcionales en una máquina envasadora

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL
Llenar 60 bolsas por minuto, de 1 kg, con una tolerancia de +/- 5 gramos	No llena bolsas de cemento (Se detiene la máquina)
	Llena menos de 60 bolsas por minuto
	Llena bolsas con más de 1005 gramos
	Llena bolsas con menos de 995 gramos

3.5. Paso 5. Definición de modos de falla

El modo de falla describe como el equipo falla respecto de su función en el contexto operacional.

Para definir correctamente los modos de falla se deben describir de forma general como falla el equipo, no se deben indicar las causas de las fallas y la falla debe ser dominante. Se denomina modo de falla dominante, a aquel que es razonablemente probable que ocurra si no se le realiza mantenimiento al equipo.

Los modos de falla se pueden producir por lo siguiente:

- Incapacidad del equipo: Por diseño del equipo, su capacidad no satisface el estándar de funcionamiento esperado.
- Sobrecargas del equipo: Los equipos se pueden sobrecargar de manera intencionada o no intencionada. La sobrecarga es intencionada cuando se produce por necesidades de operación y se conocen las consecuencias. Si las sobrecargas son por periodos prolongados de tiempo producirán envejecimiento prematuro del

equipo. La sobrecarga es no intencionada cuando se desconoce que un equipo se está sobrecargando y por tanto puede estar sometido a este régimen por largos periodos de tiempo teniendo como consecuencia la falla del equipo.

- También se pueden presentar sobrecargas súbitas no intencionadas, provocadas por error en la operación. Generalmente son de periodos cortos de tiempo y no producen fallas inmediatas pero deterioran el equipo.
- Pérdida de capacidad del equipo: La pérdida de capacidad del equipo puede ser parcial o total. En ambos casos no se satisface el estándar de funcionamiento esperado.
- Las listas de modos de falla deben incluir:
 - Modos de falla que han ocurrido antes.
 - Modos de falla que estén actualmente siendo prevenidos por programas de mantenimiento existentes.
 - Modos de falla que no hayan ocurrido aún, pero se piense sean razonablemente probables (creíbles) en el contexto operacional.
 - Asimismo, debe incluir cualquier evento o proceso que sea probable que cause una falla funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño, y error humano causado por operadores o personal de mantenimiento.
 - Para cada falla funcional se deben definir todos los modos de falla razonables, aun cuando la probabilidad de ocurrencia sea baja.
 - La descripción debe ser general, sin indicar las causas.

Modos de falla típicos:

Los modos de fallas típicos y frecuentes que se tienen han identificado son:

- Fractura
- Separación
- Deformación
- Desgaste
- Corrosión
- Abrasión
- Desbalance
- Rugosidad
- Des-alineamiento
- Agarrotamiento
- Mal montaje
- Seccionamiento

- Rotura
- Acortamiento
- Sobre temperatura

Ejemplo de los modos de fallas de un transformador de potencia.

Equipo: Transformador de potencia trifásico de 50 MVA

Función: Transformar la potencia nominal en sus devanados

Tabla N°3.3. Modos de Fallas en un transformador de potencia

FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA
No transformar la potencia nominal en sus devanados	Pérdida de conexión del conector terminal.
	Pérdida del aislamiento interno
	Pérdida del aislamiento del bushing

3.6. Paso 6. Identificación de los efectos

Los efectos describen lo que pasa cuando ocurre un modo de falla. La descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder evaluar las consecuencias, debe describirse como si no se estuviera haciendo algún tipo de mantenimiento para prevenir fallas y debe considerarse que el resto de dispositivos funcionan normalmente.

Al describir los efectos se debe señalar:

- Las evidencias que indican la ocurrencia de la falla.
- El grado de afectación a la seguridad física de las personas.
- El grado de afectación al medio ambiente.
- Los daños que puede sufrir el equipo fallado.
- Los daños que puede provocar a otros equipos.
- El tiempo que puede afectar a la operación.
- El tiempo que puede demorar la reparación del equipo fallado.
- El costo de la reparación del equipo fallado.
- El lucro cesante, compensaciones o penalidades.
- La afectación de la imagen corporativa.
- Si se está afectando a un cliente.

Ejemplo de efectos de un modo de fallas en un transformador de potencia.

Equipo: Transformador de potencia trifásico de 50 MVA

Función: Transformar la potencia nominal en sus devanados

Falla funcional: No transforma la potencia nominal en sus devanados

Tabla N°3.4. Efectos de modos de fallas en un transformador de potencia

MODO DE FALLA	EFECTOS
Pérdida de conexión del conector terminal	<p>La falla se evidencia al presentarse el desprendimiento del conductor del lado del bushing.</p> <p>Puede afectar la seguridad de las personas si alguien está cerca.</p> <p>No afecta al medio ambiente.</p> <p>Puede requerirse cambio de conector y cable.</p> <p>La reparación dura de 3 a 4 horas.</p> <p>Puede dañar el bushing en el momento del desprendimiento, en este caso el tiempo de reparación es mayor.</p> <p>Puede provocar pago de compensaciones y penalidades muy altas.</p> <p>Puede provocar pérdida de imagen corporativa a nivel nacional.</p>

3.7. Paso 7. Análisis de consecuencias y evaluación de severidad

A cada modo de falla se le debe evaluar la severidad y podemos definir tareas de mantenimiento para evitar sus causas. La severidad se basa en las consecuencias que produce el modo de falla.

El objetivo primordial del mantenimiento pro-activo no es evitar las fallas, sino, eliminar, evitar o minimizar las consecuencias de las fallas. Son las consecuencias las que determinan el alcance del esfuerzo a realizar para prevenir cada modo de falla. Es decir, si una falla tiene consecuencias serias, haremos lo posible para evitarla. Por otro lado, si tiene poco o ningún efecto, podemos decidir no hacer ningún mantenimiento rutinario más allá de la limpieza y lubricación. Una gran fortaleza del RCM es reconocer que las consecuencias de las fallas son mucho más importantes que las características técnicas de estas.

El proceso de evaluación de las consecuencias reduce el énfasis de la idea de que todas las fallas son malas y deben prevenirse. También estimula a los usuarios a pensar más ampliamente en las diferentes maneras de manejar las fallas, en vez de concentrarse en solamente la prevención de fallas.

3.7.1. Análisis de consecuencias

En el proceso de estudio de RCM para los equipamientos se analizarán las siguientes consecuencias:

- Fallas ocultas que producen fallas múltiples
- Riesgos a la seguridad física de las personas
- Daños al medio ambiente
- Costos de reparación
- Compensaciones, penalidades, pérdidas de ingresos
- Pérdida de imagen de la empresa
- Afectación a clientes

En el presente documento se exponen las consecuencias presentadas como referenciales y su valoración que fueron definidas por el personal de la dirección de la empresa.

a). Consecuencias por fallas ocultas

Las fallas ocultas son aquellas que no son detectadas en condiciones normales de operación. Los casos típicos son las protecciones de equipos. Cuando ocurre una falla en la protección de un equipo las consecuencias directas permanecen ocultas pero expondrán a otras más graves cuando falle la función protegida del equipo.

Es decir las fallas ocultas y sus consecuencias quedarán expuestas y se harán evidentes cuando suceda una falla en la función protegida. Estaremos aquí ante una falla múltiple en el mismo equipo, en equipos cercanos o en el sistema o planta, y sus consecuencias podrían ser muy graves y hasta catastróficas.

Para definir la valoración de los efectos de un modo de falla se debe saber si es oculta o evidente. Si es oculta se considerará que puede generar fallas múltiples. La calificación de estas consecuencias se muestra en la tabla adjunta.

Tabla N°3.5. Valor de las consecuencias por el tipo de falla

EFECTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Falla Evidente	No genera falla múltiple o la probabilidad de ocurrencia es muy baja	1
Falla Oculta	Puede ocasionar falla múltiple	4

b). Consecuencias para la seguridad física de las personas

Una falla tiene consecuencias para la seguridad si pudiera herir o matar a alguna persona. La evaluación de estas consecuencias se debe hacer con especial atención por el impacto que pueden tener en el personal de la empresa o de terceros, las demandas económicas y el deterioro de la imagen corporativa. La calificación de las consecuencias para la seguridad física de las personas se muestra en la tabla adjunta.

Tabla N°3.6. Valor de las consecuencias para la seguridad física de las personas

EFEECTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Ninguno	No hay daño físico	0
Insignificante	Afecta al menos a una persona, las lesiones no provocan incapacidad temporal	1
Moderado	Afecta a más de una persona, las lesiones no provocan incapacidad temporal	2
Grave	Afecta al menos a una persona y las lesiones le provocan incapacidad permanente. O afecta a más de una persona y las lesiones provocan incapacidad temporal.	3
Muy Grave	Afecta al menos a una persona y las lesiones le provocan incapacidad total permanente o la muerte.	4

c). Consecuencias por daños al medio ambiente

Una falla tiene consecuencias para el medio ambiente si pudiera provocar el incumplimiento de cualquier estándar ambiental ya sea corporativo, regional, nacional o internacional. La calificación de las consecuencias para el medio ambiente se muestra en la tabla adjunta.

Tabla N°3.7. Valor de las consecuencias por daños al medio ambiente

EFEECTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Ninguno	No afecta al medio ambiente	0
Insignificante	No afecta ecosistemas frágiles como bosques, flora y fauna. Es controlable por personal de la empresa, que está interviniendo directamente en el proceso.	1
Moderado	Puede afectar recursos naturales o ecosistemas. No compromete el habitat de especies en vías de extinción. Para su control se requiere la intervención de expertos de la empresa.	2

Grave	Puede afectar la disponibilidad de recursos naturales comunitarios. Es reversible en 1 a 5 años a un costo de US\$ 10,000 a US\$ 50,000. Para remediar los daños se requiere la intervención de entidades externas	3
Muy Grave	Puede provocar la indisponibilidad total de recursos naturales comunitarios y afectar especies en vías de extinción. Para restablecer a la normalidad se requiere la intervención de entidades gubernamentales. El costo de remediación es mayor a US\$ 50,000	4

d). Consecuencias por costos de reparación

Una falla tiene consecuencias en costos de reparación si pudiera provocar el incurrir en altos costos para restituir al equipo a su estándar de funcionamiento deseado. El análisis se debe considerar los costos de repuesto y mano de obra, tanto del equipo que falla como de los equipos que pudieran resultar afectados como consecuencia de la falla.

La calificación de las consecuencias para los costos de reparación se muestra en la tabla adjunta.

Tabla N°3.8. Valor de las consecuencias por costos de reparación

EFEECTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Ninguno	No se requiere repuestos ni mano de obra especializada. No se requiere mano de obra adicional y no se afecta a otros equipos.	0
Insignificante	Los repuestos se consiguen fácilmente y/o a bajo costo. Los costos de repuestos, mano de obra y afectación a otros equipos es menor a US\$ 1,000.	1
Moderado	La obtención de repuestos no es fácil, puede tomar hasta 6 semanas. Los costos de repuestos, mano de obra y afectación a otros equipos es de US\$ 1,000 a US\$ 10,000.	2
Grave	La obtención de repuestos es difícil, puede tomar hasta un año. Los costos de repuestos, mano de obra y daños a otros equipos es de US\$ 10,000 a US\$ 50,000.	3

Muy Grave	La obtención de repuestos es muy difícil, puede tomar más de un año, o el equipo puede quedar inutilizado. Los costos de repuestos, mano de obra y daños a otros equipos es mayor a US\$ 50,000.	4
-----------	--	---

e). Consecuencias por compensaciones, penalidades, pérdidas de ingreso

Una falla tiene consecuencias en compensaciones y penalidades si se supera las tolerancias establecida en la Norma Técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE) o se incumple los procedimientos de supervisión vigentes. La entidad encargada de supervisar el cumplimiento de la NTCSE y los procedimientos de fiscalización es el organismo Supervisor de la Inversión en Energía, OSINERGMIN.

La calificación de las consecuencias para compensaciones, penalidades y/o pérdidas de ingreso, se muestra en la tabla adjunta.

Tabla N°3.9. Valor de consecuencias compensaciones, penalidades, pérdidas de ingreso.

EFECTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Ninguno	No hay compensaciones, penalidades y no afecta los ingresos.	0
Insignificante	La suma de compensaciones, penalidades y pérdidas de ingresos es menor a US\$ 1,000.	1
Moderado	La suma de compensaciones, penalidades y pérdidas de ingresos puede ser de US\$ 1,000 a US\$ 10,000.	2
Grave	La suma de compensaciones, penalidades y pérdidas de ingresos puede ser de US\$ 10,000 a US\$ 50,000.	3
Muy Grave	La suma de compensaciones, penalidades y pérdidas de ingresos puede ser de mayor a US\$ 50,000.	4

f). Consecuencias por pérdida de imagen de la empresa

Una falla tiene consecuencias en la imagen de la empresa si provocan un impacto negativo en la sociedad u organismo de supervisión o autoridades del gobierno.

La calificación de las consecuencias que afectan la imagen corporativa, se muestra en la tabla adjunta.

Tabla N°3.10. Valor de las consecuencias por pérdida de imagen de la empresa

EFEECTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Ninguno	Falla no es trascendente, no afecta la imagen de la empresa	0
Insignificante	La falla solo es de conocimiento al interior de la empresa.	1
Moderado	La falla es de conocimiento local.	2
Grave	La falla puede ser de conocimiento regional y puede afectar la credibilidad ante otras empresas, el COES, OSINERGMIN, MINEM.	3
Muy Grave	La falla puede ser de conocimiento nacional y puede afectar la credibilidad ante el COES, OSINERGMIN, MINEM, gobierno, accionistas.	4

g). Consecuencias por afectación a clientes

Una falla tiene consecuencias asociadas a clientes si provoca el incumplimiento de los alcances de los contratos, acuerdos o compromisos pactados con los clientes.

La calificación de las consecuencias que afectan a los clientes, se muestra en la tabla adjunta.

Tabla N°3.11. Valor de las consecuencias por afectación a clientes

EFEECTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Ninguno	La falla no afecta al cliente.	0
Insignificante	La falla es percibida por el cliente pero no afecta los alcances de contratos.	1
Moderado	La falla puede afectar los alcances de contratos con clientes, sin mayores consecuencias y/o sin superar las tolerancias de la NTCSE.	2
Grave	La falla puede afectar los alcances de contratos con clientes, las consecuencias para el cliente son considerables, pero no se supera tolerancias de la NTCSE.	3
Muy Grave	La falla afecta los alcances de contratos con clientes, las consecuencias para el cliente son muy graves y/o se supera las tolerancias de la NTCSE.	4

3.7.2. Variables de consecuencia de falla

En el proceso de estudio de RCM para los sistemas y equipamientos, se definen un grupo de variables asociada a cada consecuencia de falla. A cada variables se le debe asignar un valor porcentual sobre un 100% (la suma de los valores de todas las variables debe ser el 100%), y se acordó considerar hasta dos cifras decimales.

Los valores de cada variable asociada a cada consecuencia de falla, fueron definidos por el grupo de dirección de mantenimiento de la empresa. En la definición del valor de cada variable se ha tenido en cuenta el tipo de falla (falla oculta o falla evidentes).

Los valores asignados a cada variable, según el tipo de la falla se muestran en las tablas siguientes:

Tabla N°3.12. Peso de variables de modos de falla asociados a fallas ocultas

N°	VARIABLE	PESO (%)
K ₁	Seguridad Física (SF)	21.43
K ₂	Medio Ambiente (MA)	13.71
K ₃	Costo de reparación (CR)	13.71
K ₄	Compensaciones, penalidades, pérdidas de ingreso (CP)	16.29
K ₅	Imagen corporativa (IC)	10.57
K ₆	Cliente (AC)	11.00
K ₇	Fallas Ocultas (FO)	13.29

Tabla N°3.13. Peso de variables de modos de falla asociados a fallas evidentes

N°	VARIABLE	PESO (%)
K ₁	Seguridad Física (SF)	23.29
K ₂	Medio Ambiente (MA)	15.43
K ₃	Costo de reparación (CR)	16.14
K ₄	Compensaciones, penalidades, pérdidas de ingreso (CP)	19.43
K ₅	Imagen corporativa (IC)	12.14
K ₆	Cliente (AC)	13.57
K ₇	Fallas Ocultas (FO)	0.000

3.7.3. Cálculo de la Severidad (S)

Para el cálculo de la severidad se tiene en cuenta el modo de falla asociado a fallas ocultas o evidentes, y es igual a sumatoria de los productos del valor de cada consecuencia por el peso de cada variable.

Entonces:

a). Severidad para modos de falla asociados a fallas ocultas

$$S = SF * K_1 + MA * K_2 + CR * K_3 * CP * K_4 + IC * K_5 + AC * K_6 + FO * K_7 \quad (1.1.)$$

$$\sum_{i=1}^7 K_i = 1 \quad (1.2.)$$

b). Severidad para modos de falla no asociados a fallas ocultas

$$S = SF * K_1 + MA * K_2 + CR * K_3 * CP * K_4 + IC * K_5 + AC * K_6 \quad (1.3.)$$

$$\sum_{i=1}^6 K_i = 1 \quad (1.4.)$$

En las formulas anteriores:

SF, MA, CR, CP, IC, AC y FO, son los valores de las consecuencias,

K_i, son los valores de variables asociados a las consecuencias.

3.7.4. Grados de severidad

Para el estudio del RCM se considerarán 3 grados de severidad que definirá el tipo de tarea a asignar:

a). Severidad Aceptable

Un modo de falla que tenga severidad en rango Aceptable no afectará la seguridad física de las personas, el medio ambiente, el costo de reparación, la imagen corporativa, al cliente; por tanto no se asignarán actividades de mantenimiento periódico para prevenir la causa del modo de falla.

$$\text{Aceptable: } S \leq 0.25$$

b). Severidad Tolerable

Un modo de falla que tenga severidad en rango Tolerable, se le asignarán tareas de mantenimiento periódico para prevenir las causas del modo de falla, solo si el costo de las tareas de mantenimiento es más económico que el costo de las consecuencias.

$$\text{Tolerable: } 0.25 < S \leq 0.75$$

c). Severidad Inaceptable

Un modo de falla tiene severidad en el rango Inaceptable, las consecuencias son tan severas que se deben asignar tareas costo efectivas o cambio de diseño para evitar las causas del modo de falla.

$$\text{Inaceptable: } S > 0.75$$

3.8. Paso 8. Asignación de causas dominantes

Una causa dominante es un evento razonablemente probable de ocurrir que genera un modo de falla. Es importante identificar las causas de cada falla dominante con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo en síntomas en lugar de causas reales. Por tanto, debemos describir “el porque” ocurre la falla y no “el como”. Las causas pueden estar asociadas a:

- Fallas de diseño
- Defectos de material
- Deficiencias durante el proceso de fabricación de componentes
- Defectos de montaje
- Condiciones de servicio no previstas
- Mantenimiento defectuoso
- Operación indebida

La causa de la falla debe describir con suficiente detalle el porque ocurre la falla y debe ser dominante, es decir razonablemente probable que ocurra si no se le hace mantenimiento al equipo. Se debe especificar si está asociado a fallas de diseño, falta de entrenamiento o errores humanos.

Para poder identificar todas las causas de un modo de falla se recomienda iniciar el análisis asumiendo que al equipo en estudio no se le está haciendo ningún mantenimiento periódico. De esta manera se tendrá la primera causa del modo de falla. Luego se asume que esta primera causa no ocurrió y se analiza que otra causa puede ocurrir. Se continúa este procedimiento hasta que no se pueda identificar más causas para el modo de falla en estudio.

Ejemplo de causas dominantes de un modo de falla en un transformador de potencia.

Equipo: Transformador de potencia trifásico de 50 MVA

Función: Transformar la potencia nominal en sus devanados

Falla funcional: No transforma la potencia nominal en sus devanados

Tabla N°3.14. Causas dominantes de un modo de falla en un transformador de potencia

MODO DE FALLA	CAUSAS
Pérdida de conexión del conector terminal	Aflojamiento del conector bushing – conductor, por corrosión
	Aflojamiento del conector bushing –conductor, por vibración o sobreesfuerzo mecánico o térmico
	Aflojamiento de la conexión o daño a elementos debido a Ejecución inadecuada de mantenimiento.

3.9. Paso 9. Selección de tareas de mantenimiento costo - efectiva y árbol lógico de decisión

En esta parte del estudio se seleccionan las tareas costo-efectivas que han de efectuarse para evitar la ocurrencia de las causas de falla.

Dependiendo del grado de severidad, por cada causa de falla se debe seleccionar las tareas de mantenimiento costo-efectivas.

Tareas de mantenimiento costo-efectivas son aquellas técnicamente factibles de ejecutar para evitar la ocurrencia de la causa de falla y su costo es menor que las consecuencias de las fallas evitadas.

Las tareas de mantenimiento preventivo solo se especificarán para elementos que la necesitan realmente, esto implica que seguramente las tareas restantes se harán mejor, por disponer de mayor conocimiento, tiempo y orden en la ejecución.

Se establece un árbol lógico de decisión, donde cada causa de falla es analizada para determinar que mantenimiento evitará la causa de la falla. En esta parte se analiza los requisitos del mantenimiento de cada equipo antes de preguntarse si es necesario cambiar el diseño.

3.9.1. Probabilidad de fallas

Antes de seleccionar los tipos de tareas a ejecutar, es importante identificar que modos o causas de falla tienen más posibilidad de causar la pérdida total o parcial de la función del equipo. Antiguamente se consideraba que la probabilidad de falla de un elemento estaba directamente vinculada a la edad o envejecimiento. Esto es cierto cuando un elemento está afectado de una causa dominante de falla como fatiga, corrosión o desgaste, sin embargo los elementos de las instalaciones son cada vez más complejos y muestran que su probabilidad de falla no siempre está vinculada con su edad o envejecimiento.

En la actualidad podemos identificar los siguientes patrones de probabilidad de fallas, cuyos patrones se muestra en la figura 3.3. Estos patrones de probabilidad de falla se pueden agrupar en:

Primera Generación - Tipo A: Comienza con un periodo de probabilidad constante o ligeramente ascendente y termina con un crecimiento rápido de probabilidad de falla.

Segunda Generación - Tipo B: Comienza con una tasa de falla alta (mortalidad infantil muchas veces vinculada a deficiencias de fabricación o montaje) y luego puede ser constante o ligeramente ascendente y termina con un rápido crecimiento de la tasa de fallas.

Tercera Generación – Tipo C, D, E y F: Además de los tipos A y B de la primera y segunda generación, se han identificado los siguientes patrones:

Tipo C: Probabilidad de falla ligeramente ascendente pero sin edad definida identificable.

Tipo D: Probabilidad de falla ascendente al inicio, luego se mantiene constante.

Tipo E: Probabilidad de falla constante en todas las edades y ocurrencia aleatoria.

Tipo F: Comienza con una mortalidad infantil alta que desciende a una probabilidad de falla muy baja o constante.

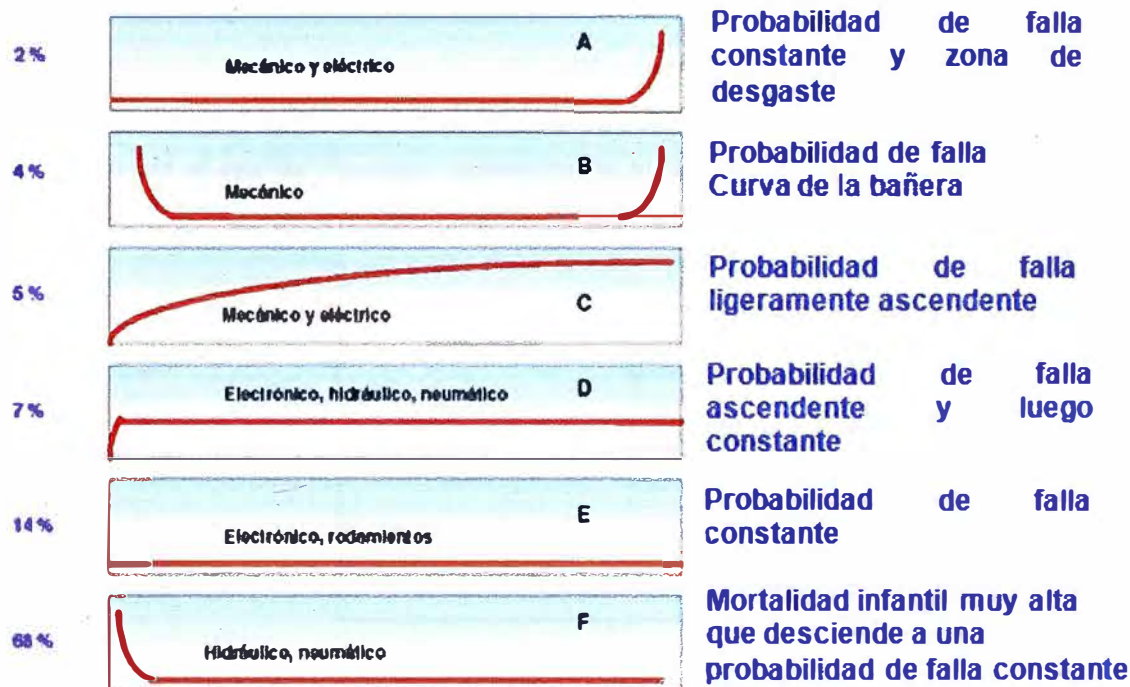


Fig. 3.3. Patrones de probabilidad de falla

3.9.2. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo se basa en el hecho que la mayoría de fallas no ocurren instantáneamente sino que se desarrollan en un periodo de tiempo, de manera que puede efectuarse el monitoreo de una o más variables para estimar la condición futura del equipo y tomar medidas para prevenir las fallas.

a). Tareas cíclicas para monitorear la condición

La finalidad del monitoreo de la condición (condition monitoring) es obtener una indicación de la condición o estado de salud de la máquina, de manera que pueda ser operada y mantenida con seguridad y economía.

Por monitoreo (monitoring), se entendió en sus inicios, como la medición de una variable física que se considera representativa de la condición del equipo y su comparación con valores que indican si el equipo está en buen estado o deteriorado. Con la actual automatización de estas técnicas, se ha extendido la acepción de la palabra monitoreo también a la adquisición, pre-procesamiento y almacenamiento de datos.

Las tareas cíclicas para monitorear la condición, se aplican en los patrones de falla D, E y F, bajo los siguientes criterios:

Criterio 1. La probabilidad de falla permanece constante a lo largo de la vida del elemento, por tanto puede producirse en cualquier momento, lo que nos impide fijar tiempos para realizar reparaciones o sustituciones preventivas.

Criterio 2. Las fallas no son instantáneas sino que se desarrollan en un periodo de tiempo y podemos encontrar evidencias que el proceso de falla ha comenzado, antes que sus efectos y consecuencias se manifiesten.

El comportamiento en el tiempo de gran parte de los distintos tipos de modos de falla se muestra en la figura 3.4. la curva de comportamiento de las fallas potenciales en el tiempo, en donde el eje de abscisas corresponde al tiempo y el eje ordenadas al estado del equipo.

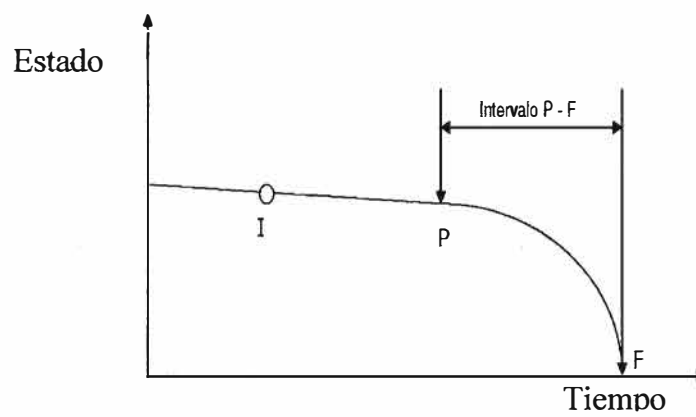


Fig. 3.4. Curva de comportamiento de las fallas potenciales

Se puede apreciar como una falla comienza a ocurrir (punto de inicio "I", muchas veces este punto no puede ser detectado), incrementando su deterioro hasta el punto en el cual la falla puede ser detectada (punto de falla potencial "P"). Si en este punto la falla no es detectada y corregida, continúa aumentando su deterioro (usualmente de manera acelerada) hasta que alcanza el punto donde se produce la falla funcional (Punto "F", donde el equipo deja de cumplir su función).

Para detectar las fallas potenciales debemos establecer tareas cíclicas de inspección que nos permita detectar la falla potencial antes que suceda la falla funcional. Este tipo de inspecciones conforman un tipo de búsqueda de fallas.

Nuestro principal problema es determinar la frecuencia en la que efectuaremos las inspecciones (intervalo neto e inspecciones).

Para esto es clave el intervalo P-F. Una forma práctica sería fijar la frecuencia igual a la mitad del periodo P-F, pero conocer el punto P depende de las herramientas o equipos de monitoreo que dispongamos para detectar el desarrollo de la falla. Esto nos lleva al concepto de intervalo neto, que es el tiempo real que disponemos desde que detectamos la evidencia de la falla hasta que ocurra la falla funcional. Ver la figura 3.5. en donde se muestra el intervalo neto e intervalo de inspecciones.

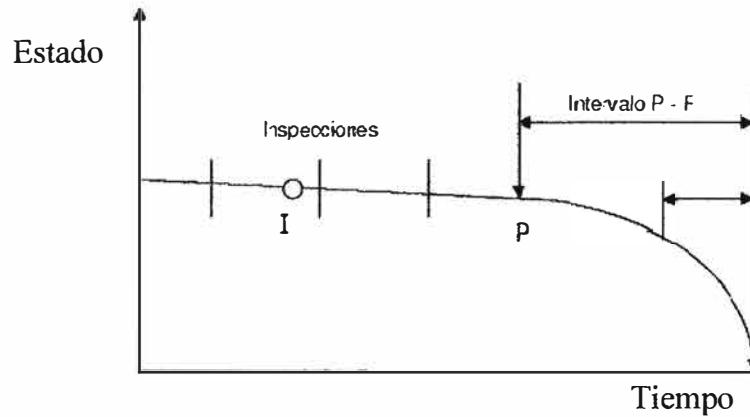


Fig. 3.5. Intervalo neto e intervalo de inspecciones

Sin embargo, a veces el periodo P-F es tan pequeño que cuando detectamos la falla potencial ya no tenemos tiempo para solucionarla. En estos casos realizar tareas cíclicas según la condición no es técnicamente factible.

Como regla general podemos decir que las tareas cíclicas para monitorear la condición son técnicamente factibles en los siguientes casos:

- Si existe una clara condición o una variable que puede detectar la degradación de la causa de falla.
- Si la variable se comporta como el diagrama P-F o curva de comportamiento de las fallas potenciales.
- El intervalo de tiempo P-F es consistente, es decir que fallas similares evolucionan en todos los casos en tiempos similares, desde el punto P hasta el punto F.
- El intervalo de tiempo P-F es suficientemente largo para permitirnos realizar las tareas que eviten la falla funcional o reduzcan las consecuencias.
- Es posible realizar inspecciones u otras tareas predictivas con una frecuencia menor que el intervalo P-F.

b). Técnicas de mantenimiento predictivo

El principio del monitoreo de la condición de una máquina es un concepto muy antiguo. El operario a cargo de una máquina lo ha usado desde siempre con sus propios sentidos. Estos métodos naturales de monitoreo han sido:

- La vista para detectar fugas, humo o cambios de color de superficies por recalentamiento.
- El olfato, para detectar fugas y recalentamiento.
- El oído, para detectar ruidos anormales indicativos de algún problema.
- El tacto, para detectar vibraciones o temperaturas anormales.

El uso hoy día de instrumentos de medidas elimina lo subjetivo del problema y permite comparar las mediciones actuales con las mediciones obtenidas cuando la máquina está en buenas condiciones. Aunque hoy en día existe una gran variedad de

técnicas usadas en el mantenimiento predictivo éstas generalmente se agrupan en tres grupos de técnicas:

Técnicas de monitoreo visual

Estas técnicas consisten en inspeccionar visualmente las diferentes partes de un equipo con el objeto de determinar su condición. La ventaja que ellas presentan es que el inspector obtiene una indicación inmediata y directa del estado de los componentes del equipo, sin la necesidad de procesar los resultados. Su principal desventaja es que nominalmente están limitadas a componentes estacionarias y de directo acceso al ojo, aunque estas limitaciones se reducen con el uso de sondas de luz, endoscopios, lupas, estroboscopios, tintas penetrantes, termografía, pinturas termográficas, etc. La simplicidad del monitoreo visual hace que en general no se requiera un resultado numérico, es decir, no queda un registro de la condición de la componente en el instante en que se inspeccionó. Si esto se requiriera, habría que usar alguna técnica de registro complementaria como fotografía, grabación en video, impresión o molde de la superficie, técnicas de medición de desgaste u otros. En la empresa tenemos establecidas las inspecciones planeadas de las instalaciones como técnica de monitoreo visual.

Técnicas de monitoreo de variables propias del equipo

El monitoreo de los efectos primarios, comportamiento o performance de un equipo y/o de sus componentes es uno de los métodos más directos de monitorear su condición. Son variables propias del equipo la velocidad, flujo, temperatura, corriente, voltaje, presión, entre otros.

La principal ventaja de estas técnicas es que es muy difícil una falsa interpretación de ellas, es decir, cualquier desviación de las variables debe revelar la existencia de un problema real.

Además del monitoreo de variables del equipo, se puede vigilar la condición mecánica de algunos de sus componentes monitoreando cómo realizan su función. Por ejemplo:

- Un filtro de aire sucio puede ser detectado controlando si se produce un aumento en la caída de presión a través del filtro.
- En un compresor la temperatura del flujo de aceite en los sellos puede ser un indicativo de su desgaste. El desgaste del sello debería producir un mayor flujo de aceite y bajar su temperatura.
- Una tobera doblada en una turbina de gas puede ser detectada con el aumento de la temperatura de salida del gas.
- Problemas asociados con las aletas en un sistema de enfriamiento pueden ser detectados por el aumento de la caída de presión en la línea.

Técnicas basadas en los indicadores de calidad

Estas técnicas consisten en analizar información estadística de algunos indicadores de calidad como disponibilidad, tasa de fallas, tiempo medio entre fallas, otros.

3.9.3. Mantenimiento preventivo

Las tareas preventivas pueden considerarse en la siguiente clasificación:

- Tareas de reacondicionamiento cíclico
- Tareas de sustitución cíclica

En los casos en que las probabilidades de falla de los equipos corresponden a los patrones de falla A y B, resulta posible determinar un ciclo de vida y por tanto son aplicables las tareas de acondicionamiento o restitución cíclica. Si la curva que aplica es del patrón C, aunque resulta un poco difícil determinar un ciclo de vida, es posible lograrse.

La posibilidad de aplicación de alguna de las tareas antes descritas, está vinculada principalmente a dos factores:

- Relación entre la edad del elemento y su probabilidad de falla.
- Lo que sucede una vez que la falla ha comenzado a producirse.

a). Tareas de reacondicionamiento cíclico

Las tareas de reacondicionamiento cíclico se refieren a las actividades periódicas que se llevan a cabo para restaurar un equipo a su condición o capacidad inicial. Estas actividades de prevención se realizan a intervalos menores al límite de vida operativo del equipo, en función del análisis de la función de probabilidad de falla, que permitirá conocer el momento en el cual la probabilidad de falla se incrementa.

Para realizar estas actividades preventivas, se pone fuera de servicio al equipo, se desarma o desmonta, se inspeccionan de manera general, se ajusta, limpia y se corrigen o reemplazan de ser necesario, partes defectuosas, con el fin de prevenir la aparición de posibles modos de falla.

b). Tareas de sustitución cíclica

Este tipo de actividad preventiva está orientada específicamente hacia el reemplazo de componentes o partes usadas de un equipo, por nuevos, en un intervalo de tiempo menor al de su vida útil (antes que fallen). La actividad de sustitución cíclica le devolverá al equipo su condición o capacidad inicial, debido a que el componente usado o viejo será reemplazado por uno nuevo.

3.9.4. Tareas de búsqueda de fallas

Habíamos definido a las fallas ocultas como aquellas que no son detectadas en condiciones normales de operación. Estas fallas pueden provocar falla múltiple en el mismo equipo, en equipos cercanos o en el sistema o planta, y sus consecuencias

podrían ser muy graves y hasta catastróficas. Para minimizar los posibles efectos de una falla múltiple se debe tratar de disminuir la probabilidad de ocurrencia de las fallas ocultas, revisando periódicamente el funcionamiento de los equipos o partes para detectar cuando las funciones ocultas han fallado. La periodicidad de estas revisiones debe estar asociada al tiempo medio entre fallas, MTBF.

Podríamos decir entonces, que las tareas de búsqueda de fallas (ocultas) consisten en revisar periódicamente los equipos con funciones ocultas para detectar si las funciones ocultas se encuentran operando normalmente o han fallado. Se aplicarán estas tareas en los siguientes casos:

- La falla no es evidente en condiciones normales de operación.
- No se pueden asignar tareas predictivas o preventivas.
- La severidad de la ocurrencia de falla es alta.

Son tareas típicas de búsqueda de falla, las siguientes:

- Auto diagnósticos
- Pruebas funcionales
- Maniobras de operación
- Verificación visual de continuidad de circuitos

3.9.5. Cambio de diseño

Cuando no se consigue identificar tareas preventivas para eliminar una causa de falla cuya ocurrencia no se puede aceptar, es necesario realizar un rediseño al equipo.

De esta forma, cuando se hace el análisis con el árbol lógico de decisión se va analizando la posibilidad de asignar cambios de diseño para poder formular algunas tareas preventivas.

3.9.6. Ningún mantenimiento

Si un modo de falla es evidente y el nivel de severidad está en el rango Aceptable, no afectará la seguridad física de las personas, el medio ambiente, el costo de reparación, la imagen corporativa, al cliente; por tanto no se asignarán actividades de mantenimiento periódico para prevenir las causas del modo de falla.

3.9.7. Determinación cualitativa de frecuencias

Cuando no se dispone de datos que permitan determinar las frecuencias de forma estadística, es necesario tomar decisiones para definir la frecuencia de manera cualitativa, basado en la experiencia propia y de consultores o fabricantes, de acuerdo a las siguientes recomendaciones:

a). Determinación cualitativa de frecuencias para mantenimiento predictivo

Se debe conocer los factores que influyen en la degradación de las variables y entender como es el mecanismo de falla de estas.

Conociendo el mecanismo de falla y basado en la experiencia, se asigna una frecuencia para monitorear las variables relacionadas. Si no se conoce el mecanismo de falla, quedan dos opciones:

- Consultar a los proveedores o fabricantes de equipos de prueba y de equipos en estudio, para conocer información sobre mecanismos de falla.
- Realizar pruebas piloto para definir como es la evolución de los mecanismos de falla.

b). Determinación cualitativa de frecuencias para mantenimiento preventivo

Se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Identificar el tipo de frecuencia, tiempo calendario, tiempo de funcionamiento, número de operaciones, tipos de operaciones, ocurrencia de eventos, sobrecargas, etc.
- Definir la frontera del problema, ajustando a una frecuencia de tiempo según la experiencia. Se puede iniciar con rangos conservadores hasta lograr un valor aceptado en el grupo de estudio.
- Definir como progresa el mecanismo de falla.
- Si no se conocen los mecanismos de falla, se puede experimentar con proyectos piloto para evaluar las evoluciones.

c). Determinación cualitativa de frecuencias para búsqueda de fallas

Se recomienda lo siguiente:

- Identificar el tipo de frecuencia: tiempo calendario, tiempo de funcionamiento, número de operaciones, tipos de operaciones, ocurrencia de eventos, sobrecargas, etc.
- Definir la frontera del problema, ajustando a una frecuencia de tiempo según la experiencia del grupo de estudio. Generalmente las fallas que se desean evitar con las tareas de búsqueda de fallas, son aleatorias, por tanto resulta muy difícil definir como progresa el mecanismo de falla. Como se debe lograr un valor que de la tranquilidad de que el modo de falla no se va a presentar, las frecuencias son normalmente altas.
- Las tareas de búsqueda de fallas consisten en inspecciones planeadas o inspecciones ligeras a cargo del personal de operaciones.

3.9.8. Árbol lógico de decisión

Mediante el árbol lógico de decisión se hace la selección de la tarea de mantenimiento para evitar una causa de falla, ver figura 3.6.. Para analizar la causa de falla usando el árbol lógico de decisión se sigue la secuencia:

- a). Antes de empezar el análisis del tipo de tarea, se analiza si un cambio de diseño elimina la causa de falla. Si existe, se hace la implementación y se termina con el proceso

para esta causa de falla.

b). Si no se puede implementar un cambio de diseño que elimine la causa, primero se busca una tarea predictiva que sea costo - efectiva. Si se logra identificar, se le asigna una frecuencia y el proceso termina para esta causa de falla.

c). Si no se puede asignar una tarea predictiva, se busca una tarea preventiva de reacondicionamiento o sustitución, que sea costo – efectiva, para evitar la causa de la falla. Si se logra identificar, se le asigna una frecuencia y el proceso termina para esta causa de falla.

d). Si no se puede asignar tareas periódicas costo efectiva, se evalúa dos casos:

Las consecuencias del modo de falla son tolerables: Si es tolerable se analiza si el modo de falla es evidente. Si es tolerable y evidente, el proceso termina para esta causa de falla y se opera hasta fallar (run to failure) y se aplica mantenimiento correctivo cuando la falla ocurre.

Las consecuencias del modo de falla no son tolerables: En este caso se tiene que definir un cambio de diseño para eliminar la causa de la falla y el proceso termina para esta causa de falla.

e). Si la falla es oculta (no evidente), se debe identificar una tarea de búsqueda de fallas que sea costo - efectiva, para evitar la causa de la falla. Si existe, se le asigna una frecuencia y el proceso termina para esta causa de falla.

f). Cuando, no se encuentra una tarea predictiva costo efectiva, se analiza si hay un cambio de diseño que permita efectuar tareas predictivas que eliminen la causa de falla.

g). Cuando, no se encuentra una tarea preventiva costo-efectiva, se analiza si hay un cambio de diseño que permita efectuar tareas preventivas que eliminen la causa de falla.

h). Para el caso en que no se puedan asignar tareas de búsqueda de fallas y no exista un cambio de diseño que permita efectuar búsqueda de fallas, se aplicará mantenimiento correctivo cuando ocurra la falla.

i). Si durante el estudio se identifica la misma tarea para varias causas de falla, la repetición se eliminará en el proceso de comparación de tareas, que se explica en el paso 10 de la metodología.

j). Recomendaciones para la selección de tareas costo – efectiva:

- Nunca seleccionar más de un tipo de tarea de mantenimiento para una sola causa.
- Tareas de un mismo tipo, si puede ser seleccionada para una sola causa.
- La tarea debe atacar directamente a la causa de la falla eliminándola o reduciendo al mínimo su probabilidad de ocurrencia.
- Una falla no es tolerable si sus consecuencias no son aceptables desde el punto de vista financiero, de seguridad o medio ambiente.

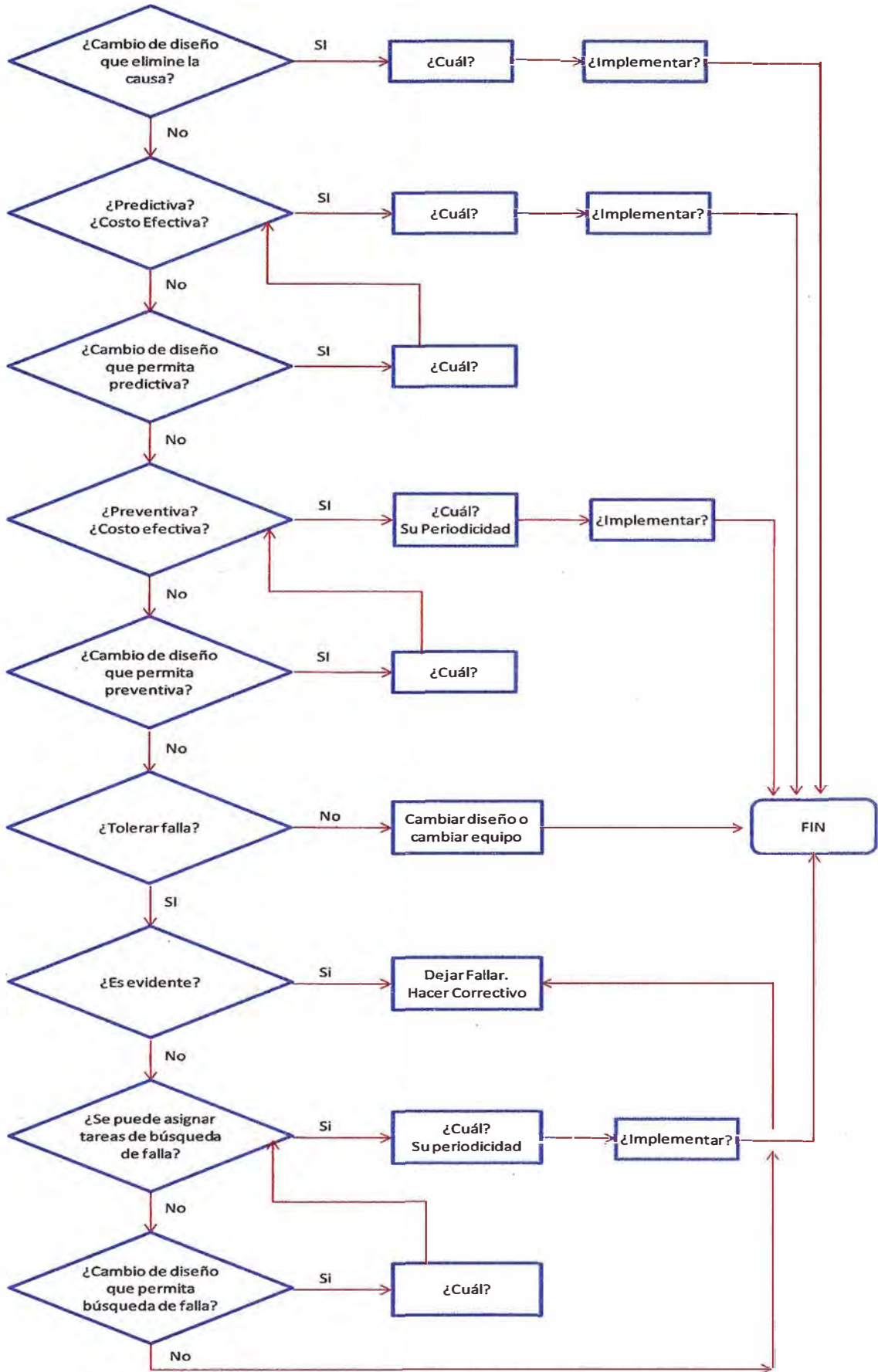


Fig. 3.6. Árbol lógico de decisión

3.9.9. Retroalimentación

Después de ejecutar las tareas de mantenimiento definidas en el estudio RCM, debe existir la retroalimentación al grupo de estudio, para analizar los resultados y efectuar las actualizaciones necesarias.

Así por ejemplo, si de acuerdo a las pruebas predictivas se determinó que el equipo estaba en malas condiciones, se debe comunicar los resultados al efectuar las tareas de reacondicionamiento o reemplazo, para corroborar si lo que se diagnosticó es correcto.

Asimismo, con las tareas preventivas periódicas, cuando se interviene se debe revisar el estado de los componentes y partes. Por ejemplo si se está haciendo un reemplazo por desgaste se debe observar si realmente el desgaste ocurrido amerita el reemplazo o si se debe ampliar la frecuencia propuesta en el estudio.

Es muy importante conocer con certeza el objetivo de cada tipo de tarea de mantenimiento, que puede ser predecir, restaurar o verificar una falla.

- La comparación económica de las estrategias de mantenimiento
- La decisión de la mejor estrategia técnicamente aplicable.

3.10. Paso 10. Comparación de tareas de mantenimiento y definición de estrategia final

En esta etapa después del análisis del árbol de decisión, se continúa con la definición de la estrategia final en donde se tiene en cuenta estos dos criterios:

El objetivo de la comparación de tareas es lograr una sola estrategia para un equipo comparando los resultados del estudio RCM con las actividades de mantenimiento rutinario actuales, las recomendaciones de los fabricantes, compromisos o contratos, requerimientos de OSINERGMIN, COES, MINEM, gerencia.

El primer paso es tener un listado depurado de tareas, eliminando las tareas duplicadas obtenidas en el estudio RCM, dejando una sola. Si es necesario se puede modificar el contenido de una tarea o su frecuencia, para ajustar tareas similares.

El siguiente paso es recopilar las tareas de mantenimiento actual para el equipo en estudio, considerando las tareas rutinarias de mantenimiento, inspecciones, monitoreo, reemplazos, reacondicionamientos.

Asimismo, se debe recopilar las tareas recomendadas por el fabricante del equipo, compromisos o contratos y requerimientos de OSINERGMIN, COES, MINEM y Gerencia.

A continuación, se enuncia las recomendaciones para una correcta comparación de tareas:

Las tareas seleccionadas en el estudio RCM tienen una base técnica válida y son las que se deben adoptar o deben influenciar al contenido del programa de mantenimiento

rutinario final, salvo que existan razones muy precisas que demuestre la conveniencia de hacerlo de otra manera.

Se debe asumir que el programa de mantenimiento rutinario actual tiene una base técnica cuestionable y por lo tanto las tareas y frecuencia se pueden cambiar y asumir las recomendaciones del estudio RCM, salvo que existan razones técnicas muy precisas que demuestre la conveniencia de conservar las tareas como se han venido realizando.

Siempre se deben considerar los compromisos gerenciales o requerimientos regulatorios, salvo que se obtenga una autorización para retirarlos.

El procedimiento a seguir en la comparación de tareas, es el siguiente:

- Eliminar las tareas duplicadas que resulten del estudio y considerar una sola.
- Confrontar las tareas similares del estudio RCM con las tareas del plan actual de mantenimiento.
- Conservar las actividades del plan actual de mantenimiento que sean idénticas tanto en el contenido como en la frecuencia, a una tarea recomendada en el estudio RCM.
- Si en el plan actual de mantenimiento existen tareas similares a las definidas en el estudio RCM, deben ser cuidadosamente revisadas para que tengan el mismo contenido y frecuencia, antes de ser adoptada como estrategia final.
- Si dos tareas son idénticas en su contenido y solo difieren en su frecuencia, se debe adoptar la que tenga bases técnicas aceptadas por el grupo de estudio.
- Adicionar a la estrategia final, las tareas recomendadas del estudio RCM que no tenga una tarea similar en el plan actual de mantenimiento.

Para el caso de tareas del programa de mantenimiento actual que no tengan tareas similares en el estudio RCM, luego de un análisis técnico exhaustivo, se determinará:

- Eliminar la tarea del plan actual si no se eliminan causas críticas con la ejecución de esta tarea.
- Conservar la tarea del plan actual si la causa a eliminar con la ejecución de la tarea es de grandes consecuencias.
- No modificar tareas que sean requerimientos regulatorios o compromisos gerenciales.
- Las tareas de mantenimiento que de acuerdo al estudio RCM deben ser eliminadas por cambio de diseño, solo se deben eliminar de la estrategia final después que exista la implantación del cambio de diseño.

3.11. Paso 11. Implementación de la estrategia, seguimiento de resultados y actualización del estudio (retorno a la experiencia)

Definida la estrategia final de mantenimiento se elabora el plan de mantenimiento periódico, el cual es el resultado del estudio RCM. El plan de mantenimiento periódico es el único plan de mantenimiento a realizarse en los equipos o componentes.

Luego de la implementación del plan de mantenimiento y su aplicación se debe observarse el comportamiento del equipo, analizar las fallas, evaluar la ejecución de las tareas y retroalimentar al equipo de trabajo con recomendaciones para efectuar la actualización del estudio.

La actualización del estudio RCM no es una tarea diaria pero debe revisarse y ajustarse de acuerdo a la experiencia cada cierto tiempo, según acuerdo del equipo de trabajo.

En la política de mantenimiento del área de mantenimiento se puede establecer rutinas de revisión de los estudios, para asegurarse del retorno de la experiencia.

CAPITULO IV

APLICACIÓN DEL RCM EN GRUPO GENERADOR DE EJE HORIZONTAL DE 24 MVA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Empezaremos la aplicación de la metodología para el estudio del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM haciendo la selección de los componentes y equipos críticos que conforman el grupo generador de eje horizontal de 24 MVA de una central hidroeléctrica.

En un estudio de RCM es importante el contexto de operación del grupo generador, para esto estamos considerando que:

- El grupo generador en estudio tiene la misma configuración a una de las unidades de generación de la central de hidroeléctrica de Yaupi de la empresa Electroandes S.A. conformada por cinco grupos generadores de 24 MVA de eje horizontal, cada cual es accionado por una turbina pelton de dos inyectores.
- Las condiciones de operación del grupo generador en estudio es similar a las condiciones en que opera la central Yaupi. Entendiéndose por condiciones de operación a: ubicación geográfica, recurso hídrico, interconexión al sistema eléctrico interconectado, programas de mantenimiento y programa de operación.
- Para empezar el estudio de RCM es necesario la conformación de un equipo de trabajo que tenga la experiencia y conocimiento en la operación y mantenimiento de los equipos y componentes de los grupos generadores.

4.1. Selección de equipos críticos

La identificación de los equipos críticos se realizó bajo los siguientes criterios: pérdidas económicas ante una parada forzada del grupo generador, pago de compensaciones y de penalidades que se generen, indisponibilidad del grupo generador que se origine por la falla de algunos de sus componentes, la complejidad del mantenimiento y los costos de los repuesto y las facilidades para conseguirlo.

Adicional a los criterios anteriores de cómo una falla afecta en la operación y en el mantenimiento del equipamiento, también se evalúa si tiene impacto en la seguridad de los trabajadores y en el cuidado y protección del medio ambiente. En resumen un equipo crítico es aquel que el estado de su condición tiene una incidencia significativa en la operación y en el mantenimiento. En las figuras 4.1. al 4.10. se muestran fotografías de los equipos y sistemas críticos a considerarse para el estudio RCM.

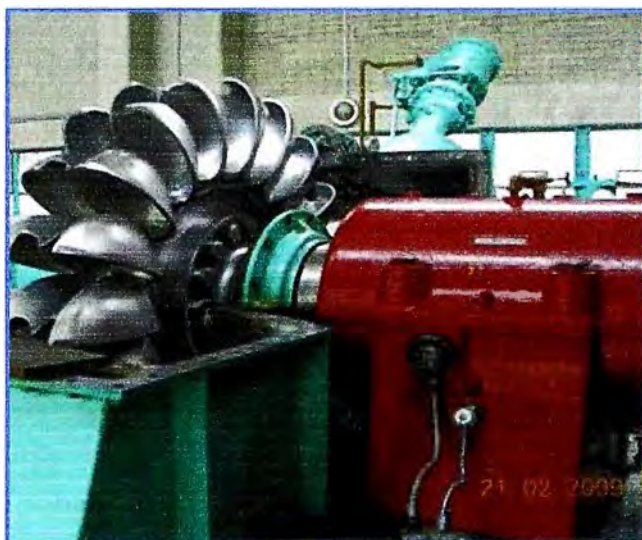


Fig. 4.1. Caja de turbina y rodete pelton



Fig. 4.2. Generador Síncrono de eje horizontal

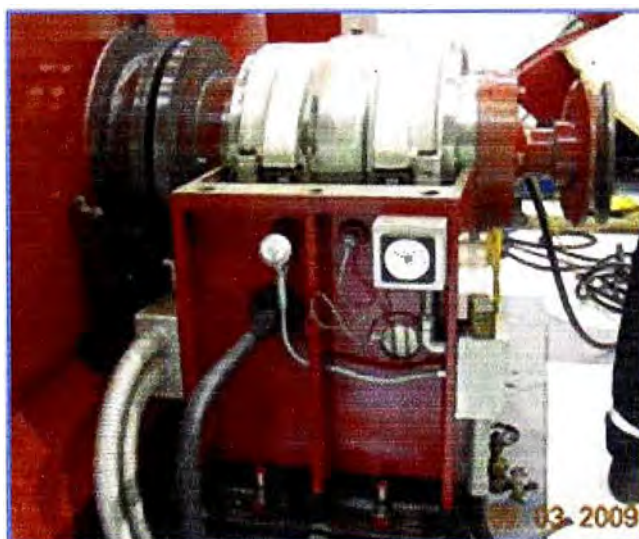


Fig. 4.3. Chumaceras del cojinete de apoyo del generador



Fig. 4.4. Excitatriz Principal



Fig. 4.5. Regulador de velocidad



Fig. 4.6. Regulador de velocidad



Fig. 4.7. Bombas del sistema de refrigeración principal

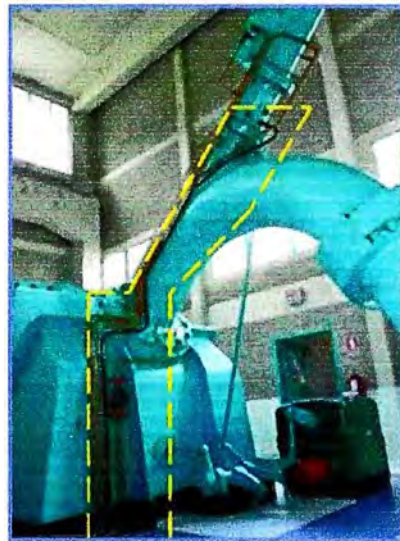


Fig. 4.8. Sistema de lubricación



Fig. 4.9. Sistema Contra incendios



Fig. 4.10. Sistema Freno

4.2. Definición de fronteras

Continuando con el estudio de RCM de los componentes y equipos del grupo generador de una central hidroeléctrica, pasamos a la definición de las fronteras del estudio RCM de cada equipo y sistema, para esto hacemos uso de los formatos de fronteras.

4.2.1. Formatos de fronteras

En los formatos de fronteras del estudio RCM de cada equipo o sistema se completa con información clara y concisa del equipamiento en estudio. Este formato contiene las especificaciones técnicas generales de diseño y condiciones de operación de los equipos, condiciones ambientales, equipos que se encuentran en la frontera del estudio, interfaz de entrada y salida, así como cualquier información adicional relevante para el estudio. En los anexos del informe se adjunta el formato frontera del equipo correspondiente.

4.3. RCM de equipos y sistemas de un grupo generador

En el desarrollo del estudio RCM se realizó la identificación de los modos de falla y el análisis de sus efectos (FMEA) para cada equipo o sistema. En nuestro caso el FMEA de cada equipo o sistema se ha desarrollado en tres tablas rotuladas como:

- RCM-00x Equipo: Función n - Modo de falla - Análisis de efectos
- RCM-00x Equipo: Severidad – Causa de falla dominante
- RCM-00x Equipo: Selección de tareas

En donde:

Equipo, es el equipo o sistema al que se le está haciendo el estudio RCM.

x, es el correlativo del estudio RCM.

n, número que corresponde al correlativo de las funciones del equipo o

sistema.

Para el desarrollo de cada tabla fue necesario seguir los pasos secuenciales de la metodología del estudio del RCM explicado en el capítulo III. La razón por el cual se han separado en tres tablas es para darle practicidad al informe y se pueda entender fácilmente la metodología aplicada.

En resumen, la identificación de los modos de falla y el análisis de sus efectos (FMEA), comprende realizar la identificación de las funciones (principal, secundarias y de seguridad), identificar las fallas funcionales, identificar los modos de falla asociado a cada falla funcional, identificar los efectos y evaluar sus consecuencias, para luego hacer el cálculo de la severidad de cada modo de falla. Calculado la severidad del modo de falla, continuamos con la identificación de las causas dominantes y haciendo uso del árbol de decisión determinamos la estrategia costo - efectiva a implantar.

En los anexos del informe se adjunta los estudios RCM correspondiente a cada equipo o sistema.

4.4. Selección de las estrategias finales y el plan de mantenimiento.

Finalmente se hace la selección de tareas de mantenimiento correspondiente a las estrategias finales técnico – económico factibles, las que se agruparan para conformar el plan de mantenimiento, en donde se indica el periodo de ejecución de cada tarea de mantenimiento. En las tablas numeradas del 4.1. al 4.10. se muestran los planes de mantenimiento para cada equipo o sistema, de nuestro estudio.

Tabla N° 4.1. Plan de mantenimiento de la Turbina

Tarea de mantenimiento	Tipo	Frecuencia
Mantenimiento de rejillas de ingreso al túnel.	Preventivo	5 Años
Mantenimiento de la estructura del túnel.	Preventivo	5 Años
Pruebas No destructivas a los pernos de acople de rodete con eje del generador. Realizar el cambio de los pernos si es necesario.	Preventivo	5 Años
Cambio de agujas de los inyectores.	Preventivo	2 Años
Esmerilado para recuperación del filo de ataque de los cangilones. Test de líquido penetrante.	Preventivo	1 Año
Inspección de cruceta guía (soporte de guía de aguja). Realizar el cambio de ser necesario.	Preventivo	1 Año
Inspección del estado del seguro de la aguja del inyector (pin). Realizar el cambio del pin si es necesario.	Preventivo	1 Año
Inspección de asientos de aguja del inyector. Realizar el cambio en caso sea necesario.	Preventivo	1 Año

En periodo de estiaje maniobrar la válvula de Yaupi Alto para desarenar.	Preventivo	2 Mes
Medición y análisis de vibración en cojinetes de apoyo.	Predictivo	1Mes
Inspección de pernos de la brida de acople de asiento. Inspección de pernos de sujeción del deflector. Inspección de otros componentes del sistema de inyección. Realizar el cambio de componente del sistema de inyección si es necesario.	Preventivo	1 Mes
En época de estiaje: Inspección de superficie del rodete y estado de cangilones para búsqueda de fisuras. Realizar pruebas con líquidos penetrantes y otras pruebas no destructivas aplicables. Realizar el tratamiento térmico adecuado en la recuperación del rodete por fisuras. Realizar el cambio del rodete en caso de ser necesario.	Preventivo	1 Mes
Inspección del empaque de caucho de prensa estopas del eje del sistema de inyección. Realizar el cambio si es necesario.	Preventivo	1 Mes
Inspección y ajuste de los empaques de las juntas. Cambiar los empaques en caso sea necesario.	Preventivo	1 Mes
Inspección y mantenimiento de la parte interna de la caja y tapa de turbina.	Preventivo	1 Mes
En época de avenida: Realizar inspección de superficie del rodete y estado de cangilones para búsqueda de fisuras. Realizar pruebas con líquidos penetrantes y otras pruebas no destructivas aplicables. Realizar el tratamiento térmico adecuado para la recuperación del rodete por fisuras. Realizar el cambio del rodete en caso de ser necesario.	Preventivo	2 Sem.
En época de avenida: Maniobrar la válvula de Yaupi Alto para desarenar.	Preventivo	1 Sem.
En el caso que Enersur realiza mantenimiento de la represa Huallamayo: Se deberá cerrarse las compuertas principales de ingreso de la Toma Yuncán para evitar que entre agua con alta cantidad de sólidos al túnel.	Preventivo	-
Al realizar la puesta en servicio de la turbina: Realizar la apertura de los inyectores lentamente.	Preventivo	-
Reemplazo el indicador de presión de agua (manómetro).	Correctivo	-
Mejorar el sistema de posicionamiento de la aguja del inyector.	Rediseño	-

Tabla N° 4.2. Plan de mantenimiento del Generador Síncrono

Tarea de mantenimiento	Tipo	Frecuencia
Medición de resistencia de aislamiento e índice de polarización del bobinado del estator y rotor.	Predictivo	1 Año
Monitoreo de aislamiento con el equipo de tangente delta	Predictivo	1 Año
Inspección de cuñas de los bobinados del generador.	Preventivo	1 Año
Inspección de soldadura de fijación de aletas del rotor.	Preventivo	1 Año
Monitoreo de descargas parciales	Predictivo	6 Mes
Termografía del generador y conexiones eléctricas que estén al alcance visual.	Predictivo	1 Mes
Medición y análisis de vibraciones del generador.	Predictivo	1 Mes

Tabla N° 4.3. Plan de mantenimiento de los Cojinetes de apoyo

Tarea de mantenimiento	Tipo	Frecuencia
Análisis de aceite de los cojinetes de apoyo.	Predictivo	1 Año
Verificar ajuste de tornillos de anillos de lubricación de chumaceras.	Preventivo	1 Año
Inspección del babit de las chumaceras.	Preventivo	1 Año
Ensayo no destructivo de los pernos de anclaje de cojinetes. Reemplazo de pernos si es necesario.	Predictivo	1 Año
Medición y análisis de vibración en cojinetes de apoyo.	Predictivo	1 Mes
Limpieza de filtro de aceite del sistema de lubricación.	Preventivo	1 Mes

Tabla N° 4.4. Plan de mantenimiento de la excitatriz principal

Tarea de mantenimiento	Tipo	Frecuencia
Mantenimiento de bobinas del generador DC con solvente dieléctrico. Realizar barnizado y tratamiento térmico si es necesario.	Preventivo	1 Año
Medición de resistencia de aislamiento e índice de polarización de las bobinas del generador DC.	Predictivo	1 Año
Mantenimiento de terminales y reajuste de pernos conectores. Reemplazar pernos si es necesario, dar el ajuste adecuado.	Preventivo	1 Año
Inspección y verificación de ajuste de los pernos de sujeción y estructura de porta escobillas.	Preventivo	1 Año
Limpieza integral con solvente dieléctrico y aire comprimido de los bobinados del generador DC.	Preventivo	1 Año
Pruebas No destructiva a los pernos del acoplamiento de eje de la excitatriz y verificación del ajuste adecuado.	Preventivo	1 Año

Inspección y mantenimiento a los sensores de temperaturas.	Preventivo	1 Año
Alineamiento y nivelación de la excitatriz con equipos de alineamiento de precisión.	Preventivo	1 Año
Reemplazo de juntas y empaques de aceite en los cojinetes.	Preventivo	1 Año
Reemplazo de escobillas para evitar el sobrecalentamiento por falta de presión mecánica.	Preventivo	6 Mes
Inspección de terminal y perno conector del generador DC.	Preventivo	1 Mes
Inspección de la estructura de porta escobillas.	Preventivo	1 Mes
Limpieza de residuos de carbón y cobre entre delgas.	Preventivo	1 Mes
Inspección del ajuste adecuado de los pernos de acoplamiento.	Preventivo	1 Mes
Inspección de los anillos lubricación de los cojinetes.	Preventivo	1 Mes
Medición y análisis de vibraciones en la excitatriz.	Predictivo.	1 Mes
Termografía de la excitatriz.	Predictivo.	1 Mes
Inspección de juntas y empaques de aceite en los cojinetes.	Preventivo	1 Mes
Inspección del ajuste de escobillas y limpieza con aire comprimido.	Preventivo	1Sem.
Inspección del aceite y el nivel adecuado para la óptima lubricación.	Preventivo	1Sem.
Inspección del aceite y el nivel adecuado para la óptima lubricación.	Preventivo	1Sem.

Tabla N° 4.5. Plan de mantenimiento del regulador de velocidad

Tarea de mantenimiento	Tipo	Frecuencia
Reemplazo de presostatos	Preventivo	10 Años
Reemplazo de bocinas, pines, rodamientos y otros elementos componentes del regulador de velocidad	Preventivo	5 Años
Calibración de presostatos del regulador de velocidad.	Preventivo	1 Año
Calibración y pruebas del regulador de velocidad.	Preventivo	1 Año
Mantenimiento de los contactos de los presostatos del regulador de velocidad.	Preventivo	1 Año
Medición de continuidad del cableado y medición de resistencia de aislamiento del cable.	Preventivo	1 Año
Inspección y mantenimiento del sensor del presostato	Preventivo	1 Año
Mantenimiento y pruebas de operación del circuito de arranque y parada del motor de la bomba de aceite del regulador de velocidad.	Preventivo	1 Mes
Limpieza de filtro de aceite del tanque sumidero del regulador de velocidad.	Preventivo	1 Mes
Cambio de válvula de control de aire al tanque de compensación.	Correctivo	-
Cambio de válvula de seguridad del tanque de compensación.	Correctivo	-

Tabla N° 4.6. Plan de mantenimiento de la válvula principal

Tarea de mantenimiento	Tipo	Frecuencia
Cambio de la válvula esférica después de 15 años de operación. Adquirir un repuesto de la válvula esférica.	Preventivo	15 Años
Mantenimiento de todos los mecanismos de la válvula esférica.	Preventivo	5 Años
Mantenimiento de la válvula y tubería de presión que se toma de la tubería de presión al ingreso de la válvula esférica.	Preventivo	5 Años
Mantenimiento integral del cilindro de la válvula esférica.	Preventivo	5 Años
Inspección y mantenimiento de la tubería y la válvula by-pass cada vez que se vacía la tubería de presión.	Preventivo	5 Años
Mantenimiento de electroválvulas del circuito de aceite a presión para maniobrar la válvula esférica.	Preventivo	1 Año
Inspección de la tubería y la válvula del by-pass	Preventivo	1 Año
Mantenimiento de filtros de agua, del sistema de agua que se toma de la tubería de presión al ingreso de la válvula esférica.	Preventivo	1 Mes
Inspección y reajuste de uniones, sellos de las tuberías del circuito de aceite para apertura de la válvula esférica.	Preventivo	1 Mes
Toma de muestras de aceite del cilindro para su inspección y descartar emulsión del aceite con el agua.	Preventivo	1 Mes

Tabla N° 4.7. Plan de mantenimiento del sistema de refrigeración

Tarea de mantenimiento	Tipo	Frecuencia
Cambio de radiadores del generador. Mantenimiento y prueba de alta presión al radiador retirado para que quede como repuesto.	Preventivo	5 Años
Inspección y mantenimiento periódico de los impulsores de las bombas del sistema de refrigeración principal y auxiliar.	Preventivo	1 Año
Limpieza de tuberías de los radiadores del generador.	Preventivo	1 Año
Medición y análisis de vibración de los motores y bombas del sistema de refrigeración principal y auxiliar.	Predictivo	1 Mes
Realizar inspección de los intercambiadores de calor del sistema de refrigeración de chumaceras	Preventivo	1 Mes
Limpieza de filtros de reservorio y cambio del sistema de refrigeración principal al sistema auxiliar para el lavado de reservorio.	Operaciones	1Sem.
Purga de los radiadores del generador cada vez que se realiza limpieza del reservorio.	Operaciones	1Sem.
Limpieza con presión de aire cada vez que se obstruyan los filtros de la toma de agua del sistema de refrigeración.	Correctivo	-
Limpieza de la malla del filtro principal de auto lavado o su cambio si es necesario.	Correctivo	-
Cambio y limpieza de filtro del sistema de refrigeración de chumaceras en base a la indicación del manómetro	Correctivo	-

del intercambiador de calor		
Cambio del indicador depresión y nivel del agua del reservorio.	Correctivo	-
Cambio del indicador depresión y nivel del agua del reservorio.	Correctivo	-

Tabla N° 4.8. Plan de mantenimiento del sistema de lubricación

Tarea de mantenimiento	Tipo	Frecuencia
Inspección y reemplazo de tuberías del sistema de lubricación al interior de la carcasa de turbina.	Preventivo	1 Mes
Inspección y ajuste de acoplamientos de tuberías del sistema de lubricación..	Preventivo	1 Mes
Inspección y ajuste de acoplamientos de válvulas del sistema de lubricación.	Preventivo	1 Mes
Llenado de grasa al sistema de lubricación.	Preventivo	1Sem
Cambiar las válvulas graseras del sistema de lubricación cuando se malogren	Correctivo	-
Calentamiento y limpieza de la tubería del sistema de lubricación con aire a presión, cuando se quede obstruida por grasa seca.	Correctivo	-
Calentamiento y limpieza de la tubería del sistema de lubricación con aire a presión, cuando se quede obstruida por grasa seca.	Correctivo	-
Evaluar el reemplazo de niples de tubería del sistema de lubricación por una trayectoria menos expuesta a la presión de agua dentro de la carcasa de turbina. Cambiar por niples fabricados con material más resistente.	Rediseño	-

Tabla N° 4.9. Plan de mantenimiento para el sistema contraincendios

Tarea de mantenimiento	Tipo	Frecuencia
Inspección y mantenimiento del termostato (sensor de temperatura) del mando automático del sistema contraincendios.	Preventivo	1 Año
Inspección (tapones, válvula, cañerías) y control de peso de los cilindros de CO2.	Preventivo	1 Año
Inspección y mantenimiento de tuberías del sistema contraincendios.	Preventivo	1 Año
Inspección y mantenimiento del mecanismo de contrapesas de la válvula de direccionamiento para el mando local del sistema contraincendios.	Preventivo	1 Año
Inspección (tapones, válvula, cañerías) y control de peso de los cilindros de CO2.	Preventivo	1 Año
Inspección y mantenimiento de tuberías del sistema contraincendios.	Preventivo	1 Año
Inspección y mantenimiento del circuito eléctrico del mando automático del sistema contraincendios.	Preventivo	1 Mes

Tabla N° 4.10. Plan de mantenimiento del sistema de freno

Tarea de mantenimiento	Tipo	Frecuencia
Reemplazo de tubería y codos aguas arriba de la válvula principal del sistema de freno.	Preventivo	5 Años
Mantenimiento de la válvula principal del sistema de freno. Reemplazar si es necesario.	Preventivo	5 Años
Medición de espesor de tubería y codos aguas arriba y abajo de la válvula principal del sistema de freno.	Preventivo	1 Años
Mantenimiento de la válvula secundaria del sistema de freno.	Preventivo	1 Años
Inspección de la válvula secundaria del sistema de freno.	Preventivo	1 Mes

4.5. Implementación de plan de mantenimiento, seguimiento de resultados y actualización del estudio

Elaborado el plan de estrategias de mantenimiento periódico para cada equipo o sistema, resultado del estudio RCM, se procede a su aplicación e implementación en el área de mantenimiento en los programas de mantenimiento de corto, mediano y largo plazo.

El plan de mantenimiento es el único que prevalecerá en el área de mantenimiento y los anteriores planes o costumbres de mantenimiento deben ser desechados.

Se recomienda hacer seguimiento del comportamiento del equipo o sistema, analizar las fallas, evaluar la ejecución de las tareas de mantenimiento, recopilar información relevante y retroalimentar al equipo de trabajo, esta práctica será de mucha utilidad en la actualización del estudio RCM en lo sucesivo.

Las revisiones de los estudios RCM debe ser una práctica periódica en donde se hace la evaluación del desempeño del programa anual de mantenimiento y se identifican nuevas mejoras al plan.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las principales conclusiones y recomendaciones que obtenemos después de terminado el estudio RCM en un grupo generador de una central hidroeléctrica son:

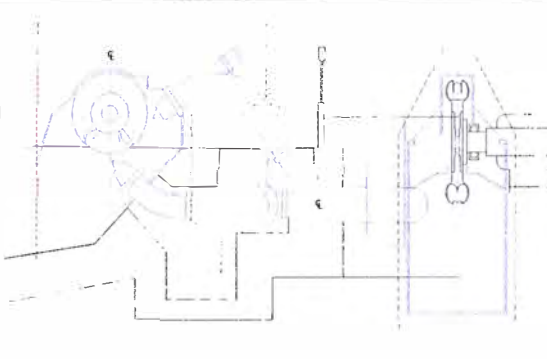
1. Una estrategia de mantenimiento técnico-económico es aquella que técnicamente es factible de ejecutar para evitar la ocurrencia de la causa de la falla y el costo de estas es menor que las consecuencias de la falla evitada.
2. El plan de mantenimiento es un plan periódico que consiste en realizar tareas de mantenimiento, básicamente de prevención de fallas. La ejecución de las tareas de mantenimiento ayudaran a preservar las funciones de los equipamientos y sistemas, mejorando así la confiabilidad.
3. La implementación del plan de mantenimiento basado en RCM, tiene una incidencia directa con el incremento en la producción de energía del generador, esto debido al aumento de la disponibilidad del grupo generador, es decir mayor tiempo de permanencia del grupo generador en el sistema interconectado. Los mantenimientos preventivos y predictivos se realizarán a frecuencia idóneas, evitando así paradas del grupo generador para mantenimiento no necesario. El ratio de fallas en el grupo generador debe disminuir.
4. Se mejora la rentabilidad del mantenimiento ya que el RCM se enfoca en las actividades de mantenimiento técnico-económico factibles, lo que se significa realizar mantenimiento económicamente viables para evitar fallas de alto costo de reparación. También se evitan las paradas por mantenimiento no necesario.
5. Para realizar el estudio RCM, es necesario que exista un sistema de gestión de mantenimiento en donde se tiene la información técnica del equipamiento en estudio, los programas de mantenimiento anteriores, los registros de mantenimiento, planillas de stock de repuestos y suministros, costos de repuestos y suministros, planillas del recurso humano, documentos asociados a las tareas de mantenimiento y otros recursos significativos relacionados con la operación y mantenimiento. Toda la información debe estar clasificada, organizada, mantenerse actualizada y debe estar disponible al personal, de mantenimiento o de operación.

6. El estudio RCM exige retroalimentación continua entre el personal de mantenimiento y el personal que opera los equipos, a través de un lenguaje técnico de fácil entendimiento, esta práctica tiene incidencia en el clima de trabajo entre los trabajadores mejorando los canales de comunicación.
7. El estudio RCM pone atención a los costos en que se incurren en un mantenimiento correctivo ante una eventual falla, las pérdidas económicas que se deriven de esto. También se identifican las consideraciones a tenerse en cuenta para evitar que las pérdidas económicas se incrementen por la indisponibilidad de un stock de repuestos (repuestos críticos).
8. Para los equipos que tienen componentes caros (repuestos críticos), el estudio RCM concluye en aplicar técnicas de mantenimiento basado en condición.
9. Iniciada la aplicación del plan de mantenimiento basado en el estudio RCM, se recomienda hacer seguimiento de las estrategias de mantenimiento. Para cada equipo o sistema se registrarán todos los eventos de su operación y de su mantenimiento, esta información va a ser de mucha utilidad al momento que se hace la revisión de los estudios RCM de cada equipo o sistema.

ANEXOS

ANEXO A: RCM-001 TURBINA

RCM-001 Turbina: Formato de fronteras

RCM			
FRONTERAS DEL ESTUDIO			
EQUIPO: TURBINA DE GRUPO GENERADOR			
N° : RCM - 001			
1. DATOS GENERALES			
Fecha	Set 2009	Central de generación	Yaupi
Casa de Maquinas	CH Yaupi	Ubicación	Sala de Maquinas y Sotano
DATOS EN JOBTECH			
Ubicación técnica	-	Equipo	Turbina G1
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
1.- CONJUNTO TURBINA		3.- RODETE	
Fabricante	MORGAN SMITH CO.	Tipo	Pelton eje horizontal
Año de fabricación	1955	Fabricante	George Fisher
Año de puesta en servicio	1957	Año de fabricación	
N° de serie	-	Año de puesta en servicio	25/09/1989
Altura		N° de serie	
Descarga	5 900 l/seg	Código interno	GF - 1
2.- INYECTORES		Número de cucharas	19
Fabricante	MORGAN SMITH CO.	Diametro Exterior	98 Pulg.(2475 mm.)
Año de fabricación	1955	Diametro Impulso	74 Pulg.(1880 mm.)
Año de puesta en servicio	1957	Ancho de Cucharas	624 mm.
3. CONDICIONES AMBIENTALES		Velocidad Nominal	450 RPM
Temperatura ambiente	De 8 °C a 32 °C	Altitud	1327 m.s.n.m
Humedad	De 82% a 96%	Grado de polución	Baja
Nivel de corrosión	Media		
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN			
<p>En una inspección rutinaria cada vez que se encuentran fisuras en las cucharas o en la superficie del rodete será necesario realizar el cambio de rodete. Las fisuras en la cuchara o en las superficie del rodete son producidos por los sólidos en el agua y por el fenómeno de cavitación.</p> <p>El rodete durante el año opera a diferentes presiones, siendo la condición operativa de mayor generación cuando la Toma Yuncán rebosa y cuando ingresa agua de la Toma Manto, manteniéndose la presión alrededor de 700 PSI con un caudal aproximado de 6.1 m³/s.</p> <p>El grupo de generación funciona todo el año así sea periodo de avenida o estiaje, soalmente es puesto fuera de servicio por mantenimiento programado. Se tiene un rodete de repuesto, disponible para las unidades valorizado en USD 700 000.</p>			
5. FRONTERAS			
Por la tapa de turbina, hasta	el piso de la casa de máquinas incluido los pernos de sujeción al piso. No incluye el piso		
Por la parte inferior, hasta	el ingreso al canal de descarga.		
Por los inyectores, hasta	la unión entre la tubería forzada del inyector y tubería forzada de la válvula de admisión principal. No incluye las tuberías de aceite de los inyectores		
Por el rodete, hasta	los pernos de sujeción del rodete con el eje		
Cabe indicar que: El deflector móvil incluye la varilla del deflector hasta la unión con el regulador de velocidad, incluye pernos.			
6. INTERFAZ			
ENTRADAS		SALIDAS	
Ingreso de agua por los inyectores . Aceite a presión nominal de las tuberías que vienen del regulador de velocidad Ingreso de agua por el freno hidráulico Energía mecánica del regulador de velocidad para accionar el deflector móvil		Agua turbinada en el canal de descarga Posición del inyector (señalización local en el inyector) Presión de agua en el inyector (señalización local en manómetro)	
7. INFORMACIÓN ADICIONAL			
El rodete George Fisher se puso en operación el 25/09/1989 y luego de 92,553 horas de operación se le realizó una recuperación integral en el año 2001. Luego recuperación ha acumulado en servicio 25,164 horas de operación. Después de la recuperación integral este rodete ha sido reparado por soldadura en 7 oportunidades por las fisuras y/o desgastes.			

RCM-001 Turbina: Función 1 - Modo de falla - Análisis de efectos

RCM-001: Turbina		Función 1		Convertir la energía potencial del agua en energía mecánica nominal
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
1.1	No convierte la energía potencial del agua en energía mecánica	1.1.1	Rotura de pernos de sujeción del rodete con el eje	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La separación del rodete con el eje ocasiona daños de gran magnitud en otros componentes del grupo generador, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bobinas del generador • Chumaceras de cojinetes de apoyo • Pernos de anclaje de cojinete de apoyo • Caja y carcasa de la turbina • Des alineamiento del eje • Rodete pelton • Excitatriz principal <p>El tipo de falla es oculto (4), produce fallas múltiples.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (4) Puede causar lesión de incapacidad o la muerte.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No causa daños al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de rodete (6 horas, rodete nuevo) • Cambio de chumacera de cojinete de apoyos (8 horas, juego de chumaceras nuevos) • Rebobinado del estator del generador (30 días , juego de bobinas del estator nuevos) • Reparación del anclaje de los cojinetes de apoyo (14 días, compra de repuestos)f • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar de 1 a 2 meses. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Rodete nuevo (\$ 700 000) • 02 juegos de chumaceras (\$ 30 000) • 01 Servicio de rebobinado del estator, suministro y montaje de 180 bobinas (\$ 450 000) • 01 Servicio para la reparación de anclajes de cojinetes (\$ 5 000) • 01 Servicio de reparación de excitatriz, rebobinado de estator y rotor, reparación de cojinetes. (\$ 50 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 1 200 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Pérdida económica de US\$ 860 000, por la energía dejada de generar en 02 meses. Posibilidad ser penalizada por Osinergmin.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (4) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinergmin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.1.2	Rotura de cangilón	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El seccionamiento de un cangilón puede obstruir el giro del rodete provocando daños de gran magnitud en otros componentes del grupo generador tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bobinas del generador • Chumaceras de cojinetes de apoyo • Pernos de anclaje de cojinete de apoyo • Caja y carcasa de la turbina • Des alineamiento del eje • Rodete pelton • Excitatriz principal <p>Es tipo de falla es oculto (4), produce fallas múltiples.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (4) Puede causar lesión de incapacidad o la muerte.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No causa daños al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) Trabajos correctivos:</p>

			<p>Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de rodete (6 horas, rodete nuevo) • Cambio de chumacera de cojinete de apoyos (8 horas, juego de chumaceras nuevos) • Rebobinado del estator del generador (30 días , juego de bobinas del estator nuevos) • Reparación del anclaje de los cojinetes de apoyo (14 días, compra de repuestos)f • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar de 1 a 2 meses. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Rodete nuevo (\$ 700 000) • 02 juegos de chumaceras (\$ 30 000) • 01 Servicio de rebobinado del estator, suministro y montaje de 180 bobinas (\$ 450 000) • 01 Servicio para la reparación de anclajes de cojinetes (\$ 5 000) • 01 Servicio de reparación de excitatriz, rebobinado de estator y rotor, reparación de cojinetes. (\$ 50 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 1 200 000. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Pérdida económica de US\$ 860 000, por la energía dejada de generar en 02 meses. Posibilidad ser penalizada por Osinergmin. 6.- Imagen Corporativa: (4) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinergmin. 7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
1.2	Convierte parcialmente la energía potencial del agua en energía mecánica	1.2.1	<p>Obstrucción del conjunto inyector (aguja, tobera y deflector)</p> <p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Obstrucción en el mecanismo del funcionamiento del inyector por desprendimiento de algún componente del inyector o presencia de material en el agua. Este tipo de falla es evidente (1).Es fácil detectar problemas en el funcionamiento del mecanismo para el aumento y disminución en la generación.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla es necesario parar el grupo generador para realizar siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección de los componentes del inyector y realizar el retiro del material que causa la obstrucción, también reparar componente afectado. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 20 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Aguja (\$ 4 000) • 01 Brida y asiento de aguja (\$ 1500) • 01 Deflector (\$ 1 500) <p>El costo por reparación y repuestos puede ser hasta de US\$ 4 000. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (3) Pérdida económica de US\$ 12 000 por la energía dejada de generar en 20 horas. 6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.2.2	<p>Desgaste de superficie de cangilón y partes del rodete</p> <p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El desgaste en el cangilón puede provocar vibración limitando la generación del grupo generador. Este tipo de falla es evidente (1).</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Trabajos correctivos:</p>

			<p>En caso de desgaste, es necesario parar el grupo generador para realizar siguientes trabajos correctivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de rodete por otro que se tiene de repuesto. • Reparación del rodete retirado en el taller. <p>El cambio de rodete puede durar hasta 6 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reparación del rodete en el taller (\$ 3 000) <p>El costo por reparación y repuestos puede ser hasta de US\$ 3 000. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica de US\$ 4 000 por la energía dejada de generar debido al cambio de rodete. 6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.2.3	<p>Rotura de componentes del conjunto inyector (aguja, deflector, tobera y asientos de aguja)</p> <p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al romperse un componente del conjunto inyector puede quedarse atorado entre la aguja y el asiento, desviando el chorro de agua, causando una disminución de la generación. Este tipo de falla es evidente (1).</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla es necesario parar el grupo generador para realizar siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección de los componentes del inyector y realizar el retiro del material que causa la obstrucción, también reparar componente afectado. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 20 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Aguja (\$ 4 000) • 01 Brida y asiento de aguja (\$ 1500) • 01 Deflector (\$ 1 500) <p>El costo por reparación y repuestos puede ser hasta de US\$ 4 000. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (3) Pérdida económica de US\$ 12 000 por la energía dejada de generar en 20 horas. 6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.2.4	<p>Desgaste de componentes del conjunto inyector (aguja, tobera, deflector y apoyo de aguja localizado en la tobera)</p> <p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al desgastarse los asientos y agujas se produce una desviación del chorro produciendo así una disminución de la generación. En caso se presente una fuga por los empaques de las prensaestopas del inyector se tendría que cerrar la válvula esférica deteniendo la generación. Falla es evidente (1), se puede observar variación en la generación.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Trabajos correctivos: Es necesario parar el grupo generador para realizar siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar y realizar el cambio de los componentes del inyector. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 20 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Aguja (\$ 4 000) • 01 Brida y asiento de aguja (\$ 1500) • 01 Deflector (\$ 1 500) <p>El costo por reparación y repuestos puede ser hasta de US\$ 4 000. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (3) Pérdida económica de US\$ 12 000 por la energía dejada de generar en 20 horas. 6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0)</p>

			No se afecta al cliente.
--	--	--	--------------------------

RCM-001 Turbina: Función 2 - Modo de falla - Análisis de efectos

RCM-001: Turbina		Función 2		Mantener la estanqueidad de la turbina
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
2.1	No mantiene la estanqueidad	2.1.1	Desgaste de juntas	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al desgastarse las juntas se producen fugas de agua, no manteniendo la estanqueidad. El tipo de falla es evidente (1), se puede ver la fuga de agua.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (2) Si la fuga de agua es de consideración puede causar lesión a alguna persona que transite por la zona.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Trabajos correctivos: Es necesario parar el grupo generador para realizar siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la junta con fuga. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 10 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01Servicio de reparación de juntas (\$ 2 000) <p>El costo por reparación y repuestos es de US\$ 2 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica de US\$ 6 000 por la energía dejada de generar en 10 horas.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		2.1.2	Rotura de carcasa	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al romperse la carcasa se producen fugas de agua, no manteniendo la estanqueidad. El tipo de falla es evidente (1).</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (2) Si la fuga de agua es de consideración puede causar lesión a alguna persona que transite por la zona.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Trabajos correctivos: Es necesario sacar fuera de servicio el grupo generador para realizar siguientes trabajos correctivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soldar una plancha sobre la zona de la carcasa afectada. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 4 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01Plancha de grado alto y suministros para la reparación de la carcasa (\$ 5 00) <p>El costo por reparación y repuestos es de US\$ 500.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica de US\$ 2 500 por la energía dejada de generar en 10 horas.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-001 Turbina: Función 3 - Modo de falla - Análisis de efectos

RCM-001: Turbina		Función 3		Indicar la presión del agua y posición del inyector en forma confiable
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
3.1.	No indica presión de agua y posición del inyector	3.1.1.	Deterioro del indicador de presión.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al deteriorarse el indicador de presión se pierde la medición de presión y conocer con certeza la posición del inyector. El tipo de falla es evidente (1). Se puede verificar la presión medida y la posición del inyector con valores históricos que se tienen en las mismas condiciones.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta a la seguridad de las personas.</p>

				<p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Trabajos correctivos: No es necesario realizar sacar fuera de servicio al grupo generador para realizar el siguiente trabajo correctivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio del indicador de presión. <p>El trabajo correctivo puede demorar 1 hora. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01Presostato, instrumento indicador de presión .(\$ 600) <p>El costo de reparación es menor a US\$ 1 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se producen pérdidas por energía dejada de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
3.2.	Indica erróneamente presión de agua y/o posición del inyector	3.2.1.	Indicador de presión des calibrado.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El indicador de presión des calibrado proporciona valores erróneos de presión, debido a la fatiga de sus componentes. El tipo de falla es evidente (1). Se puede verificar valores de presión con los valores históricos que se tiene en las mismas condiciones.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta a la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Trabajos correctivos: No es necesario realizar sacar fuera de servicio al grupo generador para realizar el siguiente trabajo correctivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calibración del indicador de presión. <p>El trabajo correctivo puede demorar hasta 2 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01Servicio de contrastación de instrumentos (\$ 100) <p>El costo de reparación es menor a US\$ 1 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se producen pérdidas por energía dejada de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-001 Turbina: Severidad - Causa de falla dominante

Modo de Falla N°	RCM-001 Turbina								N°	Causa de falla dominante
	Valor de la severidad									
	FO	SF	MA	CR	CP	IC	AC	S		
1.1.1	4	4	0	4	4	4	0	3.01	1.1.1.1	Rotura de perno de sujeción del eje con el rodete por: Fatiga del material del perno Defecto del material, Defectos durante el proceso de fabricación del perno Horas de trabajo.
									1.1.1.2	Rotura de perno de sujeción del eje con el rodete por Vibración
									1.1.1.3	Rotura de perno de sujeción del eje con el rodete por ajuste inadecuado del perno. Mantenimiento defectuoso.
1.1.2	4	4	0	4	4	4	0	3.01	1.1.2.1	Rotura de cangilón por mal tratamiento térmico cuando se recupera el desgaste del filo de ataque con soldadura. Deficiencia durante el proceso de recuperación del filo ataque del cangilón.
									1.1.2.2	Rotura de cangilón por impacto de un cuerpo sólido (piedra o asiento o pedazo de cruceta guía, deflector)

										1.1.2.3	Apertura brusca del inyector al poner en servicio al grupo. Impacto brusco del chorro de agua sobre un cangilón.
										1.1.2.4	Por mal tratamiento térmico en la recuperación del rodete con soldadura.
										1.1.2.5	Fatiga de cangilones por tiempo de trabajo (desgaste)
										1.1.2.6	Fisuras en rodetes que ya hayan sido sometidos a un mal tratamiento térmico
										1.1.2.7	Fatiga de cangilones por erosión y cavitación
1.2.1	1	0	0	2	3	0	0	0.90	1.2.1.1	Trabamamiento del sistema de inyección superior o inferior por presencia de material en el agua (piedra, pedazo de cruceta guía y/o otro tipo de material). Se produce una reducción de la generación, ya que uno de los inyectores se encontraría obstruido. Los trabajos de reparación a realizar es: retirar la tapa de turbina, desmontar el rodete, retiro de deflector y la tobera.	
									1.2.1.2	Desprendimiento de la aguja por rotura del seguro de la aguja (pin). Se produce una reducción de la generación ya que uno de los inyectores se encontraría obstruido. Para la solución del problema se considera retirar la tapa de turbina, desmontar el rodete, retiro de deflector y la tobera.	
1.2.2	1	0	0	2	2	0	0	0.73	1.2.2.1	Desgaste de cangilones por fatiga por las condiciones de trabajo del rodete (alta presión del agua y horas de trabajo).	
									1.2.2.2	Desgaste de cangilones por presencia de arena en el agua.	
1.2.3	1	0	0	2	3	0	0	0.90	1.2.3.1	Seccionamiento de aletas directrices soporte guía de aguja (6 aletas). Componentes sometidos a fuertes esfuerzos originados por la alta presión del chorro de agua. Produce pérdida de eficiencia en la potencia de generación	
									1.2.3.2	Fractura de pernos de la brida del asiento del inyector (24 pernos). Componentes sometidos a fuertes esfuerzos originados por la alta presión del chorro de agua. Si existe fuga de agua por la brida, esto afectaría la eficiencia de la generación.	
1.2.4	1	0	0	2	3	0	0	0.90	1.2.4.1	Desgaste de asientos de aguja por presencia de arena en el agua.	
									1.2.4.2	Desgaste de aguja de inyector por presencia de arena en el agua.	
									1.2.4.3	Fatiga de empaques de caucho de las prensa-estopa del eje del sistema de inyección. Fatiga de empaques de caucho provocando fugas de agua por el eje del inyector.	
2.1.1	1	2	0	2	2	0	0	1.16	2.1.1.1	Desgaste de juntas y empaques	
2.1.2	1	2	0	1	2	0	0	1.02	2.1.2.1	Seccionamiento o rotura de la tapa de turbina por impacto de cuerpo.	
									2.1.2.2	Seccionamiento de la tapa de turbina por la alta presión de agua.	

3.1.1.	1	0	0	1	0	0	0	0.27	3.1.1.1	Fatiga de componentes del indicador de presión por tiempo de vida útil cumplido.
									3.1.1.2	Aflojamiento o rotura de componentes del indicador de presión por vibración.
3.2.1.	1	0	0	1	0	0	0	0.27	3.2.1.1	Fatiga de componentes del indicador de presión tiempo de vida útil cumplido.

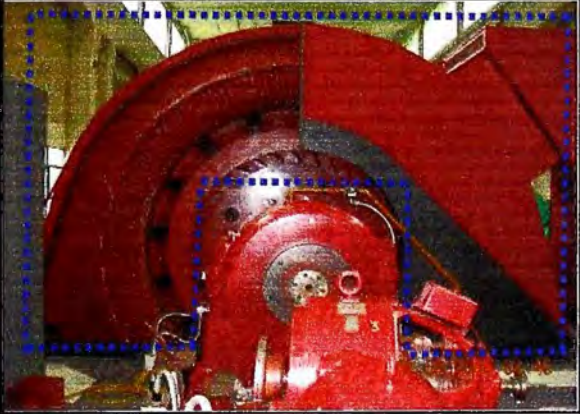
RCM-001 Turbina: Selección de tareas

Causa De Falla N°	RCM-001 Turbina			
	Selección de Tareas			
	N°	Tipo	Tarea	Periodo
1.1.1.1	1.1.1.1.1	Preventivo	Pruebas No destructivas a los pernos de acople de rodete con eje del generador. Realizar el cambio si es necesario.	3A
1.1.1.2	1.1.1.2.1	Predictivo	Medición y análisis de vibración en cojinetes de apoyo.	1M
1.1.1.3	1.1.1.3.1	Predictivo	Medición y análisis de vibración en cojinetes de apoyo. Realizar medición de vibración después de cada mantenimiento.	1M
1.1.2.1	1.1.2.1.1	Preventivo	Esmerilado para recuperación del filo de ataque de los cangilones. (Sólo esmerilar y evitar calentar el rodete para trabajos con soldadura). Finalmente realizar test de líquido penetrante	1A
1.1.2.2	1.1.2.2.1	Preventivo	Inspección de cruceta guía (soporte de guía de aguja). Realizar el cambio de ser necesario.	1A
	1.1.2.2.2	Preventivo	Inspección de pernos de la brida de acople de asiento. Inspección de pernos de sujeción del deflector. Inspección de otros componentes del sistema de inyección. Realizar el cambio en caso sea necesario.	1M
	1.1.2.2.3	Preventivo	En periodo de avenida maniobrar la válvula de Yaupi Alto para desarenar.	1Sem
	1.1.2.2.4	Preventivo	En periodo de estiaje maniobrar la válvula de Yaupi Alto para desarenar.	2M
	1.1.2.2.5	Preventivo	En el caso que Enersur realiza mantenimiento de la represa Huallamayo, deberá cerrarse las compuertas principales de ingreso de la Toma Yuncán para evitar que entre agua con alta cantidad de sólidos.	-
	1.1.2.2.6	Preventivo	Mantenimiento de rejillas de ingreso al túnel.	5A
	1.1.2.2.7	Preventivo	Mantenimiento de la estructura del túnel.	5A
1.1.2.3	1.1.2.3.1	Preventivo	Al realizar la puesta en servicio de la turbina, realizar la apertura de los inyectores lentamente.	-
1.1.2.4	1.1.2.4.1	Preventivo	En periodo de estiaje: Inspección de superficie del rodete y estado de cangilones para búsqueda de fisuras. Realizar pruebas con líquidos penetrantes y otras pruebas no destructivas aplicables. Realizar el tratamiento térmico adecuado para la recuperación del rodete por fisuras. Realizar el cambio del rodete en caso de ser necesario.	1M

1.1.2.5	1.1.2.5.1	Preventivo	En periodo de estiaje: Inspección de superficie del rodete y estado de cangilones para búsqueda de fisuras. Realizar pruebas con líquidos penetrantes y otras pruebas no destructivas aplicables. Realizar el tratamiento térmico adecuado para la recuperación del rodete por fisuras. Realizar el cambio del rodete en caso de ser necesario.	1M
1.1.2.6	1.1.2.6.1	Preventivo	En época de avenida, realizar Inspección de superficie del rodete y estado de cangilones para búsqueda de fisuras. Realizar pruebas con líquidos penetrantes y otras pruebas no destructivas aplicables. Realizar el tratamiento térmico adecuado para la recuperación del rodete por fisuras. Realizar el cambio del rodete en caso de ser necesario.	2Sem
1.1.2.7	1.1.2.7.1	Preventivo	En periodo de estiaje: Inspección de superficie del rodete y estado de cangilones para búsqueda de fisuras. Realizar pruebas con líquidos penetrantes y otras pruebas no destructivas aplicables. Realizar el tratamiento térmico adecuado para la recuperación del rodete por fisuras. Realizar el cambio del rodete en caso de ser necesario.	1M
1.2.1.1	1.2.1.1.1	Preventivo	Inspección de cruceta guía (soporte de guía de aguja). Realizar el cambio de ser necesario	1A
	1.2.1.1.2	Preventivo	Inspección de pernos de la brida de acople de asiento. Inspección de pernos de sujeción del deflector. Realizar el cambio en caso sea necesario.	1M
	1.2.1.1.3	Preventivo	En periodo de avenida maniobrar la válvula de Yaupi Alto para desarenar.	1Sem
	1.2.1.1.4	Preventivo	En periodo de estiaje maniobrar la válvula de Yaupi Alto para desarenar.	2M
	1.2.1.1.5	Preventivo	En el caso que Enersur realiza mantenimiento de la represa Huallamayo, deberá cerrarse las compuertas principales de ingreso de la Toma Yuncán para evitar que entre agua con alta cantidad de sólidos.	-
	1.2.1.1.6	Preventivo	Mantenimiento de rejillas de ingreso al túnel.	5A
	1.2.1.1.7	Preventivo	Mantenimiento de la estructura del túnel.	5A
1.2.1.2	1.2.1.2.1	Preventivo	Inspección del estado del pin seguro de la aguja del inyector. Realizar el cambio en caso sea necesario.	1A
1.2.2.1	1.2.2.1.1	Preventivo	En periodo de estiaje: Inspección de superficie del rodete y estado de cangilones para búsqueda de fisuras. Realizar pruebas con líquidos penetrantes y otras pruebas no destructivas aplicables. Realizar el tratamiento térmico adecuado para la recuperación del rodete por fisuras. Realizar el cambio del rodete en caso de ser necesario.	1M
	1.2.2.1.2	Preventivo	En época de avenida, realizar Inspección de superficie del rodete y estado de cangilones para búsqueda de fisuras. Realizar pruebas con líquidos penetrantes y otras pruebas no destructivas aplicables. Realizar el tratamiento térmico adecuado para la recuperación del rodete por fisuras. Realizar el cambio del rodete en caso de ser necesario.	2Sem

1.2.2.2	1.2.2.2.1	Preventivo	En periodo de avenida maniobrar la válvula de Yaupi Alto para desarenar.	1Sem
	1.2.2.2.2	Preventivo	En periodo de estiaje maniobrar la válvula de Yaupi Alto para desarenar.	2M
	1.2.2.2.3	Preventivo	En el caso que Enersur realiza mantenimiento de la represa Huallamayo, deberá cerrarse las compuertas principales de ingreso de la Toma Yuncán para evitar que entre agua con alta cantidad de sólidos.	-
	1.2.2.2.4	Preventivo	Mantenimiento de rejillas de ingreso al túnel.	5A
	1.2.2.2.5	Preventivo	Mantenimiento de la estructura del túnel.	5A
1.2.3.1	1.2.3.1.1	Preventivo	Inspección de cruceta guía (soporte de guía de aguja). Realizar el cambio de ser necesario	1A
1.2.3.2	1.2.3.2.1	Preventivo	Inspección de pernos de la brida de acople de asiento. Inspección de pernos de sujeción del deflector. Inspección de otros componentes del sistema de inyección. Realizar el cambio en caso sea necesario.	1M
1.2.4.1	1.2.4.1.1	Preventivo	Inspección de asientos de aguja. Realizar el cambio en caso sea necesario.	1A
1.2.4.2	1.2.4.2.1	Preventivo	Cambio de agujas de los inyectores	2A
1.2.4.3	1.2.4.3.1	Preventivo	Inspección del empaque de caucho de prensa estopas del eje del sistema de inyección. Realizar el cambio en caso sea necesario.	1M
2.1.1.1	2.1.1.1.1	Preventivo	Inspección y ajuste de los empaques de las juntas. Cambiar los empaques en caso sea necesario.	1M
2.1.2.1	2.1.2.1.1	Preventivo	Inspección de pernos de la brida de acople de asiento. Inspección de pernos de sujeción del deflector. Inspección de otros componentes del sistema de inyección. Realizar el cambio en caso sea necesario.	1M
	2.1.2.1.2	Preventivo	En periodo de avenida maniobrar la válvula de Yaupi Alto para desarenar.	1Sem
	2.1.2.1.3	Preventivo	En periodo de estiaje maniobrar la válvula de Yaupi Alto para desarenar.	2M
	2.1.2.1.4	Preventivo	En el caso que Enersur realiza mantenimiento de la represa Huallamayo, deberá cerrarse las compuertas principales de ingreso de la Toma Yuncán para evitar que entre agua con alta cantidad de sólidos.	-
	2.1.2.1.5	Preventivo	Mantenimiento de rejillas de ingreso al túnel.	5A
	2.1.2.1.6	Preventivo	Mantenimiento de la estructura del túnel.	5A
2.1.2.2	2.1.2.2.1	Preventivo	Inspección y mantenimiento de la parte interno de la caja de turbina.	1M
3.1.1.1	3.1.1.1.1	Correctivo	Reemplazo el indicador de presión de agua (manómetro).	-
	3.1.1.1.2	Rediseño	Mejorar el sistema de posicionamiento de la aguja del inyector.	-
3.1.1.2	3.1.1.2.1	Correctivo	Reemplazo el indicador de presión de agua (manómetro).	-
	3.1.1.2.2	Rediseño	Mejorar el sistema de posicionamiento de la aguja del inyector.	-
3.2.1.1	3.2.1.1.1	Rediseño	Mejorar el sistema de posicionamiento de la aguja del inyector.	-

ANEXO B: RCM-002 GENERADOR**RCM-002 Generador: Fronteras de fronteras**

RCM			
FRONTERAS DEL ESTUDIO			
EQUIPO: GENERADOR			
N° : RCM - 002			
1. DATOS GENERALES			
Fecha	Set 2009	Central de generación	Yaupi
Casa de Maquinas	CH Yaupi	Ubicación	Sala de Maquinas y Sotano
DATOS DE MAXIMO			
Ubicación técnica	1YAUPIGE01GG1	Equipo	Grupo N°1
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
1.- GENERADOR			
Fabricante	Westinghouse		
Potencia	24 000 KVA		
Tension	13 800 V		
Amperaje	1 004 Amp.		
Factor de Potencia	0.9		
Fases	3		
Frecuencia	60 Cic/seg		
Número de Polos	16		
Velocidad	450 RPM		
Tensión de excitación	250 VDC		
Corriente de excitación	313 Amp.		
Temperatura de servicio	60 °C		
Clase de aislamiento	Clase B		
3. CONDICIONES AMBIENTALES			
Temperatura ambiente	De 8 °C a 32 °C	Altitud	1327 m.s.n.m
Humedad	De 82% a 96%	Grado de polución	Baja
Nivel de corrosión	Media		
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN			
El grupo de generación funciona todo el año así sea período de avenida o estiaje, solamente se pone fuera de servicio por mantenimiento.			
5. FRONTERAS			
Por la carcaza, hasta	el piso de la casa de máquinas incluido los pernos de sujeción al piso. No incluye el piso ni radiadores.		
Por el rotor y estator	Hasta los terminales de llegada a los anillos rozantes. Hasta los terminales de salida al neutro. Hastalos terminales de salida de la bobina del generador.		
6. INTERFAZ			
ENTRADAS		SALIDAS	
Energía mecánica proporcionada por la turbina hidráulica. Voltage DC proporcionada por el sistema de excitación.		Energía eléctrica alterna.	
7. INFORMACIÓN ADICIONAL			
El estator del generador de 24 MVA de la CH Yaupi NO se ha rebobinado.			

RCM-002 Generador: Función 1 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-002: Generador		Función 1		Generar energía eléctrica a valores nominales
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
1.1	No generar energía eléctrica a valores nominales	1.1.1	Pérdida del aislamiento en las bobinas del estator	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La degradación del aislamiento del bobinado del estator puede generar una falla a tierra o falla entre fases. Este tipo de falla es evidente (1).</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rebobinado del total de todo el estator (30 días) El trabajo correctivo tiene una duración de 30 días. <p>Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de rebobinado del estator, suministro y montaje de 180 bobinas (\$ 450 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 450 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Pérdida económica de US\$ 432 000, por la energía dejada de generar en 01 mes. Posibilidad ser penalizada por Osinergmin.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (4) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinergmin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.1.2	Raspado de cinta semiconductora producto de cuñas flojas	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El raspado de la cinta semiconductora puede ocasionar una falla a tierra por pérdida del nivel de aislamiento del bobinado del estator al dañarse la cinta. El tipo de falla es evidente (1).</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rebobinado del total de todo el estator (30 días) El trabajo correctivo tiene una duración de 30 días. <p>Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de rebobinado del estator, suministro y montaje de 180 bobinas (\$ 450 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 450 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Pérdida económica de US\$ 432 000, por la energía dejada de generar en 01 mes. Posibilidad ser penalizada por Osinergmin.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (4) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinergmin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.1.3	Seccionamiento de aletas de ventilación del rotor	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El seccionamiento de una aleta de ventilación del rotor puede ingresar al entrehierro y obstruir el giro del rotor produciendo daños de gran magnitud en los bobinados del rotor y estator. Este tipo de falla es evidente (1).</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (4) Puede ocasionar lesión de incapacidad o la muerte al personal que se encuentre cerca del generador.</p>

				<p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rebobinado del total de todo el estator (30 días) El trabajo correctivo tiene una duración de 30 días. <p>Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de rebobinado del estator, suministro y montaje de 180 bobinas (\$ 450 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 450 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Pérdida económica de US\$ 432 000, por la energía dejada de generar en 01 mes. Posibilidad ser penalizada por Osinergmin.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (4) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinergmin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.1.4	Falla del rotor a tierra	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La falla del rotor a tierra puede ocasionar que se tenga un desbalance de campo magnético en el circuito de campo, esto ocasionará que la máquina presente un nivel de vibración alta, pudiendo ocasionar daños en otros componentes del grupo generador. Este tipo falla es evidente (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rebobinado del total de todo el rotor (20 días) El trabajo correctivo tiene una duración de 20 días. <p>Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de rebobinado del estator, suministro y montaje de bobinas (\$ 150 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 150 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Pérdida económica de US\$ 288 000, por la energía dejada de generar en 20 días. Posibilidad ser penalizada por Osinergmin.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (4) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinergmin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-002 Generador: Severidad - Causa de falla dominante

Modo de Falla N°	RCM-002 Generador								N°	Causa de falla dominante
	Valor de la severidad									
	FO	SF	MA	CR	CP	IC	AC	S		
1.1.1	1	0	0	4	4	4	0	1.76	1.1.1.1	Degradamiento del aislamiento del bobinado del estator por condiciones de trabajo (temperatura de operación, horas de operación acumulado, efecto corona, efecto de descargas parciales y humedad).
									1.1.1.2	Degradación del aislamiento del bobinado por presencia de puntos calientes en alguna conexión o terminal


1.1.2	1	0	0	4	4	4	0	1.76	1.1.2.1	Aflojamiento de cuñas de las bobinas del estator y cabeza de polo del rotor.
1.1.3	1	4	0	4	4	4	0	2.61	1.1.3.1	Fatiga de la soldadura de fijación de aletas de ventilación del rotor.
1.1.4	1	0	0	4	4	4	0	1.76	1.1.4.1	Degradamiento del aislamiento del bobinado del rotor debido a las condiciones de trabajo (temperatura de operación, efecto corona, efecto de descargas parciales, horas de operación acumulado, humedad.)
									1.1.4.2	Degradamiento del aislamiento por presencia de puntos calientes en alguna conexión o terminal

RCM-002 Generador: Selección de tareas

Causa De Falla N°	RCM-002 Generador			
	Selección de Tareas			
	N°	Tipo	Tarea	Periodo
1.1.1.1	1.1.1.1.1	Predictivo	Medición de resistencia de aislamiento e índice de polarización del bobinado del estator.	1A
	1.1.1.1.2	Predictivo	Monitoreo de descargas parciales	6M
	1.1.1.1.3	Predictivo	Monitoreo de aislamiento con el equipo de tangente delta	1A
	1.1.1.1.4	Predictivo	Termografía del generador y de las conexiones eléctricas que estén al alcance visual.	1M
1.1.1.2	1.1.1.2.1	Predictivo	Termografía del generador y de las conexiones eléctricas que estén al alcance visual.	1M
	1.1.1.2.2	Predictivo	Monitoreo de descargas parciales	6M
1.1.2.1	1.1.2.1.1	Preventivo	Inspección visual de cuñas.	1A
1.1.3.1	1.1.3.1.1	Preventivo	Inspección de soldadura de fijación de aletas del rotor.	1A
1.1.4.1	1.1.4.1.1	Predictivo	Medición de resistencia de aislamiento e índice de polarización del bobinado del rotor.	1A
	1.1.4.1.2	Predictivo	Medición y análisis vibracional en componentes del generador.	1M
1.1.4.2	1.1.4.2.1	Predictivo	Termografía del generador y de las conexiones eléctricas que estén al alcance visual.	1M
	1.1.4.2.2	Predictivo	Medición y análisis vibracional en componentes del generador.	1M

ANEXO C: RCM-003 COJINETES DE APOYO

RCM-003 Cojinetes de apoyo: Formato de fronteras

RCM			
FRONTERAS DEL ESTUDIO			
EQUIPO: COJINETES			
N° : RCM - 003			
1. DATOS GENERALES			
Fecha	Set 2009	Central de generación	Yaupi
Casa de Maquinas	CH Yaupi	Ubicación	Sala de Maquinas
DATOS DE MAXIMO			
Ubicación técnica	-	Equipo	Grupo N° 1
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Marca	Morgan Smith		
Año de funcionamiento	1957		
3. CONDICIONES AMBIENTALES			
Temperatura ambiente	De 8 °C a 32 °C	Altitud	1327 m.s.n.m
Humedad	De 82% a 96%	Grado de polución	Baja
Nivel de corrosión	Media		
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN			
La unidad opera todo el año. Sale de servicio por mantenimiento mayor una vez al año durante 4 días, y en mantenimiento periódico para inspección de la turbinas durante 2 horas.			
5. FRONTERAS			
Por la base, hasta	los pernos de anclaje		
Por el lado del eje, hasta	el babit		
Incluye su propio sistema de lubricación			
No incluye los acoples con las tuberías del sistema de refrigeración que contienen aceite.			
			
6. INTERFAZ			
ENTRADAS		SALIDAS	
Aceite		Aceite Parámetros de temperatura Niveles de aceite del cojinete	
7. INFORMACIÓN ADICIONAL			
Aproximadamente en el año 1975, se acondicionó unas lanas entre la caja y la chumacera para alinear el eje principal con la finalidad de disminuir la vibración que se presentaba. Con el cambio de rodets con mayor número de cucharas, se redujeron los niveles de vibración.			

RCM-003 Cojinetes de apoyo: Función 1 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-003: Cojinetes de apoyo		Función 1		Soportar el eje alineadamente a niveles de vibración permisibles
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
1.1	No soporta el eje alineadamente a niveles de vibración permisibles	1.1.1	Niveles de vibración permisibles no	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Causa el desgaste irregular del babbit (agarrotamiento del babbit) de las chumaceras de los cojinetes. Puede ocasionar daños en la turbina, en el generador, cojinetes de apoyo y en la excitatriz. Este tipo de falla es evidente (1).</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla y ocasiona daños en otros componentes o equipos se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de rodete (6 horas, rodete nuevo) • Cambio de chumacera de cojinete de apoyos (8 horas, juego de chumaceras nuevos) • Rebobinado del estator del generador (30 días , juego de bobinas del estator nuevos) • Reparación del anclaje de los cojinetes de apoyo (14 días, compra de repuestos) • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar de 1 a 2 meses. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Rodete nuevo (\$ 700 000) • 02 juegos de chumaceras (\$ 30 000) • 01 Servicio de rebobinado del estator, suministro y montaje de 180 bobinas (\$ 450 000) • 01 Servicio para la reparación de anclajes de cojinetes (\$ 5 000) • 01 Servicio de reparación de excitatriz, rebobinado de estator y rotor, reparación de cojinetes. (\$ 50 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 1 200 000. El costo de estos repuestos asciende a US\$ 1 200 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Pérdidas económicas por la energía dejada de generar de US\$ 864 000. Probabilidad de ser penalizado por Osinergmin.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (3) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinergmin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.1.2	Desgaste progresivo del babbit de las chumaceras.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Produce vibración. Este tipo de falla es oculta (4).</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (3) Trabajos correctivos: Detectada la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de chumacera de cojinete de apoyos (8 horas, juego de chumaceras) <p>Los trabajos correctivos podrían durar 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de rebabbitado de 02 juegos de chumaceras (\$ 30 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 30 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdidas económicas por la energía dejada de generar de US\$ 4</p>

		<p>800.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
1.1.3	Rotura de pernos de anclaje del cojinete	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Daños severos en el generador y otros componentes del grupo generador. Este tipo de falla es oculta (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (4) Puede causar lesiones de incapacidad o la muerte a la persona que se encuentre cerca a los cojinetes.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla y ocasiona daños en otros componentes o equipos se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de rodete (6 horas, rodete nuevo) • Cambio de chumacera de cojinete de apoyos (8 horas, juego de chumaceras nuevos) • Rebobinado del estator del generador (30 días , juego de bobinas del estator nuevos) • Reparación del anclaje de los cojinetes de apoyo (14 días, compra de repuestos)f • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar de 1 a 2 meses. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Rodete nuevo (\$ 700 000) • 02 juegos de chumaceras (\$ 30 000) • 01 Servicio de rebobinado del estator, suministro y montaje de 180 bobinas (\$ 450 000) • 01 Servicio para la reparación de anclajes de cojinetes (\$ 5 000) • 01 Servicio de reparación de excitatriz, rebobinado de estator y rotor, reparación de cojinetes. (\$ 50 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 1 200 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Pérdidas económicas por la energía dejada de generar de US\$ 864 000. Probabilidad de ser penalizado por Osinergmin.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (3) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinergmin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-003 Cojinetes de apoyo: Severidad - Causa de falla dominante

Modo de Falla N°	RCM-003 Cojinetes de apoyo									N°	Causa de falla dominante
	Valor de la severidad								S		
	FO	SF	MA	CR	CP	IC	AC	S			
1.1.1	1	0	0	4	4	3	0	1.65	1.1.1.1	Vibración por rodete desbalanceado. Rodete con partes desgastadas.	
									1.1.1.2	Vibración por aflojamiento de pernos de anclaje del cojinete.	
1.1.2	4	0	0	3	2	0	0	1.27	1.1.2.1	Desgaste del babit por mala lubricación. Ocasiona la pérdida de viscosidad y la contaminación del aceite	
									1.1.2.2	Anillos de lubricación de chumaceras desacoplados por mal ajuste y/o por el movimiento propio de trabajo.	
									1.1.2.3	Desgaste de babit por horas de operación del grupo generador. Calidad de los materiales de fabricación del babit.	
									1.1.2.4	Vibración por rodete desbalanceado. Rodete con partes desgastadas.	
1.1.3	4	4	0	4	4	3	0	2.91	1.1.3.1	Rótura por fatiga de pernos de anclaje de los cojinetes.	

RCM-003 Cojinetes de apoyo: Selección de tareas

Causa De Falla N°	RCM-003 Cojinetes de apoyo			
	Selección de Tareas			Periodo
	N°	Tipo	Tarea	
1.1.1.1	1.1.1.1.1	Predictivo	Medición y análisis de vibración en cojinetes de apoyo.	1M
1.1.1.2	1.1.1.2.1	Predictivo	Medición y análisis de vibración en cojinetes de apoyo.	1M
1.1.2.1	1.1.2.1.1	Predictivo	Análisis de aceite de los cojinetes de apoyo.	1A
	1.1.2.1.2	Preventivo	Limpieza de filtro de aceite del sistema de lubricación.	1M
1.1.2.2	1.1.2.2.1	Preventivo	Verificar ajuste de tornillos de anillos de lubricación de chumaceras.	1A
1.1.2.3	1.1.2.3.1	Preventivo	Inspección del babit de las chumaceras.	1A
1.1.2.4	1.1.2.4.1	Predictivo	Medición y análisis de vibración en cojinetes de apoyo.	1M
1.1.3.1	1.1.3.1.1	Predictivo	Ensayo no destructivo de los pernos de anclaje de cojinetes. Reemplazo de pernos si es necesario.	1A

ANEXO D: RCM-004 EXCITATRIZ PRINCIPAL

RCM-004 Excitatriz principal: Formato de fronteras

RCM			
FRONTERAS DEL ESTUDIO			
EQUIPO: EXCITATRIZ PRINCIPAL			
N° : RCM - 004			
1. DATOS GENERALES			
Fecha	Set 2009	Central de generación	Yaupi
Casa de Maquinas	CH Yaupi	Ubicación	Sala de Maquinas
DATOS DE MAXIMO			
Ubicación técnica	1YAUPIGE01GG1TUR	Equipo	Grupo N° 1
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Fabricante	WESTINGHOUSE		
Potencia	105 KW		
Tensión	250 VDC		
Amperaje	420 Amp. DC		
Velocidad	450 RPM		
Arrollamiento de campo	4 polos		
Aislamiento	Clase B		
Temperatura de servicio	40 °C		
Shunt	Wound		
Año de fabricación	1955		
Año de puesta en servicio	1957		
3. CONDICIONES AMBIENTALES			
Temperatura ambiente	De 8 °C a 40 °C	Altitud	1327 m.s.n.m
Humedad	De 70% a 95%	Grado de polución	Baja
Nivel de corrosión	Media	Nivel isocerámico	
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN			
<p>En la C.H. Yaupi se realiza la limpieza de la excitatriz 2 veces por semana.</p> <p>En los mantenimientos preventivos mensuales se realiza la limpieza del colector y bobinas con aire comprimido, retirando el polvo de carbon para evitar la perdida de aislamiento.</p> <p>Durante el mantenimiento mayor del grupo generador se realiza el lavado general de la excitatriz con solvente LPS y aire comprimido, mas el tratamiento térmico.</p> <p>La excitatriz funciona todo el año así sea periodo de avenida o estiaje, solo sale fuera de servicio por mantenimiento.</p>			
5. FRONTERAS			
Por la carcaza de excitatriz, hasta	la base construida sobre el piso de sala de máquinas, sin incluir piso.		
Por la parte inferior, hasta	los pernos de sujeción de la base de excitatriz.		
Por el eje lado generador, hasta	el acoplamiento entre ejes		
Por el eje lado ingreso a la central,	hasta el acoplamiento entre ejes		
6. INTERFAZ			
ENTRADAS		SALIDAS	
Tensión que viene del regulador de tensión		Tensión que llega al interruptor de campo	
7. INFORMACIÓN ADICIONAL			

RCM-004 Excitatriz Principal: Función 1 - Modo de falla - Análisis de Efecto

RCM-004: Excitatriz Principal		Función 1		Generar tensión D.C. nominal para excitar al generador
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
1.1	No genera tensión nominal y no excita al generador	1.1.1	Pérdida de aislamiento en las bobinas del estator de la excitatriz	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La pérdida de aislamiento de las bobinas del estator de la excitatriz, ocasiona un corto circuito a tierra o entre espiras; este evento pone al generador fuera de servicio. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> 01 Servicio de reparación de excitatriz, rebobinado de estator y rotor, reparación de cojinetes. (\$ 50 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 50 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdidas económicas por la energía dejada de generar de US\$ 4 800 en 8 horas.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.1.2	Seccionamiento o rotura de conector o terminal	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Seccionamiento o rotura de conector o terminal interrumpe la tensión de excitación. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cambio de conector o terminal (4 horas) <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 4 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> 01 Juego de terminales nuevos. (\$ 300) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 300.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (1) Pérdida económica por la energía dejada de generar, asciende a US\$ 2 400.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta al cliente.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p>
		1.1.3	Seccionamiento de las porta escobillas y conexiones	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El seccionamiento del porta escobilla ocasionaría el raspado o desprendimiento de las delgas de la excitatriz, ocasionando problemas en la generación. Este tipo de falla es evidente (1). Se observa perturbaciones en las delgas en donde existe el problema.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Trabajos correctivos: Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p>

			<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de reparación de las delgas del generador DC (\$ 10 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 10 000. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica por la energía dejada de generar, asciende a US\$ 4 800. 6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta al cliente. 7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p>
		1.1.4	<p>Fallas por bajo aislamiento de las bobinas del rotor</p> <p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El bajo aislamiento de las bobinas del rotor puede ocasionar un corto circuito a tierra, interrumpiendo la tensión de excitación al generador. La falla es evidente (1). Se observa problemas en el funcionamiento del grupo generador.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (3) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de reparación del rotor del generador DC (\$ 20 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 20 000. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica por la energía dejada de generar que asciende a US\$ 4 800. 6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.1.5	<p>Cortocircuito entre delgas del rotor</p> <p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El cortocircuito entre las delgas del rotor ocasionaría arcos eléctricos, desprendimiento de las delgas, causando perturbaciones en la excitación del generador. Este tipo de falla es evidente. (1) Se observa problemas en la generación.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (3) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de reparación del rotor del generador DC (\$ 20 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de US\$ 20 000. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica por la energía dejada de generar que asciende a US\$ 4 800. 6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-004 Excitatriz Principal: Función 2 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-004: Excitatriz Principal		Función 2		Utilizar la energía mecánica del eje principal del grupo generador al eje de la excitatriz
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
2.1	No gira el rotor de la excitatriz.	2.1.1	Fractura de pernos del acoplamiento al eje principal	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Fractura de los pernos del acoplamiento al eje principal perjudica el giro del rotor de la excitatriz, ocasionando problemas en la generación. La falla es evidente. (1) Se observa problemas en la generación.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cambio de pernos del acoplamiento de la excitatriz al eje principal y otras reparaciones. (6 horas) <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 6 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> 01 Juego de perno para acoplamiento y consumibles (\$ 500) <p>Los costos por reparación y repuestos es menor a \$ 1 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Se produce pérdidas por energía dejada de generar que asciende a US\$ 3 600.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No Afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		2.1.2	Seccionamiento o fractura de eje del rotor	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El seccionamiento o fractura del eje de la excitatriz ocasiona daños en la masa del rotor de la excitatriz, chumacera auxiliar (agarrotamiento del babbit). La falla es evidente. (1) Se observa que el grupo generador sale fuera de servicio.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (3) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> 01 Servicio de reparación del generador DC (\$ 50 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de \$50 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Se produce pérdidas por energía dejada de generar que asciende a US\$ 4 800.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-004 Excitatriz Principal: Función 3 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-004: Excitatriz Principal		Función 3		Soportar el eje de la excitatriz con fricción nominal y máxima exactitud
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
3.1	Vibración superior al nivel nominal.	3.1.1	Babbit de chumaceras desgastado.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Cuando el babbit de la chumacera está desgastado ocasiona incremento de vibraciones, perjudicando a los pernos del acoplamiento y eje mismo de la excitatriz. Falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p>

				<p>4.- Costos de reparación: (2) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de reparación de las chumaceras dañadas.(\$ 3 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de \$3 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica por energía dejada de generar que asciende a US\$ 4 800.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		3.2.1	Falta de lubricación	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La falta de lubricación ocasiona el sobrecalentamiento de la chumacera (babit), en caso que la temperatura exceda los 96 °C, actúa el sistema de protección, desconectado al grupo generador. La falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de reparación de las chumaceras dañadas.(\$ 3 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de \$3 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica por energía dejada de generar que asciende a US\$ 4 800.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: No se afecta al cliente.</p>
		3.2.2	Eje des-alineado	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El eje desalineado perjudica al babit de la chumacera, incrementando la vibración y sobrecalentamiento de la temperatura de la chumacera, inminente desconexión del grupo generador. Falla oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de reparación de las chumaceras dañadas.(\$ 3 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de \$3 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica por energía dejada de generar que asciende a US\$ 4 800.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: No se afecta al cliente.</p>

RCM-004 Excitatriz Principal: Función 4 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-004: Excitatriz Principal		Función 4		Mantener la estanqueidad del aceite del cojinete para su lubricación
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
4.1	No mantiene la estanqueidad	4.1.1	Desgaste de juntas u empaques.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al desgastarse las juntas o empaques de los cojinetes se producen fugas de aceite no manteniendo la estanqueidad. Falla es evidente. (1) Se apreciaría la fuga de aceite con una inspección visual.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente, la fuga de aceite por las juntas o empaques es controlado.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de junta u empaques con fuga (1 horas) <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 juego de empaques nuevos. (\$ 100) • 03 Galones de aceite. (\$20) <p>Los costos por reparación y repuestos es menor a \$1 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (1) Pérdida económica de US\$600 por la energía dejada de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		4.1.2	Falta de lubricación	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La falta de lubricación ocasiona el sobrecalentamiento de la chumacera (babit), en caso que la temperatura exceda los 96 °C, actúa el sistema de protección, desconectado al grupo generador. La falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la excitatriz (8 horas, excitatriz de repuestos) y otras reparaciones. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 8 horas. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Servicio de reparación de las chumaceras dañadas.(\$ 3 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es de \$3 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica por energía dejada de generar que asciende a US\$ 4 800.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-004 Excitatriz Principal: Severidad – Causa de falla dominante

Modo de Falla N°	RCM-004 Excitatriz Principal								N°	Causa de falla dominante
	Valor de la severidad									
	FO	SF	MA	CR	CP	IC	AC	S		
1.1.1	1	0	0	4	2	0	0	1.01	1.1.1.1	Degradamiento del aislamiento (barniz) del estator del generador DC por tiempo de vida útil cumplido.
1.1.2	1	0	0	1	1	0	0	0.43	1.1.2.1	Seccionamiento del conector terminal del generador DC por corrosión del terminal.
									1.1.2.2	Seccionamiento del conector terminal del generador DC por vibración, sobreesfuerzo mecánico ó térmico
									1.1.2.3	Ajuste inadecuado del terminal de la excitación del generador DC durante el montaje o mantenimiento.

1.1.3	1	0	0	2	2	0	0	0.73	1.1.3.1	Seccionamiento de perno de sujeción del porta escobilla fatigados por tiempo de vida útil cumplido.
									1.1.3.2	Seccionamiento de perno de sujeción del porta escobilla por un ajuste inadecuado durante su mantenimiento.
1.1.4	1	0	0	3	2	0	0	0.87	1.1.4.1	Degradamiento de aislamiento (barniz) del rotor del generador DC por tiempo de vida útil cumplido.
1.1.5	1	0	0	3	2	0	0	0.87	1.1.5.1	Recalentamiento entre delgas por sobre corriente de cortocircuito entre ellas, causando daños físicos por un excesivo calentamiento.
2.1.1	1	0	0	1	2	0	0	0.60	2.1.1.1	Seccionamiento de pernos de acoplamiento con el eje principal del generador.
									2.1.1.2	Aflojamiento de los pernos del acoplamiento por ajuste inadecuado durante su mantenimiento.
2.1.2	1	0	0	3	2	0	0	0.87	2.1.2.1	Des alineamiento del eje de la excitatriz por un montaje inadecuado durante su mantenimiento y /o fatiga natural por las condiciones de trabajo.
3.1.1	4	0	0	2	2	0	0	1.13	3.1.1.1	Des alineamiento del eje de la excitatriz por un montaje inadecuado durante su mantenimiento y /o fatiga natural por las condiciones de trabajo.
3.2.1	4	0	0	2	2	0	0	1.13	3.2.1.1	Atascamiento de los anillos lubricadores de las chumaceras de los cojinetes de la excitatriz.
									3.2.1.2	Bajo nivel del aceite de las chumaceras de los cojinetes de la excitatriz.
									3.2.1.3	Fuga o pérdidas de aceite de las chumaceras de los cojinetes de la excitatriz..
3.2.2	4	0	0	2	2	0	0	1.13	3.2.2.1	Seccionamiento de pernos de acoplamiento con el eje principal del generador.
									3.2.2.2	Aflojamiento de los pernos del acoplamiento por ajuste inadecuado durante su mantenimiento.
									3.2.2.3	Desgaste de babit de las chumaceras por vibración.
4.1.1	1	0	0	1	1	0	0	0.43	4.1.1.1	Fatigas de juntas o empaques del los cojinetes de excitatriz..
4.1.2	4	0	0	2	2	0	0	1.13	4.1.2.1	Atascamiento de los anillos lubricadores de las chumaceras de los cojinetes de la excitatriz.
									4.1.2.2	Bajo nivel del aceite de las chumaceras de los cojinetes de la excitatriz.
									4.1.2.3	Fuga o pérdidas de aceite de las chumaceras de los cojinetes de la excitatriz.


RCM-004 Excitatriz Principal: Selección de tareas

Causa De Falla N°	RCM-004 Excitatriz Principal			
	Selección de Tareas			
	N°	Tipo	Tarea	Periodo
1.1.1.1	1.1.1.1.1	Preventivo	Mantenimiento de bobinas del generador DC con solvente dieléctrico. Realizar barnizado si es necesario.	1A
	1.1.1.1.2	Predictivo	Medición de resistencia de aislamiento e índice de polarización de las bobinas del generador DC.	1A
1.1.2.1	1.1.2.1.1	Preventivo	Inspección de terminal y perno conector del generador DC.	1M
	1.1.2.1.2	Preventivo	Mantenimiento de terminales y reajuste de pernos conectores. Reemplazar pernos si es necesario, dar el ajuste adecuado.	1A
1.1.2.2	1.1.2.2.1	Preventivo	Inspección de terminal y perno conector del generador DC.	1M
	1.1.2.2.2	Preventivo	Mantenimiento de terminales y reajuste de pernos conectores. Reemplazar pernos si es necesario, dar el ajuste adecuado.	1A
1.1.2.3	1.1.2.3.1	Preventivo	Inspección de terminal y perno conector del generador DC.	1M

	1.1.2.3.2	Preventivo	Mantenimiento de terminales y reajuste de pernos conectores. Reemplazar pernos si es necesario, dar el ajuste adecuado.	1A
1.1.3.1	1.1.3.1.1	Preventivo	Inspección de la estructura de porta escobillas periódicamente.	1M
1.1.3.2	1.1.3.2.1	Preventivo	Inspección y verificación de ajuste de los pernos de sujeción y estructura de porta escobillas.	1A
1.1.4.1	1.1.4.1.1	Preventivo	Limpieza integral con solvente dieléctrico y aire comprimido de los bobinados del generador DC.	1A
	1.1.4.1.2	Predictivo	Medición de resistencia de aislamiento e índice de polarización de las bobinas del generador DC.	1A
1.1.5.1	1.1.5.1.1	Preventivo	Inspección periódica de ajuste de escobillas y limpieza con aire comprimido.	2 Sem
	1.1.5.1.2	Preventivo	Inspección periódica de aislamiento entre delgas, realizar limpieza de residuos de carbón y cobre entre delgas.	1M
	1.1.5.1.3	Preventivo	Reemplazo de escobillas para evitar el sobrecalentamiento por falta de presión mecánica.	6M
2.1.1.1	2.1.1.1.1	Preventivo	Pruebas No destructiva a los pernos del acoplamiento de eje de la excitatriz.	1A
	2.1.1.1.2	Preventivo	Verificación del ajuste adecuado de los pernos de acoplamiento.	1A
2.1.1.2	2.1.1.2.1	Preventivo	Inspección del ajuste adecuado de los pernos de acoplamiento.	1M
2.1.2.1	2.1.2.1.1	Preventivo	Alineamiento y nivelación de la excitatriz con equipos de alineamiento de precisión.	1A
	2.1.2.1.2	Predictivo	Medición y análisis de vibraciones en la excitatriz.	1M
3.1.1.1	3.1.1.1.1	Predictivo.	Medición y análisis de vibraciones en la excitatriz.	1M
3.1.1.1	3.1.1.1.2	Predictivo.	Termografía de la excitatriz.	1 M
	3.1.1.1.3	Preventivo	Inspección y mantenimiento a los sensores de temperaturas.	1A
	3.1.1.1.4	Preventivo	Alineamiento y nivelación de la excitatriz con equipos de alineamiento de precisión.	1A
3.2.1.1	3.2.1.1.1	Preventivo	Inspección de los anillos lubricación de los cojinetes.	1M
3.2.1.2	3.2.1.2.1	Preventivo	Inspección del aceite y el nivel adecuado para la óptima lubricación.	1Sem.
3.2.1.3	3.2.1.3.1	Preventivo	Inspección del aceite y el nivel adecuado para la óptima lubricación.	1Sem.
	3.2.1.3.2	Predictivo.	Medición y análisis de vibraciones en la excitatriz.	1M
	3.2.1.3.3	Predictivo.	Termografía de la excitatriz.	1M
	3.2.1.3.4	Preventivo	Inspección y mantenimiento a los sensores de temperaturas.	1A
3.2.2.1	3.2.2.1.1	Predictivo.	Medición y análisis de vibraciones en la excitatriz.	1M
3.2.2.1	3.2.2.1.2	Predictivo.	Termografía de la excitatriz.	1M
3.2.2.2	3.2.2.2.1	Preventivo	Alineamiento y nivelación de la excitatriz con equipos de alineamiento de precisión.	1A
3.2.2.3	3.2.2.3.1	Predictivo.	Medición y análisis de vibraciones en la excitatriz.	1M
	3.2.2.3.2	Predictivo.	Termografía de la excitatriz.	1M
4.1.1.1	4.1.1.1.1	Preventivo	Inspección de juntas y empaques de aceite en los cojinetes.	1M
	4.1.1.1.2	Preventivo	Reemplazo de juntas y empaques de aceite en los cojinetes.	1A
4.1.2.1	4.1.2.1.1	Preventivo	Inspección de los anillos lubricación de los cojinetes.	1M
4.1.2.2	4.1.2.2.1	Preventivo	Inspección del aceite y el nivel adecuado para la óptima lubricación.	1Sem.
4.1.2.3	4.1.2.3.1	Preventivo	Inspección del aceite y el nivel adecuado para la óptima lubricación.	1Sem.

ANEXO E: RCM-005 REGULADOR DE VELOCIDAD

RCM-005 Regulador de velocidad: Formato de fronteras

RCM			
FRONTERAS DEL ESTUDIO			
EQUIPO: REGULADOR DE VELOCIDAD			
N° : RCM - 005			
1. DATOS GENERALES			
Fecha	Set 2009	Central de generación	Yaupi
Casa de Maquinas	Yaupi	Ubicación	Sala de Maquinas
DATOS DE MAXIMO			
Ubicación técnica	1YAUPIGE01GG1TUR	Equipo	Grupos N°1
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
1.- REGULADOR DE VELOCIDAD		4.- MOTOR ELECTRICO	
Fabricante	WOODWARD	Tipo	K
Año de fabricación	1956	Fabricante	General Electric
Año de puesta en servicio	1957	Modelo	5 K326D2106
N° de serie	297224	Año de puesta en servicio	1957
Capacidad	6700 lb/pie	Ciclos	60 Hz
Tipo	LR	Código interno	G
Size	7 x 12	Phase	3
2.- BOMBA DE ACEITE		Voltios	220 / 440
Fabricante	WOODWARD	Amperios	27.6 / 13.8
Size	50 GPM	Velocidad Nominal	1160
Año de puesta en servicio	1957	Temperatura	650 °F
N° serie	297224	Fabricación	1952
3.- TANQUE DE COMPENSACION			
Fabricante	S. MORGAN SMITH. CO		
Capacidad	200 psi		
Serie	774		
3. CONDICIONES AMBIENTALES			
Temperatura ambiente	De 8 °C a 40 °C	Altitud	1327 m.s.n.m
Humedad	De 70% a 95%	Grado de polución	Baja
Nivel de corrosión	Media		
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN			
El regulador de velocidad opera todo el año a una presión de 175 a 205 psi. Solo sale fuera de servicio por mantenimiento del grupo generador correspondiente.			
5. FRONTERAS			
Por la tapa de regulador de velocidad, hasta el piso de la casa de máquinas incluido los pernos de sujeción al piso. No incluye el piso.			
Por la parte inferior, hasta el servomotor inferior e inyector			
Por la parte superior, hasta el servomotor superior e inyector			
Por la parte lateral, hasta los deflectores inferior y superior			
6. INTERFAZ			
ENTRADAS		SALIDAS	
Ingreso de presión de aceite		Posición de los inyectores y deflectores. Señalización de presión de aceite en tablero de sala de control	
7. INFORMACIÓN ADICIONAL			

RCM-005 Regulador de velocidad: Función 1 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-005: Regulador de Velocidad		Función 1		Regular la velocidad rotativa nominal del eje
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
1.1	No regula la velocidad rotativa nominal del eje	1.1.1	Baja presión de aceite	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Con baja presión de aceite, ambos inyectores se cierran, sacando fuera de servicio al grupo generador. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Para normalizar la presión de aceite del regulador de velocidad afectado, se realiza la transferencia de presión de aceite del grupo generador contiguo (10 minutos). Realizar la inspección y reparación del sistema oleo hidráulico del regulador de velocidad. <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 10 minutos. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Accesorios para el sistema oleo hidráulico del regulador de velocidad.(\$ 500) <p>Los costos por reparación y repuestos es menos de \$1 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (1) Pérdida económica por la energía dejada de generar en el tiempo que se demora en realizar la transferencia del aceite para restablecer la presión de aceite en el regulador. No supera los US\$ 600.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
		1.1.2	Desgaste de válvulas y mecanismos dentro del regulador de velocidad.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El desgaste de válvulas y otros componentes del mecanismo del regulador de velocidad es la causa de una incorrecta regulación de la velocidad. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Ocurrida la falla se tiene que realizar los siguientes trabajos correctivos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Para normalizar la presión de aceite del regulador de velocidad afectado, se realiza la transferencia de presión de aceite del grupo generador contiguo (10 minutos). Realizar en el regulador de velocidad se reemplazan válvulas, pines, bocinas, rodamientos, resortes y otros componentes. (16 horas). <p>Los trabajos correctivos podrían durar hasta 10 minutos. Costo de reparación y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Repuestos del regulador de velocidad.(\$ 3 000) <p>Los costos por reparación y repuestos es menos de \$3 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica es de US\$ 7500 al mes, por la energía no generada a causa de una mala regulación de la velocidad.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta al cliente.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p>
		1.1.3	Descalibración del mecanismo del regulador de velocidad.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La descalibración de mecanismo del regulador de velocidad no permite la regulación nominal y perjudica la generación. La falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No puede afectar la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1)</p>

			<p>La calibración de los mecanismos del regulador de velocidad se realiza en 16 horas. El trabajo de calibración tiene un costo de US\$700.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica es de US\$ 7500 al mes, por la energía no generada a causa de una mala regulación del regulador de velocidad no correctamente calibrado.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) Se afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
--	--	--	---

RCM-005 Regulador de velocidad: Función 2 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-005: Regulador de Velocidad		Función 2		Señalización correcta de presión de aceite del regulador de velocidad.
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
2.1	No indica la señalización.	2.1.1	Sulfatación en los contactos del equipo sensor (presostato)	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Si ocurre la sulfatación de los contactos del presostato, existe el riesgo que el regulador de velocidad pierda presión en el aceite y el grupo generador quede fuera de servicio, perjudicando la generación. También existe el riesgo que la bomba de aceite del regulador no se detenga cuando se alcance la presión nominal del aceite del regulador de velocidad, esto descompensara el equilibrio entre aceite y aire del tanque, pudiendo dejar fuera de servicio al grupo generador. La falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Realizar el cambio del presostato de mínima o máxima presión. Este trabajo puede durar hasta 01 hora. El costo de reparación considera el costo del repuesto y del personal que realiza el trabajo, no supera los US\$ 1000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (1) Riesgo de pérdida económica por energía dejada de generar si el grupo generador se desconecta por un aumento o disminución de la presión del aceite. La pérdida económica no superan los US\$ 1000.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) Afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) Si afecta al cliente.</p>
		2.1.2	Seccionamiento de cables de señalización, entre equipo y bornera de sala de control.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El seccionamiento de cables de señalización interrumpe la correcta señalización. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Su reparación puede durar hasta 01 hora. El costo de reparación no supera los US\$ 500.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se produce pérdidas por energía dejada de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>

RCM-005 Regulador de velocidad: Función 3 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-005: Regulador de Velocidad		Función 3		Mantener un rango de presión nominal de trabajo.
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
3.1	No mantiene el rango de presión nominal de trabajo	3.1.1	Deterioro de equipo sensor de presión (presostato)	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El deterioro del equipo sensor ocasiona falsa alarma. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Su reparación puede durar hasta 04 horas. El costo de reparación no supera los US\$ 1 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se produce pérdidas por energía dejada de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>

RCM-005 Regulador de velocidad: Función 4 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-005: Regulador de Velocidad		Función 4		Almacenar y compensar presión de aceite..
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
4.1	No almacena ni compensa presión del aceite.	4.1.1	Demasiada presión de aire.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Demasiada presión de aire ocasiona desequilibrio del nivel de aceite en el sumidero y tanque de compensación. La falla es evidente. (1) Se puede corregir inmediatamente.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (0) Su reparación puede durar media hora.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (1) Pérdidas económicas menores a \$ 1000, por energía dejada de generar si el grupo generador sale fuera de servicio.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		4.1.2	Baja presión de aire.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La baja presión de aire ocasiona desequilibrio de nivel de aceite en el sumidero. El nivel del aceite aumenta en el tanque de compensación. La falla es evidente (1). Se puede corregir inmediatamente.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Su reparación puede durar media hora. El costo es menor a \$150.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (1) No se produce pérdidas por energía dejada de generar Pérdidas económicas menores a \$ 1000, por energía dejada de generar si el grupo generador sale fuera de servicio..</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>

RCM-005 Regulador de velocidad: Severidad - Causa de falla dominante

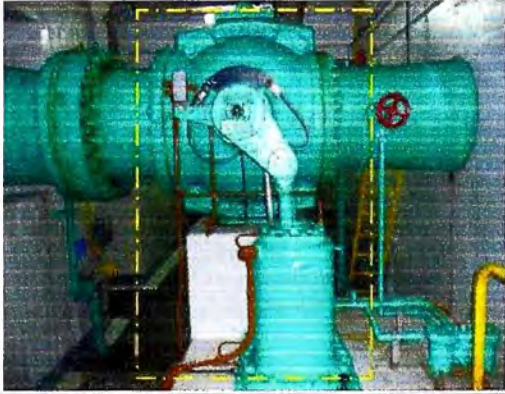
Modo de Falla N°	RCM-005 Regulador de Velocidad								N°	Causa de falla dominante
	Valor de la severidad									
	FO	SF	MA	CR	CP	IC	AC	S		
1.1.1	1	0	0	1	1	0	0	0.43	1.1.1.1	Presostatos de mínima y máxima des calibrados.
									1.1.1.2	Bobina del contactor de arranque del motor de la bomba de aceite quemado o abierto.
									1.1.1.3	Filtro de aceite obstruido del tanque sumidero.
									1.1.1.4	Atascamiento de eje del motor de la bomba de aceite..
1.1.2	1	0	0	2	2	0	0	0.73	1.1.2.1	Fatiga de componentes del mecanismo del regulador de velocidad tiempo de vida del equipo
1.1.3	1	0	0	1	2	0	0	0.60	1.1.3.1	Mantenimiento y calibración del regulador de velocidad inadecuado.
2.1.1	1	0	0	1	1	0	0	0.43	2.1.1.1	Falta de mantenimiento a los contactos de los presostato del regulador de velocidad.
2.1.2	1	0	0	1	0	0	0	0.27	2.1.2.1	Envejecimiento del conductor o cable de señalización de alarmas del regulador de velocidad.
3.1.1	1	0	0	1	0	0	0	0.27	3.1.1.1	Corrosión o fatiga del sensor de presión del regulador de velocidad.
4.1.1	1	0	0	1	1	0	0	0.30	4.1.1.1	Válvula de control de aire al tanque de compensación desgastado.
4.1.2	1	0	0	1	1	0	0	0.43	4.1.2.1	Fuga de aire del tanque de compensación por válvula de seguridad.

RCM-005 Regulador de velocidad: Selección de tareas

Causa De Falla N°	RCM-005 Regulador de Velocidad			
	Selección de Tareas			
	N°	Tipo	Tarea	Periodo
1.1.1.1	1.1.1.1.1	Preventivo	Calibración del presostato del regulador de velocidad.	1A
1.1.1.2	1.1.1.2.1	Preventivo	Mantenimiento y pruebas de operación del circuito de arranque y parada del motor de la bomba de aceite del regulador de velocidad. .	1M
1.1.1.3	1.1.1.3.1	Preventivo	Limpieza de filtro de aceite del tanque sumidero del regulador de velocidad.	1M
1.1.1.4	1.1.1.4.1	Preventivo	Filtrado del aceite del tanque sumidero del regulador de velocidad..	1A
1.1.2.1	1.1.2.1.1	Preventivo	Reemplazo de bocinas, pines, rodamientos y otros elementos componentes del regulador de velocidad	5A
1.1.3.1	1.1.3.1.1	Preventivo	Calibración y pruebas del regulador de velocidad.	1A
2.1.1.1	2.1.1.1.1	Preventivo	Mantenimiento de los contactos de los presostatos del regulador de velocidad.	1A
2.1.2.1	2.1.2.1.1	Preventivo	Medición de continuidad del cableado y medición de resistencia de aislamiento del cable.	1A
3.1.1.1	3.1.1.1.1	Preventivo	Reemplazo de presostatos	10A
	3.1.1.1.2	Preventivo	Inspección y Mantenimiento del sensor del presostato	1A
4.1.1.1	4.1.1.1.1	Correctivo	Cambio de válvula de control de aire al tanque de compensación.	-
4.1.2.1	4.1.2.1.1	Correctivo	Cambio de válvula de seguridad del tanque de compensación.	-

ANEXO F: RCM - 006 VALVULA DE ADMISIÓN

RCM-006 Válvula de admisión: Formato de fronteras

RCM			
FRONTERAS DEL ESTUDIO			
EQUIPO: VÁLVULA ESFÉRICA PRINCIPAL			
N° : RCM - 006			
1. DATOS GENERALES			
Fecha	Set 2009	Central de generación	Yaupi
Casa de Maquinas	Yaupi	Ubicación	Sala de Maquinas y Solano
DATOS DE MAXIMO			
Ubicación técnica	-	Equipo	Grupo N°1
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
VALVULA ESFERICA			
Fabricante	Escher Wyss		
Año de puesta en servicio	1968		
Diámetro	24"		
3. CONDICIONES AMBIENTALES			
Temperatura ambiente	De 8 °C a 32 °C	Altitud	1327 m.s.n.m
Humedad	De 82% a 96%	Grado de polución	Baja
Nivel de corrosión	Media		
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN			
<p>La válvula esférica funciona en posición de apertura total todo el año así sea periodo de avenida o estiaje, solo sale fuera de servicio por mantenimiento periódico de equipos de la planta que requieran que se ponga fuera de servicio el grupo generador ó inspección de tunel o/y tubería de presión.</p> <p>Los grupos cuentan con una sola válvula esférica por grupo.</p>			
5. FRONTERAS			
Parte superior	No se sujeta con otros equipos		
Por la parte inferior, hasta	base de válvula esférica y del cilindro		
Por lado de aguas Arriba, hasta	la brida de sujeción con la tubería forzada incluyendo los pemos		
Por lado de aguas abajo, hasta	la brida de sujeción con la tubería forzada incluyendo los pemos		
6. INTERFAZ			
ENTRADAS		SALIDAS	
Ingreso de agua por el lado aguas arriba Aceite a presión de las tuberías que vienen del regulador de velocidad durante el cierre o apertura de la válvula Ingreso de 125 VDC. Para los micro swich		Salida de agua hacia el inyector Descarga de aceite de presión que viene del regulador de velocidad y regresa al regulador durante el cierre o apertura de la válvula Salida de señal de los micro swich en posición abierto o cerrado hacia tablero de control Señal de posición de la válvula	
7. INFORMACIÓN ADICIONAL			

RCM-006 Válvula de admisión: Función 1 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-006: Válvula de Admisión		Función 1		Permitir el ingreso de agua a presión a los inyectores (apertura / cierre de válvula)
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
1.1	No permite el ingreso del caudal adecuado de agua a presión a los inyectores (apertura / cierre de válvula)	1.1.1	Falla en caja de mecanismo de la válvula esférica	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La rotura o desgaste de algunas piezas en el mecanismo de la válvula esférica, quedaría bloqueado este mecanismo y no se podría hacer ninguna maniobra de apertura o cierre de dicha válvula esférica. Este tipo de falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) El Costo de los repuestos del mecanismo de la válvula esférica asciende a US\$ 6 000. Es necesario tener los repuestos. La reparación del mecanismo se tiene que realizar con el grupo fuera de servicio. Es necesario vaciar la tubería de presión, parada de los otros grupos generadores. Se requiere 12 horas para los trabajos de reparación y 8 horas para vaciado y llenado de tubería de presión.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (3) Las pérdidas económicas por energía dejada de generar supera los US\$ 25 000.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta al cliente.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta la imagen corporativa.</p>
		1.1.2	Falla en la válvula y tubería de presión de agua para realizar el cierre de la válvula esférica. (Bifurcación de la tubería de presión que empieza al ingreso de la válvula esférica).	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Si falla la válvula de presión no se puede realizar el cierre de la válvula esférica. Las fallas o rotura de la tubería de presión de agua ocasionaría una inundación y posibles daños a los equipos eléctricos, también no se podría hacer maniobras de cerrado de válvula esférica. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) El cambio y/o la reparación de la válvula de presión, reparación de tramos tubería de presión erosionada y/o corroída, demora 20 horas. Para realizar la reparación requiere el vaciado de la tubería de presión. El costo de materiales para la reparación es menor a US\$1 000. Se tiene repuesto de válvula y tubería.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (3) La pérdida económica por energía dejada de generar supera los US\$25 000.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta al cliente.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p>
		1.1.3	Falla en la electroválvula y tubería de presión de aceite que va del regulador de velocidad para la apertura de la válvula esférica.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Si falla la electroválvula y/o tubería de presión de aceite no se puede realizar la apertura de la válvula esférica. La falla por fuga ó rotura de la tubería de presión de aceite ocasionaría derrame de aceite controlable y por consiguiente la pérdida de presión en el aceite no permite operar la válvula esférica para una operación de apertura. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) El derrame de aceite es controlado, no afectando al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) El cambio y/o la reparación de la electroválvula y del tramo de tubería de presión de aceite que se encuentra roto, requiere un</p>

			<p>tiempo de 8 horas. El costo de repuesto es US\$1000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Se produce pérdida económica por energía dejada de generar que asciende a US\$5 000.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta al cliente.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p>
		1.1.4	<p>Falla en los sellos del pistón del cilindro de la válvula esférica</p> <p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El desgaste de los sellos del pistón de compensación ocasionaría el desequilibrio de presión de aceite, ocasionando la emulsión entre el agua y el aceite y no se tendría la presión necesaria para el movimiento del mecanismo para apertura de la válvula esférica. Este tipo de falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) La reparación del pistón en los cilindros requiere un promedio de 20 horas y el grupo fuera de servicio. El costo de reparación es de US\$ 2 000. Se requiere tener repuestos.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (3) Se produce pérdida económica por la energía dejada de generar que asciende a US\$ 12 000.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta al cliente.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta la imagen corporativa.</p>
		1.1.5	<p>Falla en tubería y válvula del by-pass de accionamiento hidráulico para el equilibrio de presión de agua para la apertura de válvula esférica</p> <p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La válvula by-pass de accionamiento hidráulico presenta desgaste por erosión, corrosión en sus sellos a consecuencia de los sólidos y la alta presión en el agua, por esta razón no se podría controlar el paso de agua a presión hacia los inyectores impidiendo realizar trabajos en los inyectores (cambio de puntas de aguja, asientos, toberas y para realizar otros trabajos se realizaría con bastante riesgos a la persona en los mecanismos que están aguas abajo de válvula esférica). Si el desgaste por erosión, corrosión estuvieran en la tubería de presión de agua ocasionaría una inundación y posibles daños a los equipos eléctricos, para controlar esta fuga de agua se debe cerrar la válvula principal del by-pass que normalmente se encuentra en posición abierto. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Para la reparación de la tubería y/o válvula de accionamiento hidráulico del by-pass, es necesario poner fuera de servicio al grupo generador por 8 horas. El costo de repuestos es de US\$ 1000. Se requiere tener repuestos.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) La pérdida económica por energía dejada de generar asciende a US\$ 5 000.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-006 Válvula de admisión: Función 2 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-006: Válvula de Admisión		Función 2		Cierre hermético del ingreso de agua a presión a los inyectores (cierre de válvula)
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
2.1	No hermetiza (cierre de válvula)	2.1.1	Desgaste o acanalamiento de los sellos de la válvula esférica por los sólidos en el agua	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El desgaste o acanalamiento de los sellos de la válvula esférica puede ocasionar que no se pueda controlar el ingreso de agua a presión hacia los inyectores, por el cual ya no se podría realizar ningún trabajo de mantenimiento aguas abajo de la válvula esférica (válvula de admisión), es decir no se podría realizar el cambio de puntas de aguja, asientos y toberas, además para realizar un cambio de rodete solo se controlaría el ingreso de agua con los inyectores (punta de aguja y asiento), lo que es una condición sub estándar de trabajo (peligro). Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (3) Para la reparación de los sellos ó cambio de la válvula esférica se requiere vaciar la tubería de presión, es decir parar los grupos generadores que comparten la tubería de presión, en caso extremo vaciar al túnel. El cambio de válvula esférica demanda un trabajo de 48 horas. La reparación integral de una válvula puede costar alrededor de US\$ 30,000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (3) Se produce pérdida económica por la energía dejada de generar que asciende a US\$ 30 000.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-006 Válvula de admisión: Severidad – Causa de falla dominante

Modo de Falla N°	RCM-006 Válvula de Admisión									N°	Causa de falla dominante
	Valor de la severidad								S		
	FO	SF	MA	CR	CP	IC	AC	S			
1.1.1	4	0	0	2	3	0	0	1.29	1.1.1.1	Desgaste del mecanismo de apertura y cierre de la válvula esférica, por horas de trabajo (vida útil).	
1.1.2	1	0	0	1	3	0	0	0.76	1.1.2.1	Desgaste de las partes internas de la válvula y tubería del circuito de agua para el cierre de la válvula esférica, por la alta presión del agua	
									1.1.2.2	Desgaste de las partes internas de la válvula y tubería del circuito de agua para cierre de válvula esférica por presencia de material sólido en el agua	
1.1.3	1	0	0	2	1	0	0	0.52	1.1.3.1	Desgaste de los sellos de las tuberías de aceite y desajuste de uniones del sistema oleo hidráulico para abrir la válvula esférica.	
									1.1.3.2	Falla de la bobina de la electroválvula del sistema oleo hidráulico para abrir la válvula esférica	
1.1.4	4	0	0	2	3	0	0	1.29	1.1.4.1	Desgaste de los sellos del cilindro de la válvula esférica por tiempo de vida.	
1.1.5	1	0	0	1	2	0	0	0.60	1.1.5.1	Desgaste de la tubería y de sellos de la válvula de accionamiento hidráulico del by-pass por presencia de material sólido en el agua, alta presión del agua y tiempo de trabajo. La tubería del by-pass inicia en una válvula principal que se encuentra abierto permanentemente. La válvula del by-pass es de accionamiento hidráulico y se abre y se cierra con una electroválvula.	
2.1.1	1	0	0	3	3	0	0	1.03	2.1.1.1	El desgaste de los sellos de la válvula esférica se debe los sólidos y la alta presión del agua	

RCM-006 Válvula de admisión: Selección de tareas

Causa De Falla N°	RCM-006 Válvula de Admisión			
	Selección de Tareas			
	N°	Tipo	Tarea	Periodo
1.1.1.1	1.1.1.1.1	Preventivo	Mantenimiento de todos los mecanismos de la válvula esférica. (se requiere vaciar la tubería forzada)	5A
1.1.2.1	1.1.2.1.1	Preventivo	Mantenimiento de la válvula y tubería de presión que se toma de la tubería de presión al ingreso de la válvula esférica.	5 A
1.1.2.2	1.1.2.2.1	Preventivo	Mantenimiento de filtros de agua, del sistema de agua que se toma de la tubería de presión al ingreso de la válvula esférica.	1 M
1.1.3.1	1.1.3.1.1	Preventivo	Inspección y reajuste de uniones, sellos de las tuberías del circuito de aceite para apertura de la válvula esférica.	1 M
1.1.3.2	1.1.3.2.1	Preventivo	Mantenimiento de electroválvulas del circuito de aceite a presión para maniobrar la válvula esférica.	1 A
1.1.4.1	1.1.4.1.1	Preventivo	Toma de muestras de aceite del cilindro para su inspección y descartar emulsión del aceite con el agua.	1 M
	1.1.4.1.2	Preventivo	Mantenimiento integral del cilindro de la válvula esférica.	5 A
1.1.5.1	1.1.5.1.1	Preventivo	Inspección y mantenimiento de la tubería y la válvula by pass cada vez que se vacía la tubería de presión.	5 A
	1.1.5.1.2	Preventivo	Inspección de la tubería y la válvula by pass	1 A
2.1.1.1	2.1.1.1.1	Preventivo	Cambio de la válvula esférica después de 15 años de operación. Adquirir un repuesto de la válvula esférica.	15 A

ANEXO G: RCM - 007 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

RCM-007 Sistema de Refrigeración: Formato de fronteras

RCM			
FRONTERAS DEL ESTUDIO			
EQUIPO: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN			
N° : RCM - 007			
1. DATOS GENERALES			
Fecha	Set 2009	Central de generación	Yaupi
Casa de Maquinas	CH Yaupi	Ubicación	Sala de Maquinas, Sotano y Reservorio
DATOS DE MAXIMO			
Ubicación técnica	-	Equipo	Sistema de refrigeración
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
1.- SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PRINCIPAL			
Almacenaje de agua en el reservorio	100 MP		
Bombas Principales			
Marca	KSV		
Motor de bomba principal	-		
N° de serie	947197		
Voltios	440		
Amperios	86		
2.- SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SECUNDARIO			
Bombas Secundarias			
Marca	BYRON JACKSON CO		
Motor de bomba secundario			
N° de serie	VK8134586		
Voltios	440		
Amperios	86		
3. CONDICIONES AMBIENTALES			
Temperatura ambiente	De 8 °C a 32 °C	Altitud	1327 m.s.n.m
Humedad	De 82% a 96%	Grado de polución	Baja
Nivel de corrosión	Media		
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN			
El sistema de refrigeración comprende un sistema principal de 3 bombas y un sistema auxiliar de 2 bombas. Normalmente el sistema principal es el que se encuentra funcionando, sólo es reemplazado por el sistema auxiliar cuando se hace mantenimiento al reservorio de agua del sistema principal.			
5. FRONTERAS			
Inicia en: Captación en el canal de descarga de los generadores	Diversos equipos que son refrigerados: - Radiadores de intercambiadores de calor del grupo generador. - Serpentes del regulador velocidad - Intercambiador de calor de cojinetes - Transformadores de la subestación		
Termina en: Todas las tuberías del sistema de refrigeración terminan en la salida del canal de descarga al río y otras en el sistema de drenaje que deriva al río.			
Incluye: tuberías, 3 bombas del sistema principal y 2 bombas del sistema auxiliar, filtro de lavado automático, reservorio, radiadores del generador, intercambiadores de calor, serpentines de enfriamiento del regulador de velocidad, serpentín de cojinetes y válvulas de control. Incluye adicionalmente: pernos de sujeción del radiador con el generador e incluye sistema de sujeción de tuberías			
6. INTERFAZ			
ENTRADAS		SALIDAS	
Ingreso de agua turbinada en la Toma de agua del sistema de refrigeración Energía eléctrica a las bombas		Descarga del agua de refrigeración Parámetros de presión	
7. INFORMACIÓN ADICIONAL			
			

RCM-007 Sistema de refrigeración: Función 1 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-007: Sistema de Refrigeración		Función 1		Refrigerar componentes mecánicos y aceites, manteniendo su temperatura dentro de su rango de trabajo nominal
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
1.1	No refrigera adecuadamente los componentes mecánicos y aceites, no manteniendo su temperatura dentro de su rango de trabajo nominal.	1.1.1	Obstrucción total en filtros de toma de agua al sistema de refrigeración (chupones), por acumulación de material sólido y maleza.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al obstruirse los filtros de la toma de la gua para el reservorio, tiene como consecuencia que el nivel del agua en el reservorio disminuye, condición que coloca fuera de operación las 03 bombas del sistema de refrigeración principal. Si las bombas del sistema principal no trabajan, no habría flujo de agua en las tuberías del sistema de refrigeración, lo que ocasionaría un aumento en la temperatura del generador, los cojinetes y los transformadores de la subestación. Al elevarse la temperatura se accionan las protecciones por sobre temperatura colocando al grupo generador fuera del servicio. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Realizar la limpieza de los filtros de la toma de agua. El costo de este trabajo es de US\$ 150.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se producen pérdidas económicas por la energía dejada de generar, siempre y cuando se realice la limpieza de los filtros cuando ocurre un gradiente positivo en la temperatura del generador, cojinete y transformador.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.2	Obstrucción por material sólido y maleza en el filtro principal de auto lavado	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al romperse la malla del filtro, ocasiona que, el agua pase directamente sin un proceso de filtrado, pudiendo obstruir los filtros del intercambiador de calor, radiadores del generador y tuberías del intercambiador de calor, lo cual podría generar un calentamiento de cojinetes, generador y transformador de subestación, pudiendo sacar de servicio el grupo generador por sobre temperatura, si no se toma acción inmediata. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Es necesario cambiar la malla rota o realizar la limpieza del filtro obstruidos del auto lavado. Adicionalmente, también realizar la limpieza de radiador del generador, limpieza de tuberías obstruidas y cambio de malla del filtro de los intercambiadores. El costo de este trabajo está por debajo de los US\$ 100.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se producen pérdidas económicas por energía dejada de generar, si se hace una intervención inmediata.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.3.	Obstrucción por material sólido y maleza de los filtros de los intercambiadores de calor de cojinete.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al obstruirse los filtros de los intercambiadores de calor del sistema de refrigeración de cojinetes, la temperatura en el cojinete aumentaría, pudiendo sacar de servicio el grupo generador por sobre temperatura. Falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Sólo es necesario cambiar los filtros obstruidos en el intercambiador de calor del sistema de refrigeración de cojinetes.</p>

				<p>El costo de este trabajo está por debajo de los US\$ 100.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se producen pérdidas económicas por energía dejada de generar, si se hace una intervención inmediata.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.4.	No funcionan las bombas del sistema de refrigeración principal	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: En caso que dos de tres bombas del sistema de refrigeración principal fallen, produciría calentamiento de cojinetes y del generador, pudiendo sacar de servicio el grupo generador por sobre temperatura. Inmediatamente será necesario trabajar con esta configuración, la última bomba del sistema de refrigeración principal y se apoyaría con el sistema de refrigeración auxiliar. Falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Los costos de reparación pueden ser mayores a US\$ 2 000, ya que es necesario realizar el mantenimiento de los impulsores de las bombas del sistema de refrigeración principal.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (1) Se puede producir pérdidas por energía dejada de generar si no se interviene oportunamente.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.3.	Obstrucción por material sólido y maleza de los filtros de los intercambiadores de calor de cojinete.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al obstruirse los filtros de los intercambiadores de calor del sistema de refrigeración de cojinetes, la temperatura en el cojinete aumentaría, pudiendo sacar de servicio el grupo generador por sobre temperatura. Falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Sólo es necesario cambiar los filtros obstruidos en el intercambiador de calor del sistema de refrigeración de cojinetes. El costo de este trabajo está por debajo de los US\$ 100.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (1) No se producen pérdidas económicas por energía dejada de generar, si se hace una intervención oportuna.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.4.	No funcionan las bombas del sistema de refrigeración principal	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: En caso que dos de tres bombas del sistema de refrigeración principal fallen, produciría calentamiento de cojinetes y del generador, pudiendo sacar de servicio el grupo generador por sobre temperatura. Inmediatamente será necesario trabajar con esta configuración, la última bomba del sistema de refrigeración principal y se apoyaría con el sistema de refrigeración auxiliar. Falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) El costo de reparación es de US\$ 3 000, ya que es necesario realizar el mantenimiento de los impulsores de las bombas del sistema de refrigeración principal.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (1) No se producen pérdidas económicas por energía dejada de generar, si se hace una intervención oportuna..</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0)</p>

				<p>No afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.5	<p>Desgaste de tubería de intercambiadores de calor. (picadura)</p>	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Ocurre la emulsión del aceite con el agua, el cual ocasiona que el aceite no lubrique adecuadamente los cojinetes, esto elevara la temperatura en los cojinetes por lo que el grupo saldrá fuera de servicio por sobre temperatura. Este tipo de falla es evidente. (1) 2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas. 3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente. 4.- Costos de reparación: (2) Los costos de reparación es de US\$ 4 000, ya que es necesario cambiar la tubería picada por el de repuesto y cambiar aceite (100 galones en cada cojinete). Los trabajos de cambio de aceite en los cojinetes y el cambio del intercambiador de calor, demandan 8 horas. Es necesario colocar el grupo generador fuera de servicio. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Pérdida económica de US\$,4000 por energía dejada de generar. 6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.6	<p>Obstrucción en filtros de reservorio principal, por acumulación de material sólido y maleza.</p>	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Produciría que baje la presión en al agua del sistema de refrigeración principal porque al estar obstruidos los filtros el flujo de agua sería menor. En caso no sea intervenga inmediatamente sobre los filtros existe el riesgo de la desconexión del grupo generador por sobre temperatura. Falla es evidente. (1) 2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas. 3.- Medio Ambiente(0) No afecta al medio ambiente. 4.- Costos de reparación: (1) Es necesario limpiar los filtros obstruidos y trabajar con el sistema auxiliar de refrigeración. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades:(0) No se producen pérdidas por energía dejada de generar. 6.- Imagen Corporativa:(0) No afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.7	<p>Obstrucción parcial de tuberías de radiadores del generador.</p>	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Produciría que baje parcialmente la refrigeración del generador. En un caso extremo que se obstruyan varias tuberías del radiador podría elevarse la temperatura del generador existiendo el riesgo de desconexión del grupo generador por sobre temperatura. Falla es evidente. (1) 2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas. 3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente. 4.- Costos de reparación: (1) Es necesario limpiar las tuberías del radiador y es necesario sacar de servicio al grupo generador. La limpieza de tuberías de los radiadores del generador requiere 06 horas. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Se producen pérdidas económicas de US \$ 4,000 por energía dejada de generar durante las 6 horas del mantenimiento. 6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>

RCM-007 Sistema de refrigeración: Función 2 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-007: Sistema de Refrigeración		Función 2		Mantener la estanqueidad de las tuberías con agua
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
2.1	No mantiene la estanqueidad de las tuberías con agua	2.1.1	Desgaste de tubería de agua de intercambiadores de calor. (picadura)	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Ocurre la emulsión del aceite con el agua, el cual ocasiona que el aceite no lubrique adecuadamente los cojinetes, esto eleva la temperatura en los cojinetes por lo que el grupo saldrá fuera de servicio por sobre temperatura. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Los costos de reparación superan los US\$ 1 000, ya que es necesario cambiar la tubería picada por el de repuesto y cambiar aceite (100 galones en cada cojinete). Los trabajos de cambio de aceite en los cojinetes y el cambio del intercambiador de calor, demandan 8 horas. Es necesario colocar el grupo generador fuera de servicio.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Se producen pérdidas por energía dejada de generar ligeramente mayores a US\$,4000.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		2.1.2	Desgaste de tuberías radiadores generador. (picadura)	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El flujo del agua de refrigeración del generador disminuye por fuga de agua y produciría humedad en el ambiente donde se encuentra el generador. Es necesario parar el grupo generador para cambiar el radiador. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Los costos de reparación es menor de US\$ 1000. Es necesario sacar de servicio el grupo generador por un tiempo de 10 horas.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (2) Se producen pérdidas económicas por la energía dejada de generar por encima de los US\$ 5000.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>

RCM-007 Sistema de refrigeración: Función 3 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-007: Sistema de Refrigeración		Función 3		Indicar presión y nivel del agua de reservorio en forma confiable
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
3.1	No indica presión y nivel del agua.	3.1.1	Deterioro del indicador de presión y nivel del reservorio.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Al deteriorarse el indicador se pierden las mediciones de presión y nivel de agua en el reservorio. Falla es evidente. (1) No se pueden apreciar las mediciones de presión y posición.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta a la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) El costo de reparación es menor de US\$ 1000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se producen pérdidas por energía dejada de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0)</p>


				No se afecta al cliente.
3.2.	Indica erróneamente presión de agua y/o nivel del agua	3.2.1.	Indicador des calibrado	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El indicadores pueden dar falsos valores de presión y nivel del agua en el reservorio, debido a la fatiga, aflojamiento o rotura de alguno de sus componentes. Falla es evidente. (1) Los valores de presión y nivel varían comparándolos con los datos usuales que se tienen para las mismas condiciones.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta a la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) El costo de reparación es menor de US\$ 1000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se producen pérdidas por energía dejada de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-007 Sistema de refrigeración: Severidad - Causa de falla dominante

Modo de Falla N°	RCM-007 Sistema de Refrigeración									
	Valor de la severidad								N°	Causa de falla dominante
	FO	SF	MA	CR	CP	IC	AC	S		
1.1.1	1	0	0	1	1	0	0	0.43	1.1.1.1	Obstrucción de filtros de la toma de agua al sistema de refrigeración se debe al ingreso de agua con alta cantidad de material sólido al túnel de conducción en las Toma de Yuncan y Represa Manto
1.1.2	1	0	0	1	1	0	0	0.43	1.1.2.1	Ingreso de material sólido, malezas al filtro principal de auto lavado del sistema de refrigeración principal.
1.1.3.	1	0	0	1	1	0	0	0.43	1.1.3.1	Acumulación de material sólido y maleza muy pequeñas que pasaron todos los filtros anteriores y que obstruyen el filtro de intercambiador de calor del sistema de refrigeración de cojinete que es de malla fina
1.1.4.	1	0	0	2	1	0	0	0.57	1.1.4.1	Desgaste de los rodamientos de los motores y bombas del sistema de refrigeración principal y auxiliar por horas de trabajo continuo.
									1.1.4.2	Rotura de paletas impulsoras de las bombas del sistema de refrigeración principal y auxiliar, causado por horas de trabajo en las bombas primarias y auxiliares (trabajo continuo de las bombas del sistema de refrigeración).
1.1.5	1	0	0	2	2	0	0	0.73	1.1.5.1	El desgaste de las tuberías del intercambiador de calor de las chumaceras se debe a condiciones de trabajo (cambio de temperatura, corrosión).
1.1.6	1	0	0	1		0	0	0.27	1.1.6.1	Obstrucción de filtros del reservorio se debe al ingreso de agua con alta cantidad de material sólido al túnel de conducción en las Toma de Yuncan y Represa Manto
1.1.7	1	0	0	1	2	0	0	0.60	1.1.7.1	Obstrucción de tubería de los radiadores de los generadores por ingreso de material sólido al túnel de conducción en las Toma de Yuncan y Represa Manto
2.1.1	1	0	0	2	2	0	0	0.73	2.1.1.1	Desgaste de tubería del intercambiador de calor de las chumaceras, por condiciones de trabajo (cambio de temperatura, corrosión).
2.1.2	1	0	0	1	2	0	0	0.60	2.1.2.1	Desgaste de las tuberías de los radiadores del generador por condiciones de trabajo y/o tiempo de vida útil cumplido.
3.1.1	1	0	0	1	0	0	0	0.27	3.1.1.1	Fatiga de componentes del indicador de nivel y presión de agua del reservorio. Tiempo de vida útil cumplido.
									3.1.1.2	Aflojamiento o rotura por vibración de componentes del indicador de nivel y presión de agua del reservorio.
3.2.1.	1	0	0	1	0	0	0	0.27	3.2.1.1	Fatiga de componentes del indicador de nivel y presión de agua del reservorio. Tiempo de vida útil

ANEXO H: RCM-008 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

RCM-008 Sistema de lubricación: Formato de fronteras

RCM			
FRONTERAS DEL ESTUDIO			
EQUIPO: SISTEMA DE LUBRICACIÓN			
N° : RCM - 008			
1. DATOS GENERALES			
Fecha	Set 2009	Central de generación	Yaupi
Casa de Maquinas	CH Yaupi	Ubicación	Sala de Maquinas y Sotano
DATOS DE MAXIMO			
Ubicación técnica	-	Equipo	Grupo N°1
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
1.- Sistema de lubricación			
Fabricante	ESCHER WYSS		
Año de fabricación	1966		
Año de puesta en servicio	1969		
3. CONDICIONES AMBIENTALES			
Temperatura ambiente	De 8 °C a 32 °C	Altitud	1327 m.s.n.m
Humedad	De 82% a 96%	Grado de polución	Baja
Nivel de corrosión	Media		
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN			
Actualmente el sistema de lubricación es operado semanalmente, utilizando una grasera neumática.			
5. FRONTERAS			
Instalado en la parte posterior de la carcasa de la turbina.			
Por la parte superior, hasta	el servomotor superior e inyector		
Por la parte inferior, hasta	el servomotor inferior, deflectores e inyector		
Por el ingreso de grasa, desde	el tablero de distribución		
Por la salida de grasa, hasta	terminales de las tuberías		
6. INTERFAZ			
ENTRADAS		SALIDAS	
Ingreso de grasa a 90 psi.		grasa para lubricación de partes móviles.	
7. INFORMACIÓN ADICIONAL			

RCM-008 Sistema de lubricación: Función 1 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-008: Sistema de Lubricación		Función 1		Lubricar las partes móviles del sistema de regulación en forma permanente
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
1.1	No lubrica las partes móviles del sistema de regulación.	1.1.1	Fractura de tuberías en el acople.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La fractura de cañerías no mantiene la estanqueidad de la grasa, impidiendo la lubricación de partes móviles ocasionando desgaste por fricción. La falla es oculta. (4) en el caso se rompa una tubería que se localiza al interior de la carcasa de la turbina.</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) El impacto al medio ambiente es controlable.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Su reparación puede durar hasta 01 hora. El costo de reparación está por debajo de los US\$ 1 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se produce pérdidas por energía dejada de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.2	Desgaste de válvulas de graseras.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El desgaste de válvulas de graseras, ocasiona que la grasa no ingrese o que retome por la misma válvula. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) El reemplazo de la válvula graseras demanda 1 hora. El costo de reparación está por debajo de los US\$ 1 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se produce pérdidas por energía dejada de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta al cliente.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta la imagen corporativa.</p>
		1.1.3	Obstrucción de tuberías del sistema de lubricación	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La obstrucción de tuberías del sistema de lubricación, ocasiona que la grasa no ingrese o que retome. Este tipo de falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) La intervención para realizar la desatorar las tuberías requiere de 1 hora. El costo de reparación está por debajo de los US\$ 1 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se produce pérdidas por energía dejada de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta al cliente.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta la imagen corporativa.</p>
		1.1.4	Falta de lubricación por insuficiente cantidad de grasa por obstrucción progresiva de las tuberías	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Una mala lubricación en las partes móviles ocasionaría desgaste por fricción. Este tipo de falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) La reparación de las partes móviles puede durar hasta 48 horas.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (3) Se produce pérdidas económicas del orden de los US\$30 000 por energía dejada de generar.</p>

				6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa. 7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.
--	--	--	--	--

RCM-008 Sistema de lubricación: Función 2 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-008: Sistema de Lubricación		Función 2		Mantener la estanqueidad del sistema de lubricación
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
2.1	No mantiene la estanqueidad del sistema de lubricación.	2.1.1	Fuga de grasa por acoplamientos de tuberías o válvulas.	1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La fuga de grasa por las uniones de cañerías ocasiona que se pierda grasa ocasionando el mal funcionamiento del sistema de lubricación. La falla es oculta cuando se produce la fuga en una unión ubicada dentro de la carcasa de la turbina. (4) 2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas. 3.- Medio Ambiente: (0) El impacto al medio ambiente es controlable. 4.- Costos de reparación: (1) Su reparación puede durar hasta 30 minutos para ajustar los acoples. El costo de reparación está por debajo de los US\$ 1 000. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No se produce pérdidas económicas por energía dejada de generar. 6.- Imagen Corporativa: (0) No afecta la imagen corporativa 7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.


RCM-008 Sistema de lubricación: Severidad – Causa de falla dominante

Modo de Falla N°	RCM-008 Sistema de Lubricación									N°	Causa de falla dominante
	Valor de la severidad								S		
	FO	SF	MA	CR	CP	IC	AC	S			
1.1.1	4	0	0	1	0	0	0	0	0.67	1.1.1.1	Rotura de tubería del sistema de lubricación ocasionado por vibración y la alta presión de agua en el interior de la carcasa de la turbina.
1.1.2	1	0	0	1	0	0	0	0	0.27	1.1.2.1	Desgaste de las válvulas graseras del sistema de lubricación por tiempo de vida.
1.1.3	1	0	0	1	0	0	0	0	0.27	1.1.3.1	Obstrucción de tubería por grasa endurecida o presencia de algún material, obstruye la circulación de la grasa, quedándose estancada.
1.1.4	4	0	0	1	3	0	0	0	1.16	1.1.4.1	Insuficiente flujo de grasa en la tubería del sistema de lubricación, al estar la tubería parcialmente obstruida.
2.1.1	4	0	0	1	0	0	0	0	0.67	2.1.1.1	Acoplamiento de tubería del sistema de lubricación aflojado por la vibración y la presión de agua en el interior de la carcasa de turbina.
										2.1.1.2	Acoplamientos de válvulas del sistema de lubricación aflojados por alta presión de trabajo.

RCM-008 Sistema de lubricación: Selección de tareas

Causa De Falla N°	RCM-008 Sistema de Lubricación			
	Selección de Tareas			
	N°	Tipo	Tarea	Periodo
1.1.1.1	1.1.1.1.1	Preventivo	Inspección y reemplazo de tuberías del sistema de lubricación al interior de la carcasa de turbina.	1M
	1.1.1.1.2	Rediseño	Evaluar el reemplazo de niples de tubería del sistema de lubricación por una trayectoria menos expuesta a la presión de agua dentro de la carcasa de turbina. Cambiar por niples fabricados con material más resistente.	-
1.1.2.1	1.1.2.1.1	Correctivo	Cambiar las válvulas graseras del sistema de lubricación cuando se malogren	-
1.1.3.1	1.1.3.1.1	Correctivo	Calentamiento y limpieza de la tubería del sistema de lubricación con aire a presión, cuando se quede obstruida por grasa seca.	-
1.1.4.1	1.1.4.1.1	Preventivo	Llenado de grasa al sistema de lubricación periódicamente	1Sem
	1.1.4.1.2	Correctivo	Calentamiento y limpieza de la tubería del sistema de lubricación con aire a presión, cuando se quede obstruida por grasa seca.	-
2.1.1.1	2.1.1.1.1	Preventivo	Inspección y ajuste de acoplamientos de tuberías del sistema de lubricación..	1M
2.1.1.2	2.1.1.2.1	Preventivo	Inspección y ajuste de acoplamientos de válvulas del sistema de lubricación.	1M

ANEXO I: RCM-009 SISTEMA CONTRA INCENDIO**RCM-009 Sistema contra incendio: Formato de fronteras**

RCM			
FRONTERAS DEL ESTUDIO			
EQUIPO: SISTEMA CONTRA INCENDIOS			
N° : RCM - 009			
1. DATOS GENERALES			
Fecha	3 mayo 2009	Central de generación	Yaupi
Casa de Maquinas	CH Yaupi	Ubicación	Sotáno
DATOS DE MAXIMO			
Ubicación técnica	1YAUPIGE01GG5VESF	Equipo	Grupo N°1
Código de activo			
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
EQUIPO CONTRA INCENDIOS			
Fabricante	WALTER KIDDE COMPANY		
Año de fabricación	1954		
Año de puesta en servicio	1957		
Tipo	" RM "		
3. CONDICIONES AMBIENTALES			
Temperatura ambiente	De 8 °C a 32 °C	Altitud	1327 m.s.n.m
Humedad Relativa	De 82% a 96%	Grado de polución	Baja
Nivel de corrosión	Media		
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN			
El sistema contraincendios del grupo opera automáticamente cuando sensa una temperatura en el generador que supera los 100 °C, emitiendo CO2 al gr generador y sacando fuera de servicio al grupo generador. Este sistema contraincendios también opera manualmente desde la sala de control o de el mismo banco de balones de CO2.			
5. FRONTERAS			
Parte superior	No se sujeta con otros equipos		
Parte inferior	Piso de sotano, no incluye piso		
Parte lateral	Poza de generador		
			
6. INTERFAZ			
ENTRADAS		SALIDAS	
		Salida de CO2 para controlar incendios de generadores	
7. INFORMACIÓN ADICIONAL			

RCM-009 Sistema Contra Incendio: Función 1 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-009: Sistema Contra Incendio		Función 1		Apagar automáticamente incendios que se empiecen a producir en los generadores
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
1.1	No apaga automáticamente incendio o amago de incendio que se originen en los generadores.	1.1.1	Sensor de temperatura en mal estado (termostato)	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Una falla del funcionamiento del sensor de temperatura (termostato) causa que el sistema contraincendios funciones de modo inadecuado o que no funcione. Este tipo de falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (2) Si afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (1) Si afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) Para la reparación del termostato es necesario hacer la desconexión del termostato en mal estado. Un mal funcionamiento del sistema contraincendios elevan los daños según la magnitud del incendio. Los costos de reparación del generador ascienden a US\$ 450 000, si el incendio afecta a l generador. El tiempo de reparación del generador es de 60 días.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Se produce pérdidas económicas que superan los US\$ 800 000 por la energía dejada de generar. Posibilidad de ser penalizados por Osinermin.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (3) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinermin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.2	Cilindros no tienen la cantidad nominal de CO2.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Los cilindros que no tengan el peso de CO2 conforme a la capacidad nominal del cilindro puede ocasionar el incorrecto funcionamiento del sistema contraincendios, pudiendo el incendio terminar un siniestro de mayor magnitud. Este tipo de falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (2) Puede causar daños leves a la persona, requiriendo de primeros auxilios.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (1) Se producen restos de partes quemadas del generador y restos de CO2. El impacto al medio ambiente es controlable que alcanza a la sala de máquinas y sótano.</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) La reparación del grupo generador demanda un tiempo de 60 días para realizar los trabajos de rebobinado del generador y reparación de sus sistemas complementarios correspondientes. Los costos de reparación del generador ascienden a US\$ 400 000, si el incendio afecta a l generador.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Se produce pérdidas económicas que superan los US\$ 800 000 por la energía dejada de generar. Probabilidad de ser penalizado por Osinermin..</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (3) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinermin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
		1.1.3	Obstrucción de tuberías del sistema contraincendios.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La obstrucción de las tuberías perjudican el funcionamiento del sistema contraincendios, ocasionando un deficiente funcionamiento del sistema contraincendios. Este tipo de falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (2) Puede causar daños leves a la persona, requiriendo de primeros auxilios.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (1) Se producen restos de partes quemadas del generador y restos de CO2. El impacto al medio ambiente es controlable que alcanza a la sala de máquinas y sótano.</p>

				<p>4.- Costos de reparación: (4) La reparación del grupo generador demanda un tiempo de 60 días para realizar los trabajos de rebobinado del generador y reparación de sus sistemas complementarios correspondientes. Los costos de reparación del generador ascienden a US\$ 400 000, si el incendio afecta a l generador.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Se produce pérdidas económicas que superan los US\$ 800 000 por la energía dejada de generar. Probabilidad de ser penalizado por Osinergmin..</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (3) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinergmin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.</p>
--	--	--	--	---

RCM-009 Sistema Contra Incendio: Función 2 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-009: Sistema Contra Incendio		Función 2		Apagar manualmente incendios que se empiecen a producir en los generadores
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
2.1	No apaga manualmente incendios que se empiecen a producir en los generadores.	2.1.1	Mecanismo de contrapesas de las válvulas de direccionamiento hacia los Grupos 1, 2 y 3. Se encuentra trabado	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Si el mecanismo de contrapesas se encuentra trabado, imposibilita el accionamiento manual de las válvulas del sistema de flujo de CO2. En caso suceda un incendio no funcionaría el sistema contraincendios, pudiendo desencadenar en un gran incendio. Este tipo de falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (2) Puede causar daños leves a la persona, requiriendo de primeros auxilios.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (1) Se producen restos de partes quemadas del generador y restos de CO2. El impacto al medio ambiente es controlable que alcanza a la sala de máquinas y sótano.</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) La reparación del grupo generador demanda un tiempo de 60 días para realizar los trabajos de rebobinado del generador y reparación de sus sistemas complementarios correspondientes. Los costos de reparación del generador ascienden a US\$ 400 000, si el incendio afecta a l generador.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Se produce pérdidas económicas que superan los US\$ 800 000 por la energía dejada de generar. Probabilidad de ser penalizado por Osinergmin.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (3) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinergmin.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) Si afecta al cliente.</p>
		2.1.2	Cilindros no tienen la cantidad nominal de CO2.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: Los cilindros que no tengan el peso de CO2 conforme a la capacidad nominal del cilindro puede ocasionar el incorrecto funcionamiento del sistema contraincendios, pudiendo el incendio terminar un siniestro de mayor magnitud. Este tipo de falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (2) Puede causar daños leves a la persona, requiriendo de primeros auxilios.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (1) Se producen restos de partes quemadas del generador y restos de CO2. El impacto al medio ambiente es controlable que alcanza a la sala de máquinas y sótano.</p> <p>4.- Costos de reparación: (4) La reparación del grupo generador demanda un tiempo de 60 días para realizar los trabajos de rebobinado del generador y reparación de sus sistemas complementarios correspondientes. Los costos de reparación del generador ascienden a US\$ 400 000, si el incendio afecta a l generador.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4)</p>

				Se produce pérdidas económicas que superan los US\$ 800 000 por la energía dejada de generar. Probabilidad de ser penalizado por Osinermin. 6.- Imagen Corporativa: (3) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinermin. 7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.
		2.1.3	Obstrucción de tuberías del sistema contraincendios.	1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La obstrucción de las tuberías perjudican el funcionamiento del sistema contraincendios, ocasionando un deficiente funcionamiento del sistema contraincendios. Este tipo de falla es oculta. (4) 2.- Seguridad de las Personas: (2) Puede causar daños leves a la persona, requiriendo de primeros auxilios. 3.- Medio Ambiente: (1) Se producen restos de partes quemadas del generador y restos de CO2. El impacto al medio ambiente es controlable que alcanza a la sala de máquinas y sótano. 4.- Costos de reparación: (4) La reparación del grupo generador demanda un tiempo de 60 días para realizar los trabajos de rebobinado del generador y reparación de sus sistemas complementarios correspondientes. Los costos de reparación del generador ascienden a US\$ 400 000, si el incendio afecta a l generador. 5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (4) Se produce pérdidas económicas que superan los US\$ 800 000 por la energía dejada de generar. Probabilidad de ser penalizado por Osinermin.. 6.- Imagen Corporativa: (3) Se afecta la imagen corporativa a nivel de inversionistas de la compañía, y frente a otras compañías externas como: agentes de crédito, compañía de seguro, Ministerio de trabajo, Osinermin. 7.- Afectación al cliente: (0) No afecta al cliente.

RCM-009 Sistema Contra Incendio: Severidad – Causa de falla dominante

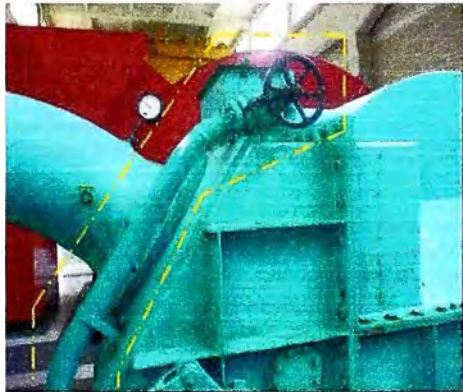
Modo de Falla N°	RCM-008 Sistema Contraincendios								N°	Causa de falla dominante
	Valor de la severidad									
	FO	SF	MA	CR	CP	IC	AC	S		
1.1.1	4	2	1	4	4	3	0	2.61	1.1.1.1	Vida útil y horas de trabajo del equipo sensor de temperatura del mando automático del sistema contraincendios.
									1.1.1.2	Circuito del mando eléctrico del mando automático del sistema contraincendios tiene algún componente fallado.
1.1.2	4	2	1	4	4	3	0	2.61	1.1.2.1	Cilindros pierden contenido de CO2 por fuga a través de su válvula y /o cilindros no recargados adecuadamente.
1.1.3	4	2	1	4	4	3	0	2.61	1.1.3.1	Acumulación de residuos sólidos y humedad en tubería del sistema contraincendios.
2.1.1	4	2	1	4	4	3	0	2.61	2.1.1.1	Falta de mantenimiento o mal montaje del mecanismo de contrapesas de la válvula de direccionamiento para el mando local del sistema contraincendios.
2.1.2	4	2	1	4	4	3	0	2.61	2.1.2.1	Cilindros pierden contenido de CO2 por fuga a través de su válvula y /o cilindros no recargados adecuadamente.
2.1.3	4	2	1	4	4	3	0	2.61	2.1.3.1	Acumulación de residuos sólidos y humedad en tubería del sistema contraincendios.

RCM-009 Sistema Contra Incendio: Selección de tareas

Causa De Falla N°	RCM-008 Sistema Contra incendios			
	Selección de Tareas			
	N°	Tipo	Tarea	Periodo
1.1.1.1	1.1.1.1.1	Preventivo	Inspección y mantenimiento del termostato (sensor de temperatura) del mando automático del sistema contraincendios.	1A
1.1.1.2	1.1.1.2.1	Preventivo	Inspección y mantenimiento del circuito eléctrico del mando automático del sistema contraincendios.	1M
1.1.2.1	1.1.2.1.1	Preventivo	Inspección (tapones, válvula, cañerías) y control de peso de los cilindros de CO2.	1A
1.1.3.1	1.1.3.1.1	Preventivo	Inspección y mantenimiento de tuberías del sistema contraincendios.	1A
2.1.1.1	2.1.1.1.1	Preventivo	Inspección y mantenimiento del mecanismo de contrapesas de la válvula de direccionamiento para el mando local del sistema contraincendios.	1A
2.1.2.1	2.1.2.1.1	Preventivo	Inspección (tapones, válvula, cañerías) y control de peso de los cilindros de CO2.	1A
2.1.3.1	2.1.3.1.1	Preventivo	Inspección y mantenimiento de tuberías del sistema contraincendios.	1A

ANEXO J: RCM-010 SISTEMA FRENO

RCM-010 Sistema freno: Formato de fronteras

RCM			
FRONTERAS DEL ESTUDIO			
EQUIPO: SISTEMA DE FRENO HIDRÁULICO			
N° : RCM - 010			
1. DATOS GENERALES			
Fecha	Set 2009	Central de generación	Yaupi
Casa de Maquinas	CH Yaupi	Ubicación	Tapa Caja Turbina - Sala de Máquinas
DATOS DE MAXIMO			
Ubicación técnica	-	Equipo	Grupo N°1
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
VALVULA TUBULAR			
Fabricante	S. MORGAN SMITH		
Año de fabricación	1954		
Año de puesta en servicio	1957		
Diametro	4"		
3. CONDICIONES AMBIENTALES			
Temperatura ambiente	De 8 °C a 32 °C	Altitud	1327 m.s.n.m
Humedad	De 82% a 96%	Grado de polución	Baja
Nivel de corrosión	Media		
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN			
<p>Las válvulas de freno contra chorro, se operan mensualmente para parada de los grupos generadores para inspección. Cada turbina de grupo generador cuenta con dos válvulas (principal y secundario) para el sistema de freno contra chorro. Las válvulas principales se mantienen abiertos todo el tiempo.</p>			
5. FRONTERAS			
Por el lado aguas arriba, hasta	la tubería de derivación que sale de la tubería forzada (antes de la roloválvula) incluye brida de unión y pemos con la tubería forzada.		
Por el lado aguas abajo, hasta	El inyector del sistema de freno (niple) que se encuentra ubicada dentro de la carcasa de la turbina.		
No incluye la caja de aireación			
6. INTERFAZ			
ENTRADAS		SALIDAS	
Ingreso de agua por lado aguas arriba		Salida de agua hacia el rodete.	
7. INFORMACIÓN ADICIONAL			

RCM-010: Sistema freno: Función 1 - Modo de Falla - Análisis de Efecto

RCM-010: Sistema Freno		Función 1		Frenar la turbina en movimiento rotativo en un tiempo nominal
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
1.1	No frena la turbina en movimiento rotativo.	1.1.1	Fractura de uno de los componentes internos del mecanismo de la válvula secundaria.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: La fractura de uno de los componentes interiores de la válvula secundaria, incapacitaría la maniobra normal de la válvula de freno. Un mal funcionamiento de la válvula de freno ocasionando que el flujo de agua este por debajo de su capacidad o se interrumpa por completo. Al no haber freno contra chorro, la turbina se detendría solo por inercia en un tiempo mucho mayor al que se detiene normalmente con el sistema de freno. Falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Para hacer la reparación de la válvula secundaria del sistema de freno hidráulico no se requiere sacar de servicio al grupo generador. Para realizar este trabajo solamente se cierra la válvula de compuerta principal que está tomado de la tubería de presión principal. El costo por reparación está por debajo de los US\$1000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (0) No produce pérdidas económicas por dejar de generar.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

RCM-010: Sistema freno: Función 2 - Modo de falla - Análisis de efecto

RCM-010: Sistema Freno		Función 2		Mantener la estanqueidad del agua del sistema de freno
N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto
2.1	No mantiene la estanqueidad	2.1.1	Desgaste por corrosión y erosión en los codos y tuberías de presión del sistema de freno hidráulico	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El desgaste por corrosión y erosión en los codos y tuberías de presión del sistema de freno hidráulico ocasionaría fuga de agua y la inundación de la sala de máquinas y/o sótano. Falla es evidente. (1)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente. El derrame de agua es controlable en la planta.</p> <p>4.- Costos de reparación: (1) Si la fuga o rotura de la tubería es aguas arriba de la válvula primaria, entonces para hacer la reparación es necesario vaciar la tubería de presión e indisponer tres unidades generadoras de 24 MVA (Parada de tres grupos generadores). Si la fuga es aguas abajo de la válvula principal no es necesario vaciar la tubería de presión, tampoco la parada del grupo generador es necesario. El costo de reparación de la tubería está por debajo de los US \$1 000. En el caso de vaciar la tubería de presión N°1, volver a llenarla requiere un tiempo de 8 horas. El tiempo de reparación de la tubería afectada por desgaste o erosión es de 12 horas.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (3) Se produce pérdidas económicas superiores a los US\$ 36 000 por la energía dejada de generar cuando se vacia la tubería de presión, lo que indisponer tres unidades generadoras de 24MVA.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>

		2.1.2	Desgaste de sellos de la válvula principal y de la válvula secundaria.	<p>1.- Evidencias de ocurrencia de falla: El desgaste de los sellos de las válvulas principal y/o secundaria, ocasionaría que las válvulas no hermeticen por completo, razón por el cual siempre habría un flujo de agua en el sistema de frenado hacia el rodete en todo momento. Este flujo de agua impacta sobre el rodete que puede estar detenido o en funcionamiento, afectando así el funcionamiento del grupo generador.</p> <p>Falla es oculta. (4)</p> <p>2.- Seguridad de las Personas: (0) No afecta la seguridad de las personas.</p> <p>3.- Medio Ambiente: (0) No afecta al medio ambiente.</p> <p>4.- Costos de reparación: (2) Realizar el cambio de la válvula principal, es necesario vaciar la tubería de presión e indisponer tres unidades generadoras de 24 MVA (Parada de tres grupos generadores). El cambio de válvula, vaciado y llenado de la tubería de presión un tiempo de 20 horas. El precio de una válvula de repuesto es de US\$2 000.</p> <p>5.- Pérdidas de ingresos / Compensaciones / Penalidades: (3) Se produce pérdidas económicas superiores a los US\$ 12 000 por la energía dejada de generar cuando se vacía la tubería de presión, lo que indisponer tres unidades generadoras de 24MVA.</p> <p>6.- Imagen Corporativa: (0) No se afecta la imagen corporativa.</p> <p>7.- Afectación al cliente: (0) No se afecta al cliente.</p>
--	--	-------	--	--

RCM-010 Sistema Freno: Severidad - Causa de falla dominante

Modo de Falla N°	RCM-010 Sistema Freno									N°	Causa de falla dominante
	Valor de la severidad								S		
	FO	SF	MA	CR	CP	IC	AC	S			
1.1.1	4	0	0	1	0	0	0	0	0.67	1.1.1.1	Desgaste del mecanismo de la válvula secundaria causado por el tiempo de trabajo y/o por los sólidos en el agua.
2.1.1	1	0	0	1	3	0	0	0	0.76	2.1.1.1	Desgaste de tuberías y codos de presión del sistema de freno causado por el tiempo de trabajo y/o por los sólidos en el agua
2.1.2	4	0	0	2	3	0	0	0	1.29	2.1.2.1	Desgaste de los sellos de las válvulas principal y/o secundaria, causado por el tiempo de trabajo y/o por los sólidos en el agua

RCM-010 Sistema Freno: Selección de tareas

Causa De Falla N°	RCM-010 Sistema Freno			
	Selección de Tareas			
	N°	Tipo	Tarea	Periodo
1.1.1.1	1.1.1.1.1	Preventivo	Inspección de la válvula secundaria del sistema de freno.	1M
2.1.1.1	2.1.1.1.1	Preventivo	Reemplazo de tubería y codos aguas arriba de la válvula principal del sistema de freno.	5A
	2.1.1.1.2	Preventivo	Medición de espesor de tubería y codos aguas arriba y abajo de la válvula principal del sistema de freno.	1A
2.1.2.1	2.1.2.1.1	Preventivo	Mantenimiento de la válvula secundaria del sistema de freno.	1A
	2.1.2.1.2	Preventivo	Mantenimiento periódico de la válvula principal del sistema de freno. Reemplazar si es necesario.	5A

ANEXO K: DATOS TÉCNICOS DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA YAUPI

CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRAL:

Potencia Instalada (MW)	108
Potencia efectiva (MW)	103
Altura bruta (m)	527
Caudal a plena carga (m ³ /s)	25

UBICACIÓN GEOGRAFICA

REPRESA YUNCAN	CASA DE MAQUINAS C.H. YAUPI
Distrito de Paucartambo - Cerro de Pasco	Distrito de Ulcumayo - Departamento de Junin
1854,7 msnm	1326,79 msnm

TURBINAS

	UNIDADES 1, 2 y 3	UNIDADES 4 y 5
	Pelton Horizontal x 2 inyectores	Pelton Horizontal x 2 inyectores
Fabricante	MORGAN SMITH CO.	ESCHER WYSS
Altura (m)	469,44	524,3
Descarga (m ³ /s)	5.9	5.32
Potencia (KW)	20 888	24100
Velocidad (RPM)	450	450
Rodete	Pelton	Pelton
N° Cangilones	20	20

GENERADORES

	UNIDADES 1, 2 y 3	UNIDADES 4 y 5
Fabricante	Westinghouse	Mitsubishi
Potencia (MVA)	24	24
Tensión (V)	13.8	13.8
Amperios (A)	1005	1004
Factor de potencia	0.9	0.9
Fases	3	3
Frecuencia (Hz)	60	60
N° Polos	16	16
Velocidad (RPM)	450	450
Tensión de excitación (V DC)	250	250
Corriente de excitación (A DC)	366	313
Temperatura de servicio (°C)	60	60
Clase aislamiento	B	B

REGULADOR DE VELOCIDAD

	UNIDADES 1, 2 y 3	UNIDADES 4 y 5
Fabricante	Woodward	EsccherWyss
Tipo	LR- 1956	Z-300 - 1956
Capacidad (lib/pie)	6700	2570
sensibilidad (%)	0.25 a 1.00	
Tiempo operación deflectores (s)	1.5	
Tiempo operación inyectores (s)	10	
Presión de aceite de mando (Psi)	200	450
Motor regulador pendular	150 - 175 V 0.81 A	122 - 490 V / 5A / 1.05 - 4.2 KVA
Funcionamiento	Péndulo centrífugo con accionamiento hidraulico por aceite a presión.	Péndulo centrífugo con accionamiento hidraulico por aceite a presión.

EXCITATRIZ PRINCIPAL

	UNIDADES 1, 2 y 3	UNIDADES 4 y 5
Fabricante	Westinghouse	Mitsubishi
Potencia (KW)	105	95
Tensión (V DC)	250	250
Amperios (A DC)	420	380
Velocidad (RPM)	450	450
N° de polos arrollamiento de campo	4	4
Clase de aislamiento	B	B
Temperatura de servicio (°C)	40	60
Shunt	Wound	Tipo KP-B

REGULADOR DE TENSIÓN ESTADO SOLIDO

	UNIDADES 1, 2, 3, 4 y 5
Fabricante	C GEE ALSTHOM
Tipo	REC-70

TUBERIAS DE PRESION

	UNIDADES 1, 2 y 3	UNIDADES 4 y 5
Longitud (m)	1300	1300
Altura (m)	471	471
Pendiente promedio (%)	43.4	43.4

BIBLIOGRAFÍA

1. Anthony M. Smith and Glenn R. Hinchcliffe, “RCM - Gateway to World Class Maintenance”, Elsevier Butterworth – Heinemann - USA 2004
2. F. Stanley Nowlan and Howard F. Heap, “Reliability Centered Maintenance”, Office of Assistant Secretary of Defense (Manpower, Reserve Affairs and Logistics) Washington , DC 20301 – USA 1978
3. John Moubray, “Reliability Centered Maintenance: RCM - 2” Second Edition, Butterworth-Heinemann – Inglaterra 1999
4. Neil B. Bloom, “Reliability Centered Maintenance, Implementation made simple”, McGraw – USA 2006