



Departamento de posgrados
Maestría en Gestión de Mantenimiento

**Planificación del mantenimiento para las unidades de
generación de la Central Hidroeléctrica Paute Molino de
acuerdo a las condiciones actuales de los activos**

**Tesis previa a la obtención del título de:
Magister en Gestión de Mantenimiento**

Autor:

Juan Carlos Abad Apuango

Director de tesis:

Carlos Terán Palacios

Cuenca, Ecuador 2016

DEDICATORIA

A Dios por brindar la oportunidad de “dudar” y de “saber”.

A mis seres amados por su apoyo comprensivo.

A aquellas personas quienes tienen pasión por el “conocimiento”.

AGRADECIMIENTOS

Al apoyo y profesionalismo del Ing. Carlos Terán, quien como director de tesis ha sabido guiar el proyecto investigativo de excelente manera.

A los docentes, personal administrativo y directivos visionarios de la Universidad del Azuay, que han abierto las puertas a nuevos conocimientos y con ello han creado oportunidades para el crecimiento de la industria ecuatoriana.

A CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, por apoyar al desarrollo de sus trabajadores.

RESUMEN

Uno de los retos en la Central Hidroeléctrica Paute Molino es la optimización del plan de mantenimiento, actualmente establece paradas preventivas de los generadores, pero no se han eliminado las paradas correctivas.

Esta investigación ha determinado las debilidades del plan, como la falta del análisis de criticidad y la poca coordinación en la aplicación de las diferentes técnicas de mantenimiento.

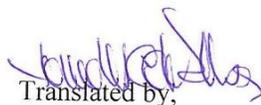
En base al método científico se ha podido definir un nuevo plan de mantenimiento que establece los elementos críticos de los generadores y cuyas tareas conjugan la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad, el basado en condición y el preventivo.

PALABRAS CLAVE

Molino, mantenimiento, plan, criticidad, preventivo, confiabilidad

ABSTRACT

One of the challenges at the *Paute-Molino* Hydroelectric Plant is the optimization of the maintenance plan which currently establishes preventive shutdowns of generators; however, the corrective stops have not been eliminated. This research has identified weaknesses in the plan, such as a lack of analysis of criticality and poor coordination in the implementation of various maintenance techniques. Based on the scientific method, it has been possible to define a new maintenance plan that establishes the critical elements of generators, whose tasks combine the application of reliability centered maintenance, the condition-based and the preventive one.



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

KEYWORDS

Molino, maintenance, plan, criticality, preventive, reliability.

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	ii
PALABRAS CLAVE	ii
ABSTRACT.....	iii
KEYWORDS.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	3
MATERIALES Y MÉTODOS	3
1.1 Descripción general.....	3
1.2 Métodos de investigación	3
1.3 Equipos y herramientas	5
1.3.1 Entrevista semiestructurada.....	5
1.3.2 Técnica documental.....	12
1.3.3 Observación científica.....	12
Capítulo 2	13
RESULTADOS	13
2.1 Evaluación al mantenimiento	13
2.1.1 Evaluación sobre “Planificación del trabajo”.....	13
2.1.2 Evaluación sobre “Ingeniería de Mantenimiento”.....	23
2.1.3 Evaluación sobre “Organización y el Personal”.....	28
2.1.4 Evaluación sobre “Compras y contratación”.....	32
2.1.5 Evaluación sobre “Control de costos”.....	35
2.1.6 Evaluación sobre “Eficiencia”.....	37
Capítulo 3	40
DISCUSIÓN	40
3.1 Patrones y tendencias detectadas	40
3.2 Causas de los patrones y tendencias	44
3.3 Resultado general de la evaluación	46
CAPÍTULO 4	51
PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	51

4.1 Metodología para elaboración del Plan de Mantenimiento.....	51
4.2 Plan de Mantenimiento	55
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Flujo de la orden de trabajo (OT).....	14
Figura 2 Descripción corta de orden de trabajo.....	15
Figura 3 Descripción larga de orden de trabajo.....	15
Figura 4 OT 116636, U02, 2M, anillos colectores. No se reserva materiales ni repuestos	19
Figura 5 OT 116636, U02, 2M, anillos colectores. Recomendación sobre herramientas	19
Figura 6 OT 115644, U01, medidor de procesos. Reporte con observaciones	24
Figura 7 Organigrama de Mantenimiento Eléctrico (2015).....	28
Figura 8 Porcentaje de uso de mano de obra (Mantenimiento Eléctrico)	28
Figura 9 Reporte de costos mano de obra, 2M-U01	35
Figura 10 Cumplimiento de Disponibilidad 2014	37
Figura 11 Cumplimiento de Confiabilidad 2014.....	37
Figura 12 Correctivos en unidades U02, U03 y U07 período 2006 – 2015.....	41
Figura 13 Sistemas que representan el 80% de correctivos en U02	42
Figura 14 Sistemas que representan el 80% de correctivos en U03	42
Figura 15 Sistemas que representan el 80% de correctivos en U07	43
Figura 16 Evaluación a la Gestión de Mantenimiento Eléctrico	49
Figura 17 Evaluación, calificación obtenida versus meta planteada	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Entrevista sobre "Planificación del trabajo"	6
Tabla 2 Entrevista sobre "Ingeniería de Mantenimiento".....	7
Tabla 3 Entrevista sobre "Organización y el Personal"	8
Tabla 4 Entrevista sobre "Compras y contratación"	9
Tabla 5 Entrevista sobre "Control de costos"	10
Tabla 6 Entrevista sobre "Eficiencia"	11
Tabla 7 Historial de OT en el estator-rotor del generador de la unidad U01.....	17
Tabla 8 Valoración "Planificación del trabajo – flujo OT" según documentación y observación	17
Tabla 9 Valoración "Planificación del trabajo – coordinación" según documentación y observación.....	18
Tabla 10 Valoración "Planificación del trabajo – reserva de recursos" según documentación y observación.....	20
Tabla 11 Duración de mantenimientos preventivos en unidades de generación.....	20
Tabla 12 Valoración "Planificación del trabajo – estimación tiempo" según documentación y observación.....	21
Tabla 13 Valoración "Planificación del trabajo – recepción de trabajos" según documentación y observación.....	21

Tabla 14 Evaluación sobre “Planificación del trabajo” según la técnica documental y la observación.....	22
Tabla 15 Evaluación sobre “Planificación del trabajo” según la apreciación del personal (entrevistas)	22
Tabla 16 Técnicas predictivas aplicadas en las unidades de generación.....	23
Tabla 17 Valoración “Ingeniería de Mantenimiento – tipo de tareas” según documentación y observación.....	24
Tabla 18 Valoración “Ingeniería de Mantenimiento – adecuaciones” según documentación y observación.....	25
Tabla 19 Valoración “Ingeniería de Mantenimiento – historial” según documentación y observación.....	25
Tabla 20 Valoración “Ingeniería de Mantenimiento – ACR” según documentación y observación	26
Tabla 21 Valoración “Ingeniería de Mantenimiento – documentación” según documentación y observación.....	26
Tabla 22 Evaluación sobre “Ingeniería de Mantenimiento” según la técnica documental y la observación.....	27
Tabla 23 Evaluación sobre “Ingeniería de Mantenimiento” según la apreciación del personal (entrevistas)	27
Tabla 24 Valoración “Organización y el personal – organigrama” según documentación y observación.....	29
Tabla 25 Directrices de CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute y Mantenimiento Eléctrico	29
Tabla 26 Valoración “Organización y el personal – organigrama” según documentación y observación.....	29
Tabla 27 Valoración “Organización y el personal – selección” según documentación y observación.....	30
Tabla 28 Valoración “Organización y el personal – motivación” según documentación y observación.....	30
Tabla 29 Valoración “Organización y el personal – comunicación” según observación	30
Tabla 30 Evaluación sobre “Organización y el personal” según la técnica documental y la observación.....	31
Tabla 31 Evaluación sobre “Organización y el personal” según la apreciación del personal (entrevistas)	31
Tabla 32 Valoración “Compras y contratación – flujo de compras” según documentación y observación.....	32
Tabla 33 Valoración “Compras y contratación – servicios” según documentación y observación	32
Tabla 34 Valoración “Compras y contratación – administración bienes” según documentación y observación.....	33
Tabla 35 Valoración “Compras y contratación – administración servicio” según documentación y observación.....	33
Tabla 36 Valoración “Compras y contratación – inventario” según documentación y observación	33
Tabla 37 Evaluación sobre “Compras y contratación” según la técnica documental y la observación.....	34
Tabla 38 Evaluación sobre “Compras y contratación” según la apreciación del personal (entrevistas)	34
Tabla 39 Evaluación sobre “Control de costos” según la técnica documental y la observación	36

Tabla 40 Evaluación sobre “Control de costos” según la apreciación del personal (entrevistas)	36
Tabla 41 Disparos de Unidades de generación por año	38
Tabla 42 Salidas Forzadas de Unidades de generación por año	38
Tabla 43 Evaluación sobre “Eficiencia” según la técnica documental y la observación	39
Tabla 44 Evaluación sobre “Eficiencia” según la apreciación del personal (entrevistas)	39
Tabla 45 Unidades de generación a ser estudiadas	40
Tabla 46 Resultado de la evaluación a la Gestión de Mantenimiento Eléctrico	47
Tabla 47 Resumen del resultado de la evaluación a la Gestión de Mantenimiento Eléctrico	48
Tabla 48 Índice de criticidad según el Método de Fine	53
Tabla 49 Matriz de jerarquización	53
Tabla 50 Categorías de criticidad	54
Tabla 51 Técnicas de mantenimiento según la categoría de criticidad	54
Tabla 52 Niveles de objeto	56
Tabla 53 Listado y codificación de elementos desde el nivel 1 al nivel 6	57
Tabla 54 Listado y codificación de elementos nivel 7 al 10, unidad U02	57
Tabla 55 Índice de criticidad de elementos eléctricos de la unidad U02	61
Tabla 56 Categoría y criticidad de los elementos eléctricos de la unidad U02	62
Tabla 57 Estrategia de mantenimiento para la U02 según la categoría de criticidad de los elementos	63
Tabla 58 Generador eléctrico - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	64
Tabla 59 Generador eléctrico - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	65
Tabla 60 Regulador de velocidad - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	66
Tabla 61 Regulador de velocidad - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	66
Tabla 62 Válvula principal – Plan de Mantenimiento	67
Tabla 63 Transformador de potencia - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	67
Tabla 64 Transformador de potencia - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	68
Tabla 65 Conexión transformador subestación - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	69
Tabla 66 Excitatriz y regulador de voltaje - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	69
Tabla 67 Conexión generador transformador - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	70
Tabla 68 Equipo de protección control y medición - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	70
Tabla 69 Línea de ventilación de unidad - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	70
Tabla 70 Levantamiento grupo rotativo - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	71
Tabla 71 Línea de agua de enfriamiento - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	71
Tabla 72 Equipamiento para monitoreo de condición - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo	71

Juan Carlos Abad Apuango
Trabajo de graduación
Carlos Oswaldo Terán Palacios
Marzo, 2016.

**Planificación del Mantenimiento para las unidades de generación de la Central
Hidroeléctrica Paute Molino de acuerdo a las condiciones actuales de los activos**

INTRODUCCIÓN

La Central Hidroeléctrica Paute Molino (CHPM) opera comercialmente desde 1983, a la presente fecha dispone de 10 unidades de generación eléctrica, cinco de ellas tiene una potencia nominal de 105MW y las otras cinco tienen una potencia nominal de 115MW. Geográficamente está ubicada en los territorios de las provincias del Cañar, Azuay y Morona Santiago, para aprovechar el caudal del río Paute.

Actualmente en materia de electricidad, el Ecuador en horas pico demanda una potencia que supera los 3000MW, ejemplo de ello es el día 14 de octubre de 2015 a las 19h00 cuando el Sistema Nacional Interconectado (SNI) demandó una potencia de 3390,5MW de los cuales 750,4MW aportó la CHPM (Corporación CENACE, 2015). Hay que considerar que la potencia total que puede entregar esta central es de 1100MW, es decir, puede aportar con el 32% de la demanda de energía eléctrica total del país, siendo hasta el momento esta Central la que ofrece el mayor aporte energético al SNI.

CELEC EP – Unidad de Negocio Hidropaute administra actualmente la CHPM. Los indicadores de gestión que se manejan mensualmente en el proceso de Producción son tres: Disponibilidad de Unidades de Generación, Confiabilidad de Unidades de Generación y el índice de Indisponibilidad No Programado en Generación. Para el mes de octubre de 2015 los indicadores planteados como meta fueron: Disponibilidad 92,11%, Confiabilidad 99,78% e Indisponibilidad No Programada 1,52% (CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, 2015).

Estos tres indicadores; Disponibilidad, Confiabilidad e Indisponibilidad No Programada son el resultado directo de la gestión de mantenimiento que se desarrolla día a día a las unidades de generación eléctrica.

Inicialmente se caracterizará el actual plan de mantenimiento para luego desarrollar una propuesta de mejora. El análisis tienen un alcance que corresponde a los activos de índole eléctrico tales como los generadores, transformadores, motores, entre otros; este análisis no considera al equipamiento mecánico, hidráulico, tampoco la infraestructura civil.

El problema que se tiene es que las unidades de generación paran por mantenimiento preventivo 50 veces al año, las unidades detienen su producción cada dos y tres meses, también se presentan paradas por actividades de mejora, por otro lado están las paradas por mantenimiento correctivo, la tasa de salidas forzadas (FOR) para centrales de embalse debe ser en promedio igual o menor a 1,5% según el requerimiento del CENTRO NACIONAL DE CONTROL DE ENERGÍA (Corporación CENACE, 2012); sin embargo, en 2011 por ejemplo,

debido a una falla en el generador U10 que provocó su indisponibilidad durante 3.131,48 horas se tuvo un FOR de 5,266%, (CELEC EP HIDROPAUTE, 2011). Esta situación obliga a declarar indisponibles a las unidades con la consecuente pérdida de generación eléctrica.

Las preguntas de investigación son:

- ¿Cuáles son las características del plan de mantenimiento actual?
- ¿Cuáles son las debilidades del mantenimiento actual?
- ¿Cuáles son las fortalezas del mantenimiento actual?
- ¿Cuáles son los equipos eléctricos más importantes a los que hay que hacer mantenimiento?
- ¿Qué modelo o conjugación de modelos de mantenimiento se pueden aplicar a los sistemas eléctricos de la Central Hidroeléctrica Paute Molino?

El objetivo general es:

- Elaborar el plan de mantenimiento para las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Paute Molino de acuerdo a las condiciones actuales de los sistemas y equipos eléctricos.

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar y evaluar el plan de mantenimiento existente.
- Diseñar una metodología apropiada de gestión según el estado del arte para elaborar el plan de mantenimiento de los sistemas y equipos eléctricos.

El alcance de la investigación considera:

- Los elementos eléctricos de las unidades de generación de la CHPM considerando a los sistemas tales como: conexión generador transformador, excitatriz y regulador de voltaje, generador eléctrico, levantamiento grupo rotativo, regulador de velocidad, válvula principal, transformador de potencia, equipamiento de protección, control y medición, equipamiento para monitoreo de condición (vibraciones y descargas parciales), línea de agua de enfriamiento, conexión transformador subestación y línea de ventilación de unidad. Se han tomado en cuenta estos elementos según las directrices establecidas por el Comité Asesor Interno (CAI) para la estructura de objetos aplicables a Centrales Hidroeléctricas del Ecuador (Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC MATRIZ, 2015).

CAPÍTULO I

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Descripción general

El Sistema Nacional Interconectado (SNI) cada vez demanda mayor eficacia, eficiencia y productividad en cuanto a la generación hidroeléctrica, debido a la creciente demanda de energía de los consumidores.

Por ello, las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Paute Molino (CHPM) deben estar disponibles la mayor cantidad de tiempo posible.

En tal contexto, es muy necesario optimizar las paradas preventivas de las unidades de generación y tratar de disminuir al mínimo las paradas por correctivos o actividades no planificadas.

Por lo tanto, se caracterizará el objeto de estudio “plan de mantenimiento” de la CHPM, se lo evaluará y en base a ello se establecerá una propuesta de mejora de ser el caso, considerando técnicas modernas de mantenimiento.

La investigación se justifica debido a que el plan de mantenimiento debe ajustarse a los requerimientos de cada activo, se debe armonizar las tareas de mantenimiento aplicadas a las diferentes tecnologías existentes en los sistemas considerando el tipo de fabricante, el modelo y el año de fabricación, al mismo tiempo es necesario evaluar la eficacia del mantenimiento correctivo aplicado, el flujo de las órdenes de trabajo, los registros, entre otros. Se debe examinar la optimización de los recursos verificando que los esfuerzos del mantenimiento se centren en aquellos activos o sistemas que están directamente involucrados con la generación eléctrica. Se debe revisar la aplicación de técnicas preventivas y parte de ellas las predictivas con la finalidad de reducir al mínimo la ocurrencia de fallas y disparos de máquina (obligan a sacar la máquina de sincronismo).

1.2 Métodos de investigación

En vista de que las tareas de mantenimiento que se realizan actualmente deben ser renovadas siempre en búsqueda de la optimización y mejora continua para ofrecer una mayor disponibilidad y confiabilidad.

La investigación se desarrollará bajo la aplicación del método científico cuyo proceso se compone de las siguientes etapas:

- Identificar el problema.
- Plantear objetivos.
- Definir preguntas investigativas.
- Establecer el marco teórico.
- Recopilar información de campo.
- Indagar información adicional.
- Procesar y analizar la información.

- Determinar resultados.
- Formular conclusiones y recomendaciones.

Las tres primeras etapas de este método científico ya han sido presentadas en la "Introducción" y las otras etapas se desarrollarán a lo largo del presente documento.

Para facilitar la comprensión de los temas a tratar durante el desarrollo investigativo, a continuación se establece un marco teórico especializado en el tema de gestión de mantenimiento. Todas las definiciones a continuación detalladas son tomadas de la norma técnica UNE-EN 13306, 2011, de AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) excepto las que puntualmente indiquen otra fuente.

Terminología del marco teórico:

- Elemento: Parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que puede describirse y considerarse de forma individual.
- Activo: Elemento contabilizable formalmente.
- Mantenimiento: Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida.
- Plan de mantenimiento: Conjunto estructurado y documentado de tareas que incluyen las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento.
- Confiabilidad: Aptitud de un elemento de realizar una función requerida bajo unas condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo dado.
- Disponibilidad: Aptitud de un elemento para encontrarse en un estado en que pueda realizar su función, cuándo y cómo se requiera, bajo condiciones dadas, asumiendo que se dispone de los recursos externos necesarios.
- Mantenibilidad: Capacidad de un elemento bajo condiciones de utilización dadas, de ser preservado, o ser devuelto a un estado en el que pueda realizar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones dadas y utilizando procedimientos y recursos establecidos.
- Mantenimiento preventivo: Mantenimiento que se realiza a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios establecidos, y que está destinado a reducir la probabilidad de falla o la degradación del funcionamiento de un elemento.
- Mantenimiento basado en la condición: Mantenimiento preventivo que incluye una combinación de monitorización de la condición y/o la inspección y/o los ensayos, análisis y las consiguientes acciones de mantenimiento.
- Mantenimiento predictivo: Mantenimiento basado en la condición que se realiza siguiendo una predicción obtenida del análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento.

- Mantenimiento correctivo: Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida.
- Falla: Cese de la aptitud de un elemento para realizar una función requerida.
- Avería: Estado de un elemento caracterizado por la inaptitud para realizar una función requerida, excluyendo la incapacidad durante el mantenimiento preventivo o por otras acciones planificadas, o debido a la falta de recursos externos.
- Vida útil: Intervalo de tiempo que comienza en un instante dado y termina en el instante en que se alcanza el estado límite.
- Ciclo de vida: Serie de estados por los que pasa un elemento desde su concepción hasta su eliminación.
- Disparo: Apertura automática de un disyuntor o interruptor por funcionamiento de los relés de protección para desconectar una parte del sistema (CONELEC, 2000).

1.3 Equipos y herramientas

Inicialmente el tipo de investigación es exploratoria y descriptiva para luego pasar a una etapa de investigación proyectiva. En función de esto, las técnicas de investigación usadas para recolectar datos y poder responder a las preguntas de investigación son: la entrevista semiestructurada, la técnica documental y la observación científica.

Los Procesos de CELEC EP – Unidad de Negocio Hidropaute a analizar son: Operación, Mantenimiento Eléctrico, Seguridad Industrial, Talento Humano, Ingeniería, Finanzas, Adquisiciones y Gestión Organizacional.

Los temas específicos a indagar a través de las técnicas de investigación son:

- Planificación del trabajo.
- Ingeniería de Mantenimiento.
- Organización y el personal.
- Compras y contratación.
- Control de costos.
- Eficiencia.

1.3.1 Entrevista semiestructurada. Es una forma de conversación (personalmente o a través de medios de comunicación modernos) con profesionales del mantenimiento, tanto al interior de la empresa como con expertos externos. Se abordarán temas generales sobre la gestión del mantenimiento de sistemas eléctricos, así como temas específicos sobre tareas en los elementos eléctricos. Para la ejecución de las entrevistas se plantearán varias preguntas, las mismas se indican a continuación.

Las fichas de entrevista a aplicarse a los profesionales que laboran actualmente en la CHPM se muestran en la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 1 Entrevista sobre "Planificación del trabajo"

MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE MOLINO														
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO														
Entrevista sobre: Planificación del trabajo														
Nombre del entrevistado:														
Fecha de entrevista:														
Según su criterio, por favor explique y valore su respuesta a las siguientes preguntas con un valor de 1 para el peor caso y hasta un máximo de 10 para el mejor caso.														
PREGUNTAS	Explicación de la respuesta	Palabra clave	VALORACIÓN											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
¿El flujo de la orden de trabajo es formal? Considerar la necesidad de la tarea, descripción, autorización, ejecución y fin														
¿La planificación y ejecución con otras especialidades se coordinan en reuniones oportunas, con todos los interesados?														
¿Para la ejecución de tareas se prevee la cantidad y calidad de materiales y repuestos necesarios, así como las herramientas?														
¿La estimación de los tiempos de duración de las tareas y fechas de entrega son formales y adecuadas al contexto de la organización?														
¿La recepción de trabajos terminados se realiza sistemáticamente y considerando la calidad, plazo y cantidad?														

Elaboración: Autor

Tabla 2 Entrevista sobre “Ingeniería de Mantenimiento”

MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE MOLINO														
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO														
Entrevista sobre: Ingeniería de Mantenimiento														
Nombre del entrevistado:														
Fecha de entrevista:														
Según su criterio, por favor explique y valore su respuesta a las siguientes preguntas con un valor de 1 para el peor caso y hasta un máximo de 10 para el mejor caso.														
PREGUNTAS	Explicación de la respuesta	Palabra clave	VALORACIÓN											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
¿Las tareas de inspecciones, mantenimiento correctivo y preventivo (predictivo) son apropiadas para cada elemento?														
¿Las adecuaciones, mejoras, cambios o modernizaciones se diseñan y ejecutan sistemáticamente y formalmente?														
¿El historial existe para todos los equipos, donde se detalle las características, modificaciones, averías y costos?														
¿Se realiza investigaciones sistemáticas a las averías para determinar causas y gestionar propuestas de mejora?														
¿La documentación técnica se usa con frecuencia, está actualizada, de calidad, completa y de rápida localización?														

Elaboración: Autor

Tabla 3 Entrevista sobre “Organización y el Personal”

MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE MOLINO														
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO														
Entrevista sobre: Organización y el Personal														
Nombre del entrevistado:														
Fecha de entrevista:														
Según su criterio, por favor explique y valore su respuesta a las siguientes preguntas con un valor de 1 para el peor caso y hasta un máximo de 10 para el mejor caso.														
PREGUNTAS	Explicación de la respuesta	Palabra clave	VALORACIÓN											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
¿El organigrama y la cantidad de personal facilita el logro de objetivos?														
¿Las directrices como la planificación, los indicadores, normas internas y gestión de intervenciones y mejoras son adecuadas?														
¿La selección, plan de formación, capacitación, experiencia y la competitividad del personal técnico es apropiada y eficaz?														
¿El personal de Mantenimiento Eléctrico está motivado?														
¿La comunicación interna y con otros procesos de la empresa es eficiente y oportuna?														

Elaboración: Autor

Tabla 4 Entrevista sobre “Compras y contratación”

MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE MOLINO														
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO														
Entrevista sobre: Compras y contratación														
Nombre del entrevistado:														
Fecha de entrevista:														
Según su criterio, por favor explique y valore su respuesta a las siguientes preguntas con un valor de 1 para el peor caso y hasta un máximo de 10 para el mejor caso.														
PREGUNTAS	Explicación de la respuesta	Palabra clave	VALORACIÓN											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
¿El flujo de compras es formal y eficiente? Considerando especificaciones, precios, selección proveedores y procesos internos														
¿La contratación de servicios es formal? Considerando especificaciones, alcance, calidad, contratistas y procesos internos														
¿Se controla con eficacia la calidad y cantidad en la recepción de bienes adquiridos?														
¿Se controla con eficacia la calidad, cantidad, seguridad y plazos de trabajos realizados por contratistas?														
¿El inventario, almacenamiento de materiales, equipos y repuestos es adecuado, limpio, ordenado y seguro?														

Elaboración: Autor

Tabla 5 Entrevista sobre “Control de costos”

MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE MOLINO														
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO														
Entrevista sobre: Control de costos														
Nombre del entrevistado:														
Fecha de entrevista:														
Según su criterio, por favor explique y valore su respuesta a las siguientes preguntas con un valor de 1 para el peor caso y hasta un máximo de 10 para el mejor caso.														
PREGUNTAS	Explicación de la respuesta	Palabra clave	VALORACIÓN											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
¿La preparación del presupuesto anual es formal y acorde a las necesidades técnico-administrativas?														
¿Contablemente los costos de adquisiciones, personal y contrataciones están separados por correctivos, preventivos y mejoras?														
¿Se utiliza con frecuencia la información de costos considerando su calidad y disponibilidad?														
¿La organización de la información de costos y los documentos es eficiente?														
¿Los indicadores económicos son manejados eficazmente?														

Elaboración: Autor

Tabla 6 Entrevista sobre “Eficiencia”

MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE MOLINO														
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO														
Entrevista sobre: Eficiencia														
Nombre del entrevistado:														
Fecha de entrevista:														
Según su criterio, por favor explique y valore su respuesta a las siguientes preguntas con un valor de 1 para el peor caso y hasta un máximo de 10 para el mejor caso.														
PREGUNTAS	Explicación de la respuesta	Palabra clave	VALORACIÓN											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
¿Se cumplen las metas y la calidad de los trabajos realizados es eficaz y eficiente?														
¿La duración de trabajos es eficiente considerando el rendimiento del personal?														
¿Se cumplen los plazos de entrega de los trabajos realizados por personal interno y/o contratado?														
¿Los costos de los trabajos realizados optimizan recursos?														
¿Las averías van disminuyendo y las instalaciones así como la seguridad van mejorando?														

Elaboración: Autor

1.3.2 Técnica documental. Es una manera de levantar información de fuentes bibliográficas, magnéticas o iconográficas tanto del interior de la organización como de fuentes externas. La información a levantar resultará de los siguientes documentos:

- Actas
- Cronograma de mantenimiento
- Órdenes de trabajo
- Bitácora de operación
- Reportes de equipo defectuoso (RED)
- Requerimientos de seguridad
- Registros de resultados de pruebas
- Registros de inspecciones
- Cartas de control
- Instructivos de mantenimiento
- Instructivos de seguridad
- Informes de mantenimiento y operación
- Fotografías
- Diapositivas
- Planos y especificaciones
- Vídeos
- Normas técnicas
- Páginas web
- Manuales técnicos de fabricantes
- Contratos de mantenimiento
- Certificados

El desarrollo de la investigación considerará información de los documentos antes indicados, así como de otras fuentes de información que en el transcurso de la investigación se considere necesario.

1.3.3 Observación científica. Es una manera no participativa para levantar información característica del plan de mantenimiento actual.

Se aplicará fichas de trabajo de campo para registrar detalles y acontecimientos significativos sobre el tema de investigación.

Capítulo 2

RESULTADOS

2.1 Evaluación al mantenimiento

La evaluación de la gestión de mantenimiento en la CHPM es un proceso que se conforma de dos etapas investigativas, en la primera se identifica el nivel de mantenimiento según un proceso sistemático basado en evidencias documentadas y por la técnica de observación; en la segunda etapa se identifica el nivel de mantenimiento apreciado por el personal que labora en la planta en base a la tabulación de los resultados en la entrevista realizada.

Para la apreciación del personal, los resultados cuantitativos de las valoraciones a cada pregunta se han determinado en base a la media aritmética considerando las respuestas de los 19 encuestados a quienes se les explicó la metodología de investigación.

Para el caso de la investigación en base a la técnica documental y observación científica, los resultados se exponen en tablas donde se hace referencia a las mismas preguntas aplicadas en la técnica de la entrevista.

Para exponer el resumen de los resultados de la investigación, tanto para la técnica de la entrevista como para la documental y observación, se ha estandarizado el criterio de la valoración cuantitativa según lo siguiente:

- $0 \leq$ valoración < 2 : Prácticamente no se cumple.
- $2 \leq$ valoración < 5 : Se cumple ocasionalmente.
- $5 =$ valoración: Se cumple medianamente.
- $5 <$ valoración ≤ 8 : Se cumple frecuentemente.
- $8 <$ valoración ≤ 10 : Se cumple satisfactoriamente.

En las siguientes páginas se exponen los resultados de la investigación con relación a la evaluación al Sistema de Mantenimiento aplicado a las 10 unidades de generación que actualmente se lleva adelante en la CHPM.

2.1.1 Evaluación sobre “Planificación del trabajo”. De acuerdo con la técnica documental y la de observación, a continuación se detallan las evidencias más importantes que ha determinado la investigación.

Los generadores paran para mantenimiento cada 2, 3, 6 meses y un año; en las intervenciones bimestral y trimestral, en los sistemas de agua de enfriamiento y regulador de velocidad (motores y tableros), los motores no están bajo condiciones contaminantes y cada vez que se desarmen los interruptores y contactores, éstos se encuentran limpios y en buenas condiciones, lo mismo ocurre en la parada 6M. En cambio, el sistema generador de señal de velocidad (SSG) en las unidades de generación de Fase AB necesitan revisión más periódica; pero, según los instructivos de mantenimiento, solo son revisados por completo una vez al año. Actualmente la CHPM no cuenta con un análisis de criticidad de sus activos. Se desarrollan las ordenes de trabajo según el diagrama de flujo de la Figura 1, se usa el software APIPRO.

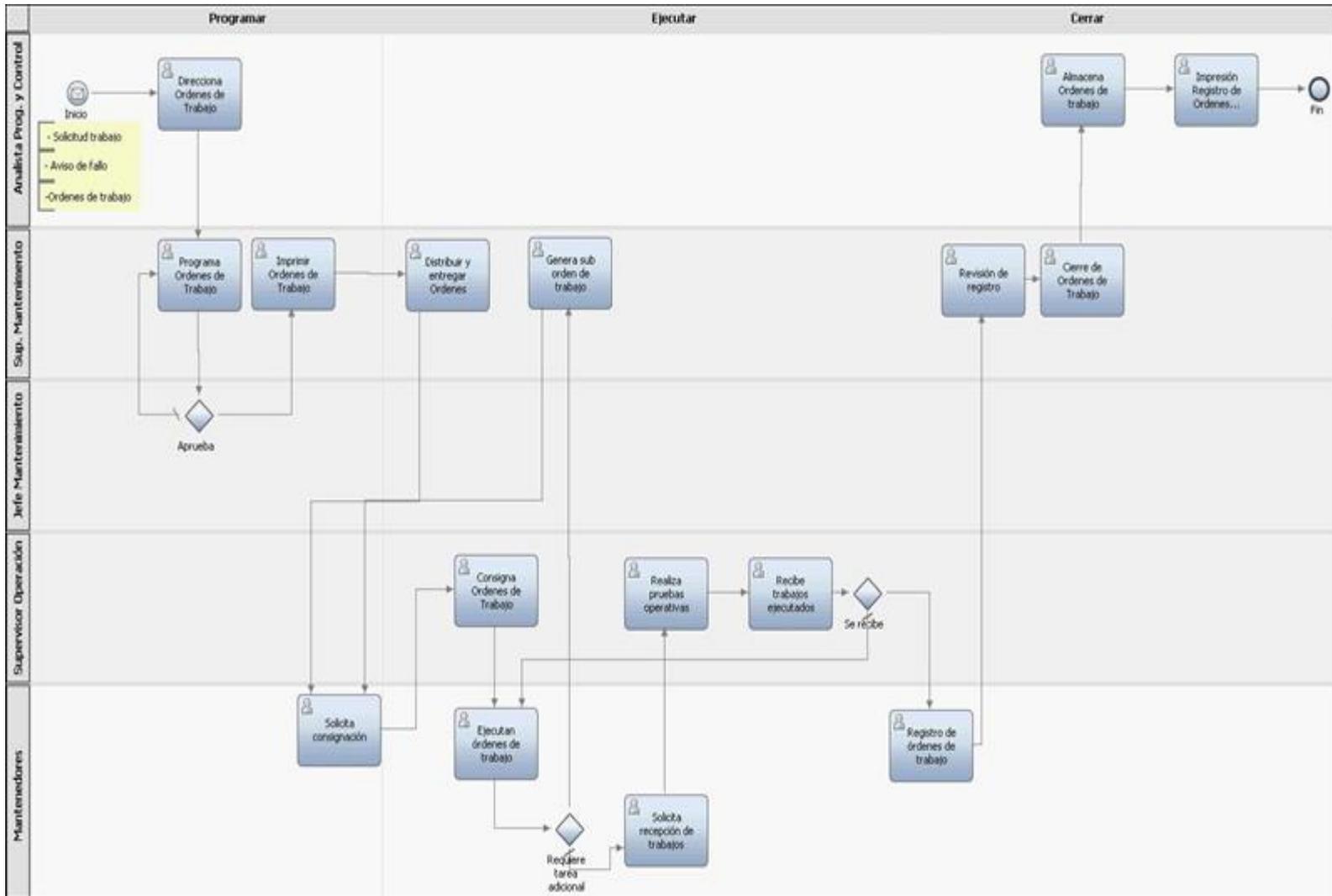


Figura 1 Flujo de la orden de trabajo (OT)

Fuente: (CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, 2015 mayo)

La descripción de las órdenes de trabajo se elabora en base a dos criterios:

- Descripción corta: Indica periodicidad (preventiva) y el sistema a intervenir.
- Descripción larga: Detalla las actividades a realizar.

Para el caso de actividades preventivas, las descripciones largas se complementan con la información existente en los instructivos técnicos para cada sistema.

Para el caso de actividades correctivas, la descripción larga es la única descripción de la tarea que sirve como guía para su ejecución, ver Figura 2 y Figura 3.

Orden de trabajo - Vista

Archivo Editar Navegar Opciones Ayuda

Principal Descripción Estado Costes

Número OT: 111390 → Relacionado a OT: Sitio: CMQ

Posición: U01-GE → GENERADOR

Objeto Mto.: U01-GE-ES → ESTATOR - ROTOR

Instrucción Trab.: Lista OM 1A, Estator - rotor

Clave contador: Intervalo: 1 Año

Interv. contador: 0.00 Intervalo fijo

Próx Valor Conta: 0.00 Fecha inicio: 12/12/2015 17:30

Fecha fina: 17/12/2015 09:00

Cód. Restricción: F Expansión H.H.E.P.: 200.00

Estado trabajo: DIR Direccionado por Programación y Control Equipo Parado Unidad parada

Figura 2 Descripción corta de orden de trabajo

Fuente: Software APIPRO

Orden de trabajo - Vista

Archivo Editar Navegar Opciones Ayuda

Principal Descripción Estado Costes

Número OT: 111390

Area: E → Lista OM

Modo de falla: → Lista OM

Acción correctiv: → Lista OM

Descripción

En el estator:

1. Limpieza general de los devanados y demás accesorios.
2. Inspección del aislamiento de los devanados (cabezas de bobina, coloración, estado y desplazamiento de cuñas de extremos, amarres, rellenos, contaminación).
3. Revisión del estado de los escudos superiores e inferiores.
4. Verificación de pares de apriete de los pernos de unión de los dados de presión del laminado del estator.
5. Ajuste de pernos, conexiones, terminales y puestas a tierra.

Figura 3 Descripción larga de orden de trabajo

Fuente: Software APIPRO

El proceso y el nivel de autorizaciones para la planificación, ejecución, recepción y cierre de las órdenes de trabajo se lleva adelante en base al uso del software APIPRO. Para esto se toma atención sobre el estado de orden de trabajo (OT) que en otras palabras es la condición en la que se encuentra la OT dentro del flujo normal, estos estados son:

- DIR: OT direccionada a un área de mantenimiento
- LST: OT aprobada
- TEC: OT impresa y lista para su ejecución
- EQC: Equipo consignado a mantenimiento
- FIN: OT recibida a conformidad
- HIS: OT cerrada y enviada al historial

Para el proceso de autorizaciones, especialmente cuando se trata de finalizar las OTs, el software APIPRO permite que cualquiera de los supervisores realice esta acción, sin importar si es el encargado de la ejecución de la tarea o es el encargado de recibir los sistemas luego del mantenimiento. Cuando ocurre esta circunstancia (voluntaria o no), esto inhabilita el control digital del área de Operación sobre la finalización de las órdenes de trabajo en las unidades de generación y su satisfacción sobre sus requerimientos. Ejemplo: OT N°105201.

La ejecución de las tareas de mantenimiento, tipo preventivas, se desarrollan en base a los instructivos técnicos definidos para las intervenciones en cada uno de los sistemas de las unidades de generación. El 100% de tareas preventivas tienen instructivos técnicos.

Para el caso de órdenes de trabajo correctivas, también registradas a través del APIPRO, los trabajos se desarrollan en base a la experiencia del personal bajo las directrices de los Supervisores de Mantenimiento. A la presente fecha solo existe de manera formal un instructivo para la ejecución de una tarea correctiva que es el "Instructivo para reposición de aceite en tanque conservador del transformador principal Fase C".

A pesar de la suficiente documentación sobre la organización del mantenimiento, en la práctica ocurren re-trabajos (volver a realizar el trabajo debido a una falla en el proceso) que ponen en riesgo la disponibilidad y confiabilidad de los elementos de las unidades de generación.

Un ejemplo de este tipo de inconvenientes es el siguiente:

- El 24 de abril de 2015 la unidad U05 paró para realizar el mantenimiento 2M, el cual se ejecutó sin contratiempos y no hubo reporte de tareas pendientes.
- El 15 de mayo de 2015 la unidad U05 tuvo que parar nuevamente debido a un ruido anormal en los anillos colectores. Se detectó que la tapa inferior del rodamiento del SSG (generador de señal de velocidad) estaba suelta, el rodamiento estaba averiado y el alojamiento del rodamiento deformado. Luego se realizaron los correctivos del caso; sin embargo, esto provocó una indisponibilidad de 5 horas de la máquina. Las órdenes de trabajo involucradas son: 113198, 114536, 114545.

Esto evidencia que es necesario revisar la calidad y cantidad de actividades a realizar durante una parada de máquina, afinar el entrenamiento del personal y asegurar que la supervisión de trabajos sea adecuada.

La finalización de órdenes de trabajo considera la descripción del registro de actividades cumplidas, el cierre de OT y el archivo de las mismas. Como ejemplo, la Tabla 7 detalla el historial de OT ejecutadas en los últimos 5 años en el estator de la unidad U01.

Tabla 7 Historial de OT en el estator-rotor del generador de la unidad U01

Fecha fin	N° OT	Nombre Orden Trabajo	Tipo	Responsable	Área
29/06/2015	106873	6M, Estator rotor	P	ERVILLA	E
28/12/2014	110347	Instalar sistema descargas parc.	O	EJALVAREZ	E
24/12/2014	102804	1A, Estator - rotor	P	EASEGOVIA	E
23/06/2014	090276	6M, Estator rotor	P	EDMENDEZ	E
09/01/2014	094394	1A, Estator - rotor	P	ERSANDOVAL	E
17/01/2013	086155	1A, Estator - rotor	P	EDMENDEZ	E
17/07/2012	082672	6M, estator rotor	P	ELPINOS	E
27/12/2011	078382	1A, Estator - rotor	P	ERVILLA	E

Fuente: Software APIPRO

Elaboración: Autor

A continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Planificación del trabajo” en base a las evidencias descritas acerca del flujo de la OT.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “2” para el mejor caso. Si no se cumple, corresponde una valoración de 0, si se cumple medianamente un 1 y si se cumple con satisfacción, será un 2. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos.

La ponderación es la misma para todos los aspectos evaluados, ver Tabla 8.

Tabla 8 Valoración “Planificación del trabajo – flujo OT” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis					Valoración total
Necesidad de tarea	Descripción	Autorización	Ejecución	Finalización	
1	2	1	1	1	6

Elaboración: Autor

La coordinación de actividades con otras áreas de trabajo, por ejemplo entre Mantenimiento Eléctrico y Operación, entre Mantenimiento Eléctrico y Mantenimiento Mecánico, o entre otras áreas se lleva delante de manera informal.

Para la planificación de los mantenimientos preventivos en las unidades de generación no se acostumbra realizar reuniones entre todos los interesados, tampoco se hacen reuniones luego de finalizar los trabajos. En caso de haber realizado alguna reunión, los acuerdos no se formalizan mediante actas o documentos semejantes para su registro y seguimiento.

A continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Planificación del trabajo” en base a las evidencias descritas acerca de la coordinación.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “5” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos.

La ponderación es la misma para todos los aspectos, ver Tabla 9 .

Tabla 9 Valoración “Planificación del trabajo – coordinación” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis		Valoración total
Planificación coordinada	Ejecución coordinada	
1	2	3

Elaboración: Autor

La reserva de materiales y repuestos, para el caso de actividades correspondientes a mantenimientos preventivos, se realiza a través del software APIPRO; sin embargo, no existe relación entre éste y el sistema de inventarios de la Bodega; por ejemplo, en el APIPRO se puede separar 5 escobillas electrográficas para su uso en una determinada OT; pero físicamente en Bodega podría solo haber 3 escobillas.

La reserva de materiales y repuestos, para el caso de actividades correctivas, tiene un margen de incertidumbre ya que inicialmente se desconoce la causa de los problemas, por lo que primero se reservan materiales y posibles repuestos asociados a los problemas y luego cuando ha finalizado la OT entonces se reportan todos los recursos utilizados.

Las dos figuras siguientes exponen un ejemplo de una OT preventiva en estado de ejecución “U02, 2M, anillos colectores”, pero no se ha reservado los materiales, repuestos, ni se ha previsto el uso de herramientas especiales.

Lo correcto era haber reservado materiales como wype, coldsolvent, tela pañal y escobillas, Figura 4.

Fecha	Clv	Mano	Obra
21/11/2015			
21/11/2015	EIORTIZ		
21/11/2015	ELPINOS		

Fecha Transac	Clave repuesto	Nombre
0.00	5.00	1
		20.60

Figura 4 OT 116636, U02, 2M, anillos colectores. No se reserva materiales ni repuestos

Fuente: Software APIPRO

Consecuencia de la falta de previsión y organización para la ejecución de la orden de trabajo señalada, el personal electricista reporta en el registro de la OT un mensaje de recomendación haciendo alusión a este tema. Ver Figura 5:

Tipo de nota: Nota de historia

Luis.pinos 28-02-2015
 INSPECCION
 Se inspecciono el lugar a intervenir
 ANILLOS ROZANTES

ACTIVIDAD
 Se aplica las 5 reglas de oro
 Se realizo la limpieza general interna de tablero de control
 equipos y accesorios de control
 Se realizo el ajuste de conexion en borneras |
 Se realizo la medicion de aislamiento electrico del rotor y
 soporte portaescobillas
 Se realizo la medicion y registro del tamaño de las escobillas

CONDICION
 Luego de dar el mantenimiento respectivo al anillos rozntes
 queda listo para operar

RECOMENDACION
 Disponer de todas las herramientas necesarias para un mejor
 mantenimiento

Figura 5 OT 116636, U02, 2M, anillos colectores. Recomendación sobre herramientas

Fuente: Software APIPRO

A continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la "Planificación del trabajo" en base a las evidencias descritas acerca de la reserva de recursos.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “3” para el mejor caso (4 para los repuestos). La valoración total debe llegar a ser de 10 puntos, ver Tabla 10.

Tabla 10 Valoración “Planificación del trabajo – reserva de recursos” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis			Valoración total
Reserva de materiales	Reserva de repuestos	Reserva de herramientas	
1	2	1	4

Elaboración: Autor

La estimación de tiempos para la ejecución de los trabajos, para el caso de los mantenimientos preventivos, considera solo las actividades de ejecución en campo propiamente dicha, así como el registro de datos en documentos físicos.

La estimación de la duración de las tareas considera:

- El tipo de sistema al cual se va a intervenir.
- Las actividades estándar a realizar.
- El tiempo histórico de duración de las OT similares.
- La competencia del personal que va a intervenir en el sistema.
- La cantidad de personal que va a intervenir.

A continuación se detalla el tiempo asignado para cada tipo de periodicidad de mantenimiento preventivo aplicado a las unidades de generación, ver Tabla 11.

Tabla 11 Duración de mantenimientos preventivos en unidades de generación

Unidad	Fecha inicio	Fecha fin	Duración (h)	Mantenimiento
U05	18/09/2015	18/09/2015	7	2M
U09	22/08/2015	22/08/2015	7	3M
U08	05/09/2015	07/09/2015	58	6M
U03	19/09/2015	24/09/2015	130	1A

Fuente: (CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, 2015 abril)

Elaboración: Autor

A continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Planificación del trabajo” en base a las evidencias descritas acerca de la estimación de tiempos.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “2” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos, ver Tabla 12.

Tabla 12 Valoración “Planificación del trabajo – estimación tiempo” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis					Valoración total
Tipo de sistema	Actividad estándar	Tiempo histórico	Competencia del personal	Cantidad del personal	
2	2	2	1	1	8

Elaboración: Autor

La recepción de trabajos finalizados, de acuerdo al diagrama de flujo de la OT establecido, en resumen debe desarrollarse considerando lo siguiente:

- Electricista finaliza la ejecución de la OT
- Supervisor Eléctrico revisa los trabajos realizados
- Supervisor Eléctrico aprueba los trabajos
- Electricista entrega el sistema a Operación
- Supervisor de Operación revisa los trabajos realizados según sus protocolos
- Supervisor de Operación aprueba y recibe los equipos.

En caso de no haber conformidad en alguna parte del proceso, se realizan las tareas necesarias para la satisfacción de los requerimientos solicitados.

A continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Planificación del trabajo” en base a las evidencias descritas acerca de la recepción de trabajos.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “5” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos, ver Tabla 13.

Tabla 13 Valoración “Planificación del trabajo – recepción de trabajos” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis		Valoración total
Calidad del trabajo	Plazo de entrega	
3	4	7

Elaboración: Autor

Las siguientes tablas resumen la investigación sobre la “Planificación del trabajo”, ver Tabla 14 y Tabla 15.

Tabla 14 Evaluación sobre “Planificación del trabajo” según la técnica documental y la observación

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿El flujo de la orden de trabajo es formal? Considerar la necesidad de la tarea, descripción, autorización, ejecución y fin	Se cumple frecuentemente	6
¿La planificación y ejecución con otras especialidades se coordinan en reuniones oportunas, con todos los interesados?	Se cumple ocasionalmente	3
¿Para la ejecución de tareas se prevé la cantidad y calidad de materiales y repuestos necesarios, así como las herramientas?	Se cumple ocasionalmente	4
¿La estimación de los tiempos de duración de las tareas y fechas de entrega es formal y adecuada al contexto de la organización?	Se cumple frecuentemente	8
¿La recepción de trabajos terminados se realiza sistemáticamente y considerando la calidad, plazo y cantidad?	Se cumple frecuentemente	7

Elaboración: Autor

Tabla 15 Evaluación sobre “Planificación del trabajo” según la apreciación del personal (entrevistas)

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿El flujo de la orden de trabajo es formal? Considerar la necesidad de la tarea, descripción, autorización, ejecución y fin	Se cumple frecuentemente	6
¿La planificación y ejecución con otras especialidades se coordinan en reuniones oportunas, con todos los interesados?	Se cumple ocasionalmente	2
¿Para la ejecución de tareas se prevé la cantidad y calidad de materiales y repuestos necesarios, así como las herramientas?	Se cumple frecuentemente	6
¿La estimación de los tiempos de duración de las tareas y fechas de entrega es formal y adecuada al contexto de la organización?	Se cumple frecuentemente	8
¿La recepción de trabajos terminados se realiza sistemáticamente y considerando la calidad, plazo y cantidad?	Se cumple frecuentemente	6

Elaboración: Autor

2.1.2 Evaluación sobre “Ingeniería de Mantenimiento”. De acuerdo con la técnica documental y la de observación, a continuación se detallan las evidencias más importantes que ha determinado la investigación.

El tipo de tareas que se realizan a cada elemento se basan en una filosofía preventiva.

Sin embargo, es necesario revisar el contenido de las actividades a realizarse en las OTs para asegurarse que todos los sistemas, sus partes y piezas, sean atendidos según sus condiciones actuales.

Para el caso de tareas preventivas, basadas en condición tipo predictivas, se han establecido sin considerar un proceso sistemático donde se analice la parte y el todo, sin formalizar las fases de implementación ni el costo-beneficio. Lo que se tiene en este sentido son actividades puntuales en ciertos sistemas y a pesar de los resultados del monitoreo, las tareas de mantenimiento siguen siendo periódicas. Ver Tabla 16:

Tabla 16 Técnicas predictivas aplicadas en las unidades de generación

Sistema Técnica	Generador	Transformador	Excitación	Turbina
Termografía	X	X	X	
Descargas Parciales	X			
Vibraciones	X			X
AGD		X		
Contenido H ₂ O		X		

Elaboración: Autor

Hasta el momento no se ha establecido formalmente una metodología que asocie los resultados de cada técnica predictiva para generar un análisis holístico sobre los elementos. Los resultados de cada análisis dependen mucho del criterio particular de quien los analiza.

Por otro lado, las tareas correctivas que se desarrollan eventualmente en los elementos, se las ejecuta una vez que ha ocurrido la falla y se ha evidenciado la avería. En la CHPM se hace el esfuerzo para que, luego de las correcciones, los elementos reparados queden en un estado en que puedan realizar su función requerida.

Sin embargo, no se ha realizado un análisis integral en donde se detalle las formas o modos en los que pueden fallar los elementos, con la finalidad de poder realizar acciones sistemáticas tendientes a evitar las fallas, los incidentes o accidentes y las pérdidas.

A continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Ingeniería de Mantenimiento” en base a las evidencias descritas acerca del tipo de tareas.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “3” para el mejor caso (4 para los preventivos). La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a 10 puntos, Tabla 17.

Tabla 17 Valoración “Ingeniería de Mantenimiento – tipo de tareas” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis			Valoración total
Tareas correctivas	Tareas preventivas	Tareas preventivas predictivas	
2	3	1	6

Elaboración: Autor

El desarrollo de adecuaciones, mejoras o modernizaciones opera de manera diversa. Las adecuaciones o cambios menores no se los ejecuta coordinadamente entre las áreas de trabajo, no se consideran los requerimientos de todos los interesados, generando confusión, pérdida de tiempo e instalaciones no estandarizadas. Un ejemplo de ello es la instalación de medidores de procesos y manómetros para el sistema de alta presión; la Figura 6 expone el reporte de la OT 115644 para la unidad U1.

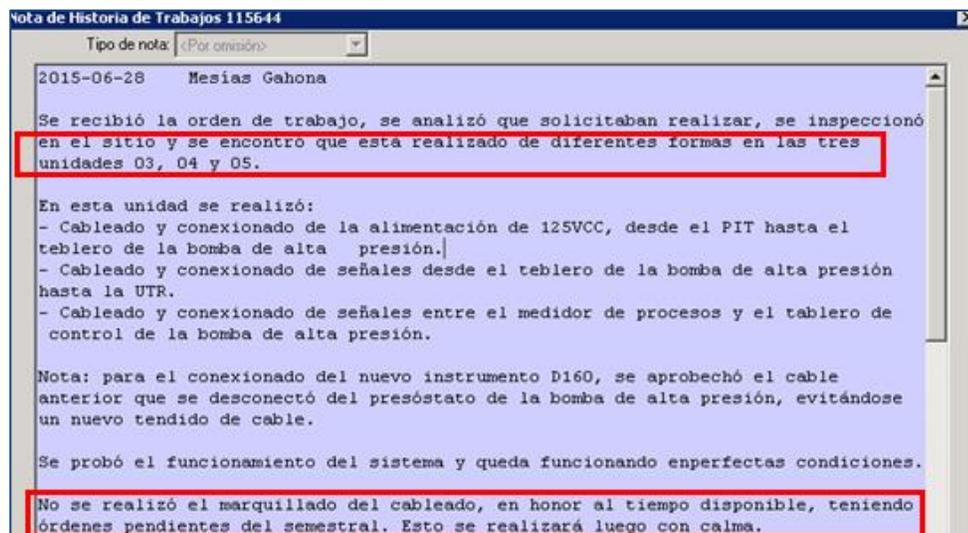


Figura 6 OT 115644, U01, medidor de procesos. Reporte con observaciones

Fuente: Software APIPRO

Para el caso de modernizaciones, el proceso es formal a tal nivel que cada proyecto se lo desarrolla con lineamientos a través de la Oficina de Administración de Proyectos de la empresa, el ejemplo más reciente es el proyecto de “Modernización de los Reguladores de Velocidad y Tensión para las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Paute Molino”.

A continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Ingeniería de Mantenimiento” en base a las evidencias descritas acerca trabajos no rutinarios.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “5” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos, Tabla 18.

Tabla 18 Valoración “Ingeniería de Mantenimiento – adecuaciones” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis		Valoración total
Adecuaciones	Modernizaciones	
2	5	7

Elaboración: Autor

El historial u “hoja de vida” existe para todos los sistemas eléctricos de las unidades de generación, la información se encuentra en la base de datos ApiData “Q” de la empresa así como en el software APIPRO, donde se detallan las características de los equipos, modificaciones y averías; sin embargo, no se manejan los costos asociados a los sistemas. Pero se ha detectado que el ingreso de información no es estándar, depende del criterio del personal que llena dicho formato.

A continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Ingeniería de Mantenimiento” en base a las evidencias descritas acerca del historial.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “3” para el mejor caso (4 para las modificaciones). La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a 10 puntos, Tabla 19.

Tabla 19 Valoración “Ingeniería de Mantenimiento – historial” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis			Valoración total
Características	Modificaciones y averías	Costos	
3	4	0	7

Elaboración: Autor

Cuando ocurren fallas y averías que afectan a los elementos de las unidades de generación, la organización procede a realizar la investigación de manera formal a través del uso del Instructivo para el análisis de causa raíz (ACR) desarrollado por el personal de la empresa (CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, 2015 mayo).

Las fallas se resuelven con el personal de Mantenimiento y Operación, a más del personal de Ingeniería, encargada propiamente del ACR; sin embargo en ocasiones este estudio tarda en entregarse.

En tal virtud, se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Ingeniería de Mantenimiento” en base a las evidencias descritas acerca del análisis de averías.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “5” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos, Tabla 20.

Tabla 20 Valoración “Ingeniería de Mantenimiento – ACR” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis		Valoración total
Planificación ACR	Ejecución ACR	
4	3	7

Elaboración: Autor

Con relación a la documentación técnica, la mayor parte es física y otra digital, la búsqueda es lenta debido a que la organización debe mejorar, hay cambios en los sistemas que no están registrados en los planos.

Según esto, se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Ingeniería de Mantenimiento” en base a las evidencias descritas acerca de la documentación técnica.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “2” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos, Tabla 21.

Tabla 21 Valoración “Ingeniería de Mantenimiento – documentación” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis					Valoración total
Frecuencia de uso	Actualizada	Calidad	Completa	Localización	
1	1	2	1	1	6

Elaboración: Autor

Las siguientes tablas resumen la investigación sobre “Ingeniería de Mantenimiento”, Tabla 22 y Tabla 23.

Tabla 22 Evaluación sobre “Ingeniería de Mantenimiento” según la técnica documental y la observación

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿Las tareas de inspecciones, mantenimiento correctivo y preventivo (predictivo) son apropiadas para cada elemento?	Se cumple frecuentemente	6
¿Las adecuaciones, mejoras, cambios o modernizaciones se diseñan y ejecutan sistemáticamente y formalmente?	Se cumple frecuentemente	7
¿El historial existe para todos los equipos, donde se detalle las características, modificaciones, averías y costos?	Se cumple frecuentemente	7
¿Se realiza investigaciones sistemáticas a las averías para determinar causas y gestionar propuestas de mejora?	Se cumple frecuentemente	7
¿La documentación técnica se usa con frecuencia, está actualizada, de calidad, completa y de rápida localización?	Se cumple frecuentemente	6

Elaboración: Autor

Tabla 23 Evaluación sobre “Ingeniería de Mantenimiento” según la apreciación del personal (entrevistas)

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿Las tareas de inspecciones, mantenimiento correctivo y preventivo (predictivo) son apropiadas para cada elemento?	Se cumple frecuentemente	6
¿Las adecuaciones, mejoras, cambios o modernizaciones se diseñan y ejecutan sistemáticamente y formalmente?	Se cumple medianamente	5
¿El historial existe para todos los equipos, donde se detalle las características, modificaciones, averías y costos?	Se cumple frecuentemente	6
¿Se realiza investigaciones sistemáticas a las averías para determinar causas y gestionar propuestas de mejora?	Se cumple frecuentemente	7
¿La documentación técnica se usa con frecuencia, está actualizada, de calidad, completa y de rápida localización?	Se cumple medianamente	5

Elaboración: Autor

2.1.3 Evaluación sobre “Organización y el Personal”. Según la técnica documental

y la de observación, se detallan las evidencias más importantes sobre este tema.

El organigrama es propuesto por la empresa en base a las necesidades de la planta y es aprobado de manera formal a través de autorizaciones a nivel de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP Matriz. Para el caso de la cantidad de personal, según las horas hombre disponibles y las usadas, se identifica que es adecuado como lo indica el informe de septiembre 2015 de Mantenimiento Eléctrico (CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, 2015 Septiembre), ver Figura 7 y Figura 8.

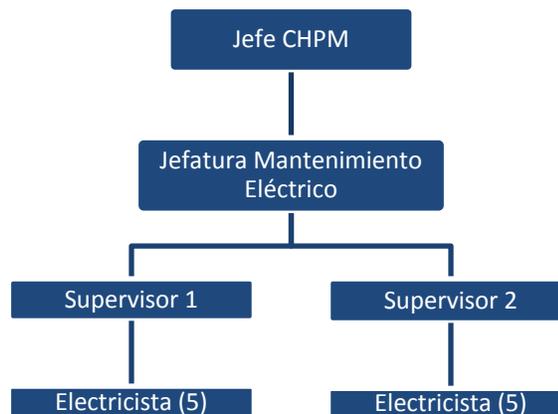


Figura 7 Organigrama de Mantenimiento Eléctrico (2015)

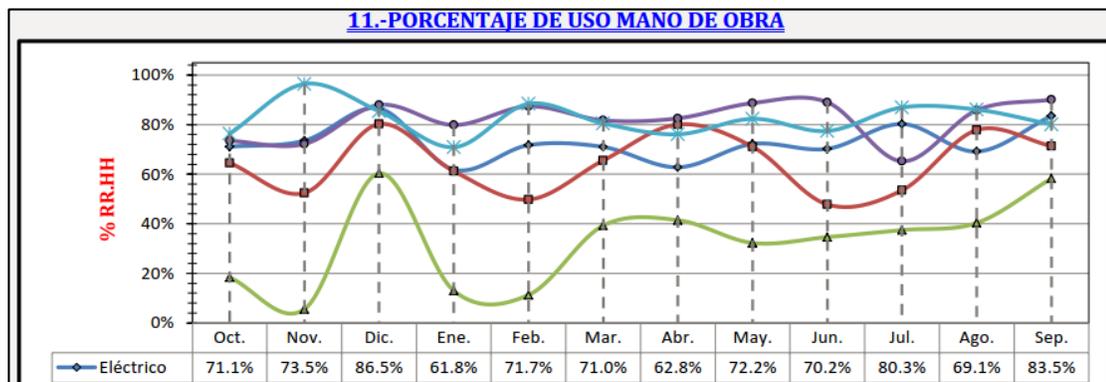


Figura 8 Porcentaje de uso de mano de obra (Mantenimiento Eléctrico)

Fuente: (CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, 2015 Septiembre)

Según esto, se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Organización y el personal” en base a las evidencias descritas del organigrama.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “5” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos, Tabla 24.

Tabla 24 Valoración “Organización y el personal – organigrama” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis		Valoración total
Organigrama	Cantidad de personal	
5	4	9

Elaboración: Autor

Las directrices sobre la planificación, indicadores, normas internas y demás están alineadas directamente a la gestión estratégica de la empresa, ver Tabla 25:

Tabla 25 Directrices de CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute y Mantenimiento Eléctrico

Objetivo Estratégico de CELEC Hidropaute	Incrementar la disponibilidad y confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional bajo estándares de calidad, eficiencia, eficacia y responsabilidad social
Propósito del Proceso de Mantenimiento	Realizar las actividades necesarias para asegurar la funcionalidad de los equipos e infraestructura para la generación de energía eléctrica, orientadas a cumplir y mejorar las metas de disponibilidad y confiabilidad
Indicadores de Mantenimiento	Disponibilidad, Confiabilidad, Indisponibilidad no Programada
Indicadores de Mantenimiento Eléctrico	Porcentaje de uso de mano de obra Porcentaje de uso de mano de obra: mantenimiento preventivo, correctivo, adecuaciones.

Elaboración: Autor

Fuente: <http://intranethpa.celec.gob.ec/procesos/headers/view/48>

Por lo tanto, a continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre la “Organización y el personal” en base a las evidencias descritas de las directrices.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “5” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos, Tabla 26.

Tabla 26 Valoración “Organización y el personal – organigrama” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis		Valoración total
Objetivos	Indicadores	
5	4	9

Elaboración: Autor

Para la selección del personal, la empresa cumple con las normativas legales externas e internas del sector público laboral; sin embargo para el caso de la formación y la capacitación, en la práctica no se demuestra su desarrollo en base a un proceso sistemático, a pesar de que

la herramienta COMPERS (software) tiene basta información documentada sobre el tema, ver Tabla 27.

Tabla 27 Valoración “Organización y el personal – selección” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis					Valoración total
Selección	Capacitación	Formación	Experiencia	Competitividad	
2	1	0	2	1	6

Elaboración: Autor

Sobre la motivación del personal, en base a entrevistas no estructuradas se ha determinado la siguiente calificación.

A continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor. Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “2” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos, Tabla 28.

Tabla 28 Valoración “Organización y el personal – motivación” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis					Valoración total
Autoestima	Estima	Sociales	Seguridad	Fisiológicas	
Independencia, oportunidad, competencia	Reconocimiento, responsabilidad, prestigio	Compañerismo, aceptación, trabajo equipo	Seguridad, estabilidad	Alimentación, confort	
1	0	1	1	1	4

Elaboración: Autor

Para el caso de la comunicación entre áreas y al interior de Mantenimiento Eléctrico, existen deficiencias sobre la eficacia de las herramientas comunicativas y su seguimiento. A continuación se indica la valoración cuantitativa asignada por el autor. Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “3” para el mejor caso (4 para la comunicación operacional). La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a 10 puntos, Tabla 29.

Tabla 29 Valoración “Organización y el personal – comunicación” según observación

Aspectos bajo análisis			Valoración total
Operacionales	Reglamentarios	Herramientas	
2	1	2	5

Elaboración: Autor

Las siguientes tablas resumen la investigación sobre “Organización y el personal”, Tabla 30 y Tabla 31

Tabla 30 Evaluación sobre “Organización y el personal” según la técnica documental y la observación

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿El organigrama y la cantidad de personal facilitan el logro de objetivos?	Se cumple satisfactoriamente	9
¿Las directrices como la planificación, los indicadores, normas internas y gestión de intervenciones y mejoras son adecuadas?	Se cumple satisfactoriamente	9
¿La selección, plan de formación, capacitación, experiencia y la competitividad del personal técnico es apropiada y eficaz?	Se cumple frecuentemente	6
¿El personal de Mantenimiento Eléctrico está motivado?	Se cumple ocasionalmente	4
¿La comunicación interna y con otros procesos de la empresa es eficiente y oportuna?	Se cumple medianamente	5

Elaboración: Autor

Tabla 31 Evaluación sobre “Organización y el personal” según la apreciación del personal (entrevistas)

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿El organigrama y la cantidad de personal facilitan el logro de objetivos?	Se cumple frecuentemente	7
¿Las directrices como la planificación, los indicadores, normas internas y gestión de intervenciones y mejoras son adecuadas?	Se cumple frecuentemente	6
¿La selección, plan de formación, capacitación, experiencia y la competitividad del personal técnico es apropiada y eficaz?	Se cumple frecuentemente	5
¿El personal de Mantenimiento Eléctrico está motivado?	Se cumple ocasionalmente	2
¿La comunicación interna y con otros procesos de la empresa es eficiente y oportuna?	Se cumple frecuentemente	6

Elaboración: Autor

2.1.4 Evaluación sobre “Compras y contratación”. Sobre la formalidad del flujo de compras se ha detectado que la etapa previa de contratación no se basa en un análisis de criticidad sistemático que defina las prioridades de la necesidad sino a través de lluvia de ideas, la etapa de preparación de documentos está direccionada a través de fichas técnicas (internas) y elaboración de pliegos según el Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP); pero actualmente el personal técnico está encargado de elaborar no solo las especificaciones técnicas sino otros documentos burocráticos, la selección de proveedores depende de las condiciones de los pliegos, de preferencia la contratación tiende a definirse con las propuestas más económicas,

Se indica la valoración cuantitativa asignada por el autor. Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “2” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos, Tabla 32.

Tabla 32 Valoración “Compras y contratación – flujo de compras” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis					Valoración total
Necesidad	Preparación	Precios	Proveedores	Eficiencia	
1	1	1	1	1	5

Elaboración: Autor

La contratación de servicios es un proceso semejante al anterior, donde los términos de referencia dependen de la elaboración de la ficha técnica; es decir, depende del autor de dicha actividad.

Al igual que el caso anterior, en la Tabla 33 se muestra la valoración cuantitativa asignada por el autor. Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “2” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos.

Tabla 33 Valoración “Compras y contratación – servicios” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis					Valoración total
Necesidad	Preparación	Precios	Proveedores	Eficiencia	
1	1	1	2	1	6

Elaboración: Autor

La administración de contratos y por lo tanto el control sobre la calidad y cantidad de bienes adquiridos está normada bajo un procedimiento interno (CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, 2015 Octubre), a la vez se rige bajo las directrices del SERCOP y las leyes ecuatorianas correspondientes a la administración de contratos. Por ello, la calidad y cantidad sobre los bienes y servicios se la hace cumplir en base a los documentos contractuales.

A continuación se expone la valoración cuantitativa asignada por el autor sobre “Compras y contratación” en base a las evidencias descritas de la administración.

Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “5” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos, Tabla 34.

Tabla 34 Valoración “Compras y contratación – administración bienes” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis		Valoración total
Calidad	Cantidad	
4	4	8

Elaboración: Autor

La administración de la contratación de servicios es un proceso semejante al anterior, donde los términos de referencia son la base para la calidad de los servicios.

Al igual que el caso anterior, en la Tabla 35 se muestra la valoración cuantitativa asignada por el autor. Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “2” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos.

Tabla 35 Valoración “Compras y contratación – administración servicio” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis					Valoración total
Calidad	Cantidad	Seguridad	Plazos	Pagos	
2	2	1	2	1	8

Elaboración: Autor

Para el caso de bienes, la recepción, almacenamiento, orden, elaboración y el control de inventario es manejado a través de un proceso burocrático existiendo oportunidades de mejora en cuanto al orden, resguardo y la reserva de estos recursos. En la Tabla 36 se cuantifican los aspectos por el autor. Cada aspecto se ha valorado con “0” para el peor caso y con “2” para el mejor caso. La valoración total en el mejor de los casos debe llegar a ser de 10 puntos.

Tabla 36 Valoración “Compras y contratación – inventario” según documentación y observación

Aspectos bajo análisis					Valoración total
Inventario	Orden	Seguridad	Reserva	Despacho	
1	1	1	0	2	5

Elaboración: Autor

La Tabla 37 y Tabla 38 resumen la investigación sobre “Compras y contratación”.

Tabla 37 Evaluación sobre “Compras y contratación” según la técnica documental y la observación

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿El flujo de compras es formal y eficiente? Considerando especificaciones, precios, selección proveedores y procesos internos	Se cumple medianamente	5
¿La contratación de servicios es formal? Considerando especificaciones, alcance, calidad, contratistas y procesos internos	Se cumple frecuentemente	6
¿Se controla con eficacia la calidad y cantidad en la recepción de bienes adquiridos?	Se cumple frecuentemente	8
¿Se controla con eficacia la calidad, cantidad, seguridad y plazos de trabajos realizados por contratistas?	Se cumple frecuentemente	8
¿El inventario, almacenamiento de materiales, equipos y repuestos es adecuado, limpio, ordenado y seguro?	Se cumple medianamente	5

Elaboración: Autor

Tabla 38 Evaluación sobre “Compras y contratación” según la apreciación del personal (entrevistas)

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿El flujo de compras es formal y eficiente? Considerando especificaciones, precios, selección proveedores y procesos internos	Se cumple ocasionalmente	4
¿La contratación de servicios es formal? Considerando especificaciones, alcance, calidad, contratistas y procesos internos	Se cumple frecuentemente	8
¿Se controla con eficacia la calidad y cantidad en la recepción de bienes adquiridos?	Se cumple frecuentemente	7
¿Se controla con eficacia la calidad, cantidad, seguridad y plazos de trabajos realizados por contratistas?	Se cumple satisfactoriamente	9
¿El inventario, almacenamiento de materiales, equipos y repuestos es adecuado, limpio, ordenado y seguro?	Se cumple ocasionalmente	4

Elaboración: Autor

2.1.5 Evaluación sobre “Control de costos”. Acerca del manejo de costos al interior de Mantenimiento Eléctrico, se detecta que no existe un control sobre el mismo, no se realizan mediciones, no se manejan indicadores y por lo tanto no se sabe si se mejora o no.

El presupuesto anual se realiza parcialmente considerando los repuestos o servicios a contratar en el siguiente año; sin embargo, no se manejan los costos operativos como mano de obra o los costos asociados a mantenimientos preventivos rutinarios; para este caso, el Departamento Financiero de la empresa maneja una cuenta global para todas las áreas.

Por otra parte, el software APIPRO es una herramienta muy versátil que puede entregar información detallada y filtrada sobre las tareas de mantenimiento, por ejemplo puede entregar:

- Los costos de todos los preventivos en las unidades de generación en un período.
- Los costos de mano de obra usada en las unidades de generación en un período.
- Los costos de repuestos usados en las unidades de generación en un período.
- Los costos de materiales usados en las unidades de generación en un período.

Sin embargo existen dos problemas:

- La base de datos del costo de horas hombre en el APIPRO es del año 2008.
- La base de datos del costo de materiales y repuestos en el APIPRO son del 2005.

En la Figura 9 se expone un reporte de costos desde el software APIPRO, tomado en base al reporte de las órdenes de trabajo de Mantenimiento Eléctrico ejecutadas durante el mantenimiento bimestral de la unidad de generación U01 del 03 de octubre de 2015.

Informe transac. financiera - Mano de Obra			
Informe de transacción financiera - Informe transac. financiera - Mano de Obra			Página: 1
Valores en	USD	Punto de vista de la OT	26/11/2015 19:27
Sitios incluidos CAM, CCG, CMQ, DRG, PAT, PRY, PSA, TLB			

El filtro usado es: Desde propósito de costo: P a propósito de costo:			
PA, Desde: 01/09/2015 A: 26/11/2015, Desde objeto de			
mantenimiento: U01 a objeto de mantenimiento: U02, Estructura arbol Mano de Obra: E			
Incluido: Horas usadas			
Clv Mano Obra	Nombre Mano de O	Cantidad	Valor

ECMOROCHO	Carlos Morocho	7.00	40.60
EFREA	Rea Ortiz Fredy Romeo	6.50	26.78
EMGAHONA	Gahona Parra Mesias Oswaldo	7.00	40.60
ERVILLA	Villa Carrasco Carlos Ramiro	8.50	35.02
		=====	=====
Cantidad total para toda Mano Obra en intervalo :		29.00	143.00

Figura 9 Reporte de costos mano de obra, 2M-U01

Fuente: Software APIPRO

La Tabla 39 y Tabla 40, resumen la investigación sobre “Costos”.

Tabla 39 Evaluación sobre “Control de costos” según la técnica documental y la observación

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿La preparación del presupuesto anual es formal y acorde a las necesidades técnico-administrativas?	Se cumple frecuentemente	7
¿Contablemente los costos de adquisiciones, personal y contrataciones están separados por correctivos, preventivos y mejoras?	Prácticamente no se cumple	1
¿Se utiliza con frecuencia la información de costos considerando su calidad y disponibilidad?	Prácticamente no se cumple	1
¿La organización de la información de costos y los documentos es eficiente?	Prácticamente no se cumple	1
¿Los indicadores económicos son manejados eficazmente?	Prácticamente no se cumple	1

Elaboración: Autor

Tabla 40 Evaluación sobre “Control de costos” según la apreciación del personal (entrevistas)

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿La preparación del presupuesto anual es formal y acorde a las necesidades técnico-administrativas?	Se cumple frecuentemente	6
¿Contablemente los costos de adquisiciones, personal y contrataciones están separados por correctivos, preventivos y mejoras?	Prácticamente no se cumple	1
¿Se utiliza con frecuencia la información de costos considerando su calidad y disponibilidad?	Se cumple ocasionalmente	3
¿La organización de la información de costos y los documentos es eficiente?	Se cumple ocasionalmente	3
¿Los indicadores económicos son manejados eficazmente?	Prácticamente no se cumple	1

Elaboración: Autor

2.1.6 Evaluación sobre “Eficiencia”. Acerca de la eficiencia de los trabajos, se ha identificado que Mantenimiento Eléctrico así como toda la organización realizan sus esfuerzos para cumplir las metas declaradas a nivel del Gobierno por Resultados (GPR). En la Figura 10 y Figura 11 se exponen los resultados más importantes del Producción de 2014.

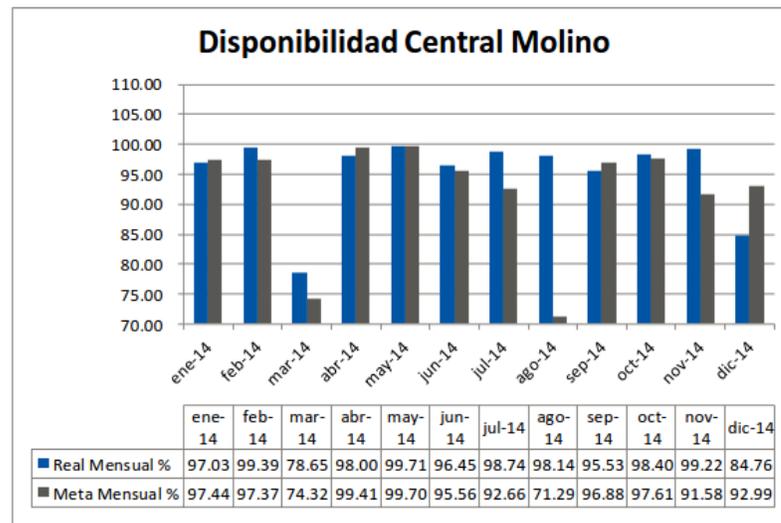


Figura 10 Cumplimiento de Disponibilidad 2014

Fuente: (CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, 2015)

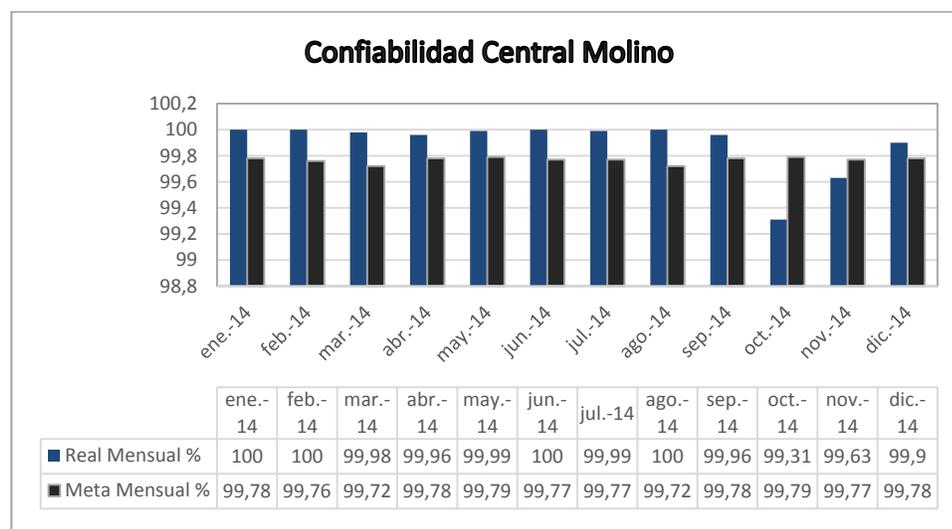


Figura 11 Cumplimiento de Confiabilidad 2014

Fuente: (CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, 2015)

Con relación a la duración de los mantenimientos preventivos planificados, todo el equipo de trabajo cumple con la entrega de las máquinas al CENACE antes del tiempo límite de entrega, esto incluye al personal de empresas contratistas.

Es necesario aclarar que los tiempos de indisponibilidad planificada de las unidades de generación debido a mantenimientos preventivos corresponden a un escenario en donde el personal de ejecución labora como máximo 12 horas diarias durante cada parada; es decir que quedan 12 horas libres que no se aprovechan para realizar tareas de mantenimiento.

No es posible exigir que el personal de la organización labore más de 12 horas diarias, primero por el esfuerzo laboral, luego porque reglamentariamente no es permitido y tercero porque no existe el suficiente personal técnico para afrontar las 24 horas del día laborando.

Con relación a la gestión de costos, según los resultados obtenidos durante el ejercicio laboral, a la presente fecha no es una prioridad.

Lo más importante es realizar las actividades de mantenimiento, posibilitar que la confiabilidad de los elementos se conserven y tratar de que la disponibilidad de las unidades de generación sea la más alta posible, con la premisa de utilizar solo los recursos necesarios (costos), pero los mismos no son controlados formalmente.

Debido a que la CHPM inició su operación en el año 1983, a la presente fecha existen elementos eléctricos e instalaciones que han sido usadas por más de 30 años, lo cual, evidentemente ha provocado una disminución de su confiabilidad y su vida útil está llegando a su etapa final. Ver Tabla 41 y Tabla 42.

Tabla 41 Disparos de Unidades de generación por año

Año	Disparos	Horas indisponibilidad
2010	7	47,77
2011	2	194,2
2012	7	7,51
2013	4	2,85
2014	6	50,87

Elaboración: Autor

Tabla 42 Salidas Forzadas de Unidades de generación por año

Año	Salida Forzada	Horas indisponibilidad	Tasa FOR (%)
2010	18	510	1,05
2011	19	59,21	5,26
2012	9	92,11	0,13
2013	14	114,2	0,18
2014	8	42,6	0,32

Elaboración: Autor

Estos datos fueron tomados de los informes anuales de Operación 2010-2014.

La Tabla 43 y Tabla 44 resumen la investigación sobre “Eficiencia”.

Tabla 43 Evaluación sobre “Eficiencia” según la técnica documental y la observación

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿Se cumplen las metas y la calidad de los trabajos realizados es eficaz y eficiente?	Se cumple satisfactoriamente	9
¿La duración de trabajos es eficiente considerando el rendimiento del personal?	Se cumple frecuentemente	7
¿Se cumplen los plazos de entrega de los trabajos realizados por personal interno y/o contratado?	Se cumple frecuentemente	8
¿Los costos de los trabajos realizados optimizan recursos?	Se cumple frecuentemente	7
¿Las averías van disminuyendo y las instalaciones así como la seguridad van mejorando?	Se cumple frecuentemente	6

Elaboración: Autor

Tabla 44 Evaluación sobre “Eficiencia” según la apreciación del personal (entrevistas)

Preguntas	Cumplimiento	Valoración
¿Se cumplen las metas y la calidad de los trabajos realizados es eficaz y eficiente?	Se cumple satisfactoriamente	9
¿La duración de trabajos es eficiente considerando el rendimiento del personal?	Se cumple frecuentemente	8
¿Se cumplen los plazos de entrega de los trabajos realizados por personal interno y/o contratado?	Se cumple satisfactoriamente	9
¿Los costos de los trabajos realizados optimizan recursos?	Se cumple frecuentemente	8
¿Las averías van disminuyendo y las instalaciones así como la seguridad van mejorando?	Se cumple medianamente	4

Elaboración: Autor

Capítulo 3

DISCUSIÓN

3.1 Patrones y tendencias detectadas

Con la finalidad de complementar el levantamiento de información y a la vez iniciar con el estudio de datos, a continuación se presentará un análisis estadístico sobre el comportamiento de los elementos eléctricos en las unidades de generación considerando los mantenimientos correctivos ocurridos en los últimos 10 años, en base a los reportes de órdenes de trabajo en el APIPRO. Cabe señalar que en el año 2004 se inició la instalación y uso del software APIPRO, estando en período de entrenamiento y prueba hasta 2005. Es por ello que los datos a exponerse fueron tomados desde enero 2006 hasta noviembre 2015, siendo un período de análisis de 10 años.

La CHPM tiene 10 unidades de generación; sin embargo, para el desarrollo de la presente investigación, se ha tomado una muestra de dichas unidades, estadísticamente se recomienda tomar el 30% de los datos del total del universo de datos, es por ello que se han tomado datos (cantidad de tareas correctivas, tipo de sistemas, año de ejecución) de tres unidades de generación. Para seleccionar las unidades de muestra se aplicaron números aleatorios, cuya aplicación se expone a continuación, Tabla 45. Esto libera al autor de cualquier duda acerca de prejuicios o preferencias sobre la toma de decisión para analizar A o B unidades de generación.

Tabla 45 Unidades de generación a ser estudiadas

MUESTRA ALEATORIA DE UNIDADES DE GENERACIÓN		
Unidad	Números aleatorios	Función aleatorio fijo
U03	0,568972979	0,011010999
U02	0,974706746	0,030650859
U07	0,993578435	0,161318969
U08	0,892383753	0,25403037
U01	0,584128482	0,349670747
U09	0,516671138	0,359291752
U04	0,06053894	0,412058308
U06	0,878152923	0,414541987
U10	0,671883096	0,921502311
U05	0,303495076	0,964223512

Elaboración: Autor

En la Figura 12 se muestran los trabajos correctivos reportados en el APIPRO en las unidades de generación U02, U03 y U07 en el período comprendido entre enero de 2006 y noviembre de 2015.

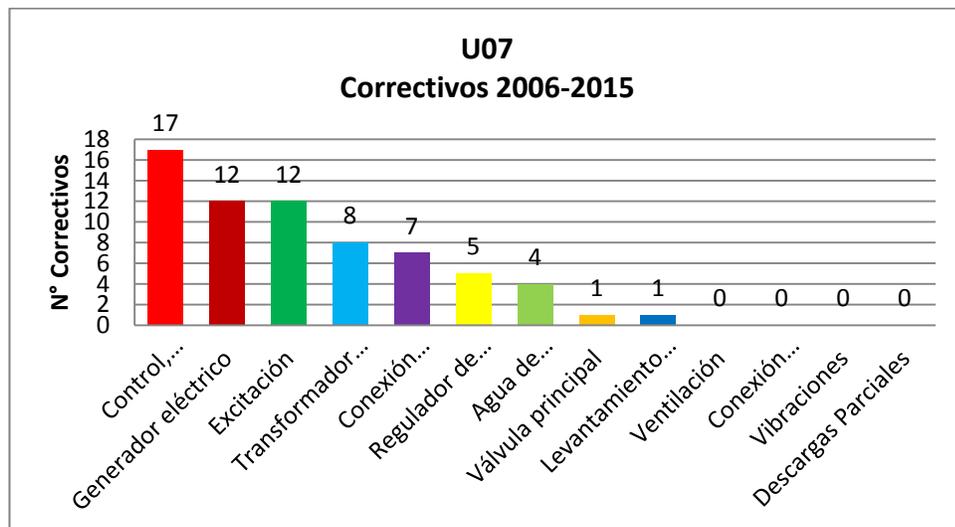
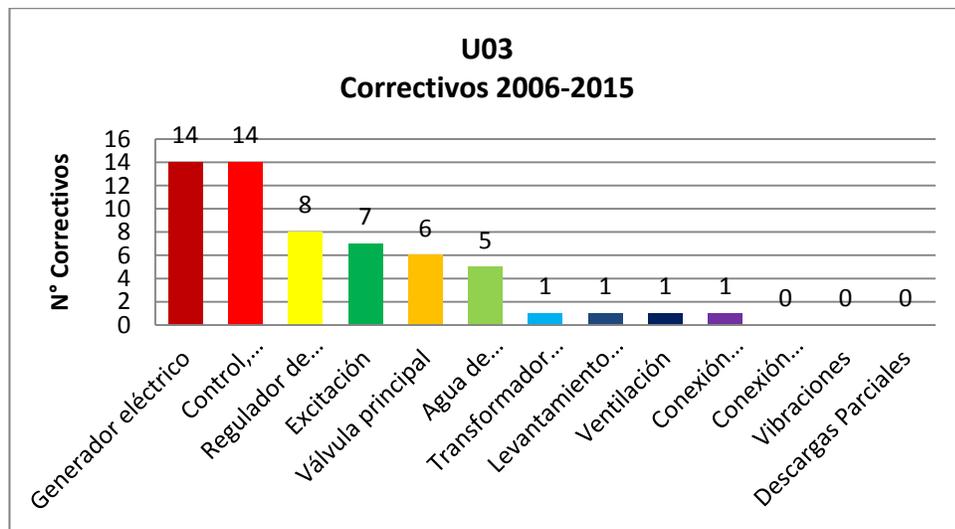
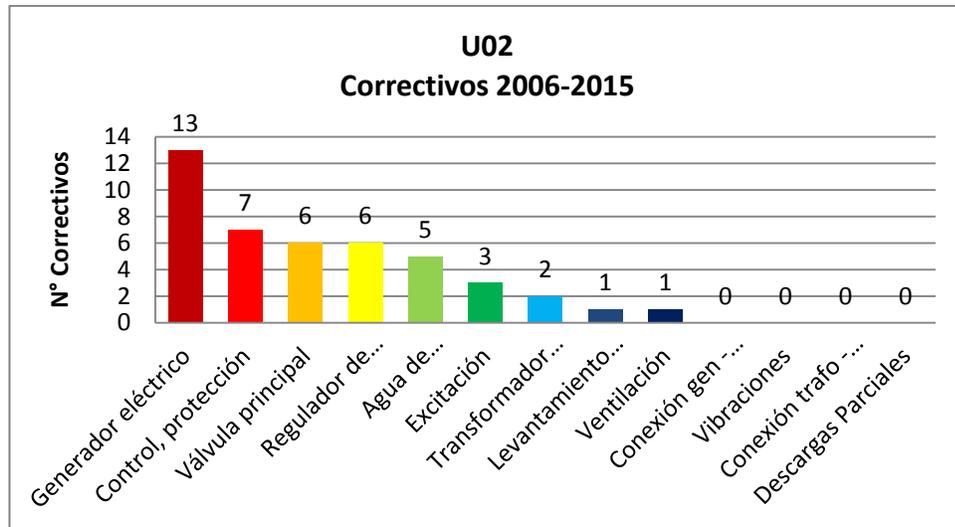


Figura 12 Correctivos en unidades U02, U03 y U07 período 2006 – 2015

Fuente: APIPRO. Elaboración: Autor

En la Figura 13 se detecta que los sistemas “generador eléctrico”, “control, protección y medición”, “válvula principal” y “regulador de velocidad” representan el 80% de las causas de la disminución de la confiabilidad de la unidad de generación U02.

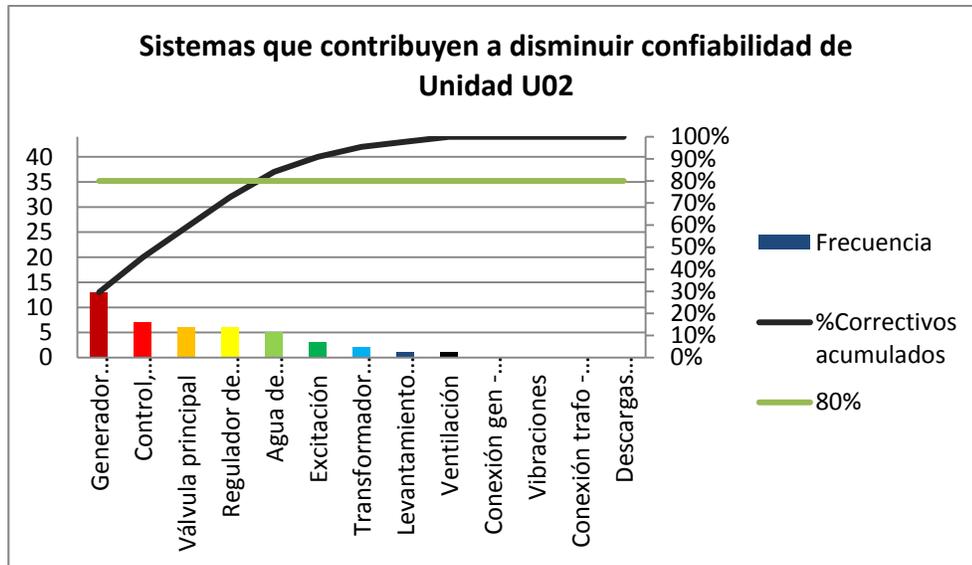


Figura 13 Sistemas que representan el 80% de correctivos en U02

Elaboración: Autor

A continuación en la Figura 14 se expone que los sistemas “generador eléctrico”, “control, protección y medición”, “regulador de velocidad” y “excitación” representan el 80% de las causas de la disminución de la confiabilidad de la unidad de generación U03.

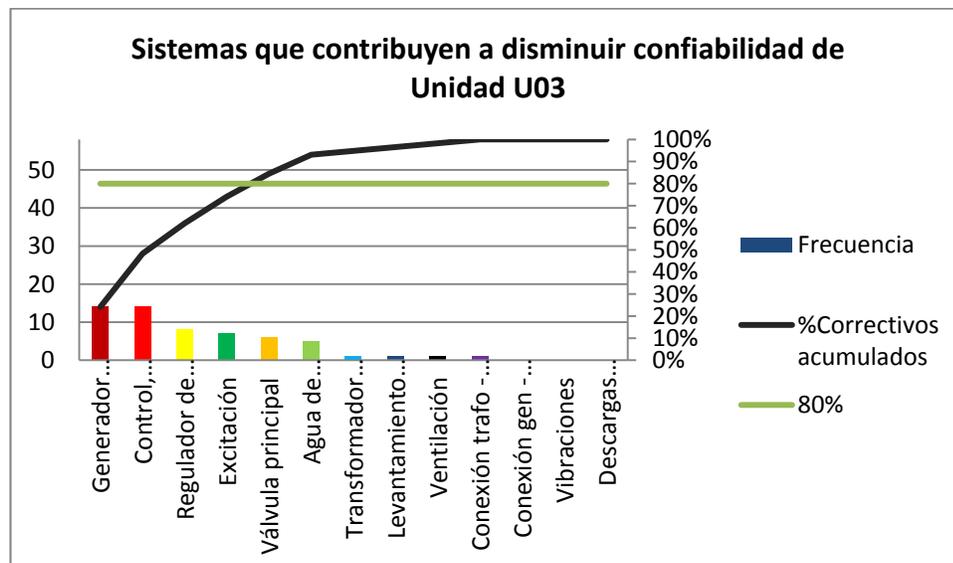


Figura 14 Sistemas que representan el 80% de correctivos en U03

Elaboración: Autor

De la misma manera, en la Figura 15 se detalla que los sistemas “control, protección y medición”, “generador eléctrico”, “excitación” y “transformador principal” representan el 80% de las causas de la disminución de la confiabilidad de la unidad de generación U07.

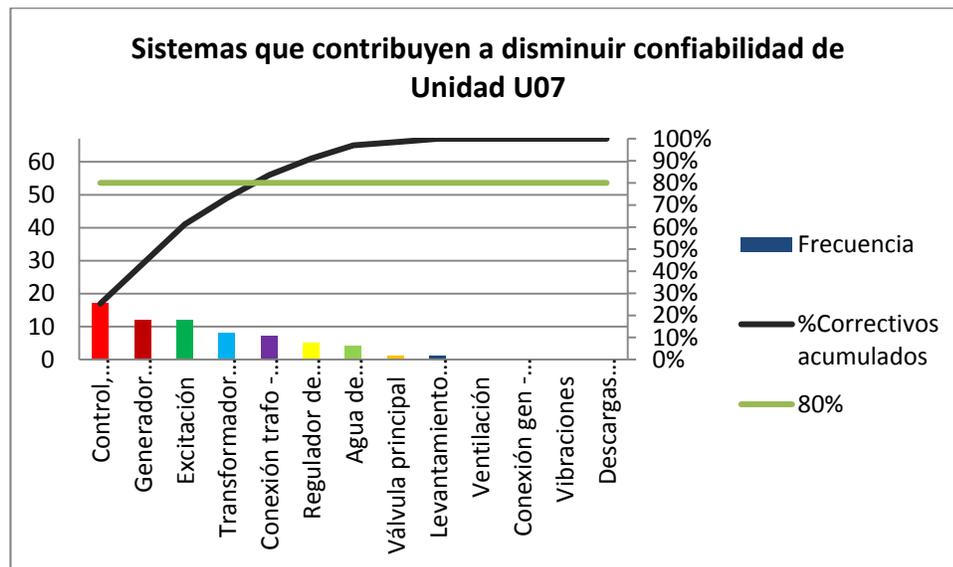


Figura 15 Sistemas que representan el 80% de correctivos en U07

Elaboración: Autor

Hallazgo sobre el reporte de órdenes de trabajo:

En el software APIPRO, se tienen registros elaborados por el personal de ejecución (desde 2004 hasta la presente fecha) en donde se indican que se cumplen actividades correctivas y éstas se reportan en unas cuantas órdenes de trabajo tipo preventivas.

Esta situación provoca una mezcla de información entre el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo por lo que los gráficos anteriores tienen información válida pero insuficiente.

Como una de las soluciones a este problema, en mayo de 2015 se puso en marcha un instructivo para reporte avisos de fallo y órdenes de trabajo (CELEC EP Unidad de Negocio Hidropauta, 2015 mayo) en donde se guía a detalle las etapas que debe tener un reporte de OT y su contenido. Esta ha sido una medida para mejorar el reporte en el software APIPRO. A la presente fecha todavía se está evaluando la eficacia del instructivo y actualizando la segunda versión del mismo.

Hasta aquí se ha realizado un análisis técnico sobre el comportamiento de los sistemas eléctricos de las tres unidades de generación de muestra, considerando solo las OTs correctivas.

3.2 Causas de los patrones y tendencias

Considerando los resultados del Capítulo 2, acerca de los Subprocesos del Mantenimiento evaluados y complementándose éstos con los resultados presentados acerca de las actividades desarrolladas en las unidades de generación U02, U03 y U07, a continuación se detallan las causas de los patrones y tendencias detectados.

Las razones de las causas han sido tomadas también de los resultados tabulados de las explicaciones textuales obtenidas de las entrevistas aplicadas al personal, las cuales han sido cuantificadas en el capítulo 2.

Causas sobre la planificación del trabajo:

- Existe actividades de mantenimiento que exageran las revisiones en varios sistemas; y por el contrario, existen otros sistemas que a lo largo del año requieren mayor cuidado pero se los atiende con una periodicidad no apropiada según el contexto operacional. Una de las causas es la falta de un análisis de criticidad sobre los equipos y otra de las causas es que las actividades que se ejecutan corresponden a un plan de mantenimiento netamente preventivo que no son revisadas de forma sistemática o bajo una metodología estándar definida.
- En el software APIPRO, existen tareas correctivas ejecutadas que se reportan como parte de las tareas de órdenes de trabajo preventivas. Esto se debe en parte a que el personal de ejecución no tienen claro la importancia de diferenciar los dos tipos de mantenimiento. Otra causa es la falta de capacitación y entrenamiento sobre el uso del software APIPRO.
- Existen OTs finalizadas en el APIPRO por el personal de Mantenimiento Eléctrico, cuando lo correcto era que esta tarea sea realizada únicamente por personal de Operación. Una causa es que el APIPRO no impide que dicha finalización sea ejecutada por cualquier Supervisor.
- Ocurren re-trabajos en los sistemas, en ocasiones es debido a que el personal de Mantenimiento y Operación no identificaron un síntoma temprano de falla. Otras ocasiones ocurre por falta de repuestos. No se lleva un registro de lecciones aprendidas.
- La coordinación y/o reuniones de trabajo no ocurren, ni antes ni después de la ejecución de los mantenimientos preventivos en las unidades de generación. Se determina que la falta de organización permite este problema.
- No existe conexión de base de datos entre el APIPRO y los recursos existentes en Bodega (materiales y repuestos). Se debe a la falta de coordinación entre las partes y a la actual manera de manejar el inventario.
- La mayor cantidad de correctivos en las unidades de generación U02, U03 y U07 ocurren en los sistemas de “generador eléctrico”, “control, protección y medición”,

“válvula principal”, “regulador de velocidad”, “transformador principal” y “excitación”. Básicamente la causa de ello es que estos sistemas son los más complejos, en caso de eventos anormales son los sistemas más exigidos, utilizan tecnología electromecánica en sus relés y la vida útil de sus componentes está en la etapa de declive.

Causas sobre la ingeniería de mantenimiento:

- Existen técnicas predictivas aplicándose a varios sistemas eléctricos; sin embargo, su aplicación es aislada, hay sistemas que son atendidos y otros no. Esto se debe a la falta de un modelo sistemático formal que establezca la necesidad de tareas predictivas y las acople al mantenimiento preventivo y correctivo.
- Se ejecutan adecuaciones o mejoras pero sin considerar los requerimientos de todos los interesados. Una de las causas es la falta de reuniones de trabajo.
- Cuando ocurren fallas en las unidades de generación, se elabora el Análisis Causa Raíz siempre y cuando la gravedad del problema lo amerite, pero sus resultados demoran en establecerse y darse a conocer. Una de las causas es la falta de personal para la elaboración de estos estudios.
- Existe gran cantidad de información sobre la planta; pero encontrarla toma su tiempo y algunos planos no están actualizados. Esto sucede ya que actualmente no existe un responsable sobre la administración de la información y no hay un procedimiento para tramitar y autorizar los cambios en los planos y otros documentos.

Causas sobre la organización y el personal:

- El plan de capacitación para el personal no se cumple. Se debe a que actualmente no se tiene un plan de carrera en la empresa, tampoco el plan de formación asociado.
- La motivación del personal es baja. Se debe a que el personal está inconforme con el sueldo que percibe, manifiesta no sentirse valorado a pesar de los trabajos que realiza, otra causa es el cansancio laboral cuando trabajan por 12 horas diarias.
- La comunicación es deficiente. Se debe a que el ser humano necesita ser escuchado y la mejor forma para ello es reunirse de manera personal; pero, estas reuniones son escasas.

Causas sobre las compras y contratación:

- Flujo de compras inadecuado. Se debe a que el personal técnico elabora fichas técnicas y administrad contratos y se desconoce de varios temas administrativos y lleva gran cantidad de tiempo revisarlos.
- El manejo del inventario es inadecuado., en ocasiones se requiere cierto repuesto y al llegar a Bodega éste no existe; por el contrario, hay gran cantidad de repuestos que

tienen rotación baja, los cuales ocupan espacio y a la vez inflan el inventario. Esto se debe a que la administración del inventario no se maneja a través de una metodología formal.

Causas sobre el control de costos:

- En mantenimiento no se manejan los costos. Esto se debe a que en las directrices de mantenimiento no constan indicadores de costos como una meta u objetivo a cumplir.

Causas sobre la eficiencia:

- En la mayoría de meses del año se cumplen los objetivos sobre la confiabilidad y disponibilidad de las unidades de generación. Esto se debe a que todo el esfuerzo de mantenimiento, con el apoyo de otras áreas de la empresa, está enfocado en esos dos objetivos.

3.3 Resultado general de la evaluación

Para completar el análisis a la gestión que actualmente Mantenimiento Eléctrico de la CHPM tiene como características, se procesa la información recabada en el Capítulo 2 de la presente investigación, recordando que dichos datos surgieron desde dos fuentes de información, en la primera los datos fueron tomados de la técnica documental y la observación; y en la segunda, los datos fueron tomados de las entrevistas realizadas al personal involucrado con el proceso de Mantenimiento Eléctrico.

Análisis de los datos sobre la evaluación a la “gestión de Mantenimiento Eléctrico”, Tabla 46.

Tabla 46 Resultado de la evaluación a la Gestión de Mantenimiento Eléctrico

Evaluación a la Gestión de Mantenimiento Eléctrico																
Elaborado:	Investigador							Fecha:	Noviembre 2015							
(A) % Ponderación del proceso	Item	Subproceso	(B) % Ponderación de actividades	(C) Calificación del Proceso (10 es el máximo)										(D) % Calif. del Proceso D = (BxC/10)	(F) % Calif. del Mantenimiento F = (AxD/100)	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
25	1	Planificación del trabajo	100							6					56,50	14,13
	1.1	Flujo de orden de trabajo	30							6					18,00	
	1.2	Coordinación de tareas	20			3									6,00	
	1.3	Recursos materiales	20					5							10,00	
	1.4	Duración y fechas de entrega	15										8		12,00	
	1.5	Recepción de tareas	15								7				10,50	
20	2	Ingeniería de Mantenimiento	100												63,50	12,70
	2.1	Mantenimiento Preventivo	30							6					18,00	
	2.2	Cambios y mejoras sistemáticas	25							6					15,00	
	2.3	Historial de equipos	20								7				14,00	
	2.4	Investigación de averías	15								7				10,50	
	2.5	Documentación técnica	10								6				6,00	
15	3	Organización y el Personal	100												65,50	9,83
	3.1	Organigrama	25									8			20,00	
	3.2	Las directrices	25									8			20,00	
	3.3	Competitividad del personal	25						6						15,00	
	3.4	Motivación del personal	15			3									4,50	
	3.5	La comunicación	10								6				6,00	
10	4	Compras y contratación	100												69,00	6,90
	4.1	Flujo de compras	25					5							12,50	
	4.2	Contratación de servicios	25								7				17,50	
	4.3	Control de adquisiciones	20									8			16,00	
	4.4	Control a contratistas	20										9		18,00	
	4.5	Inventario y almacenamiento	10					5							5,00	
10	5	Control de costos	100												34,00	3,40
	5.1	Presupuesto	35								7				24,50	
	5.2	Contabilidad de costos	25	1											2,50	
	5.3	Calidad de información	20		2										4,00	
	5.4	Organización de la información	10		2										2,00	
	5.5	Indicadores de costos	10	1											1,00	
20	6	Eficiencia	100												80,00	16,00
	6.1	Calidad de trabajos	25										9		22,50	
	6.2	Duración de trabajos	20										8		16,00	
	6.3	Cumplimiento de plazos	20											9	18,00	
	6.4	Costos	20										8		16,00	
	6.5	Averías	15					5							7,50	

Elaboración: Autor

Con la finalidad de establecer una calificación general a la gestión de Mantenimiento Eléctrico en base a la evaluación realizada, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones acerca de los niveles de calificación.

Niveles de calificación sobre el cumplimiento del mantenimiento (según la investigación):

- $\leq 40\%$: Ineficiente
- Entre 41% y 60%: Regular
- Entre 61% y 70%: En desarrollo
- Entre 71% y 80%: En madurez
- $\geq 81\%$: Óptimo

Es importante indicar que las puntuaciones y ponderaciones, así como la descripción de los niveles de calificación han sido determinadas en base a la realidad actual de la organización, al criterio y experiencia del personal entrevistado al interior de la organización, recomendaciones generales de la norma COVENIN 2500-93 y al aporte del autor.

Además se consideró el criterio de expertos, como lo manifiesta el profesional en Gestión de Mantenimiento, Luis Felipe Sexto: “ni una norma, ni algún libro pueden conocer las características del contexto operacional de la empresa... Por ello, el método (de evaluación del mantenimiento) permite que se puedan crear rangos cuantitativos que vengan traducidos a expresiones cualitativas...”, (Sexto, Auditoría de Mantenimiento, 2015), ver Tabla 47.

Tabla 47 Resumen del resultado de la evaluación a la Gestión de Mantenimiento Eléctrico

Ítem	Subproceso	% Meta	% Calificación	% Cumplimiento subproceso
1	Planificación del trabajo	25%	14%	56,50%
2	Ingeniería de Mantenimiento	20%	13%	63,50%
3	Organización y el Personal	15%	10%	65,50%
4	Compras y contratación	10%	7%	69,00%
5	Control de costos	10%	3%	34,00%
6	Eficiencia	20%	16%	80,00%

Total 100%
Resultado 63%

Elaboración: Autor

La Figura 16 y Figura 17 exponen de manera gráfica los resultados de la evaluación.

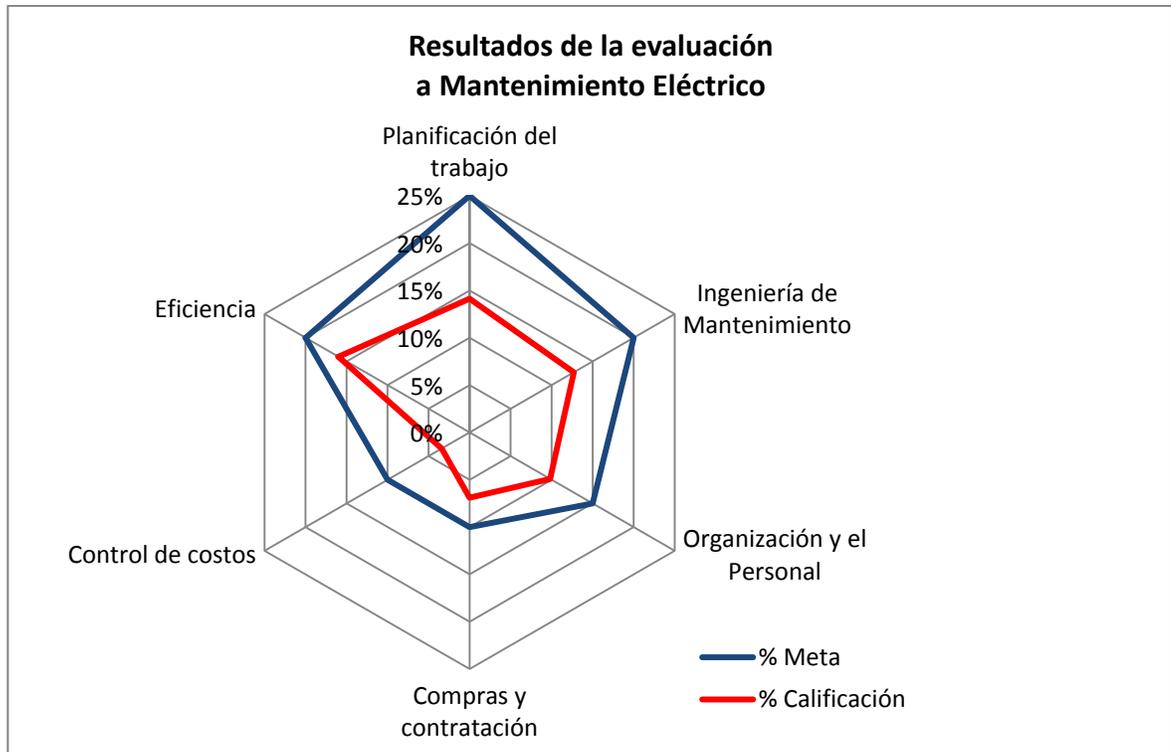


Figura 16 Evaluación a la Gestión de Mantenimiento Eléctrico

Elaboración: Autor

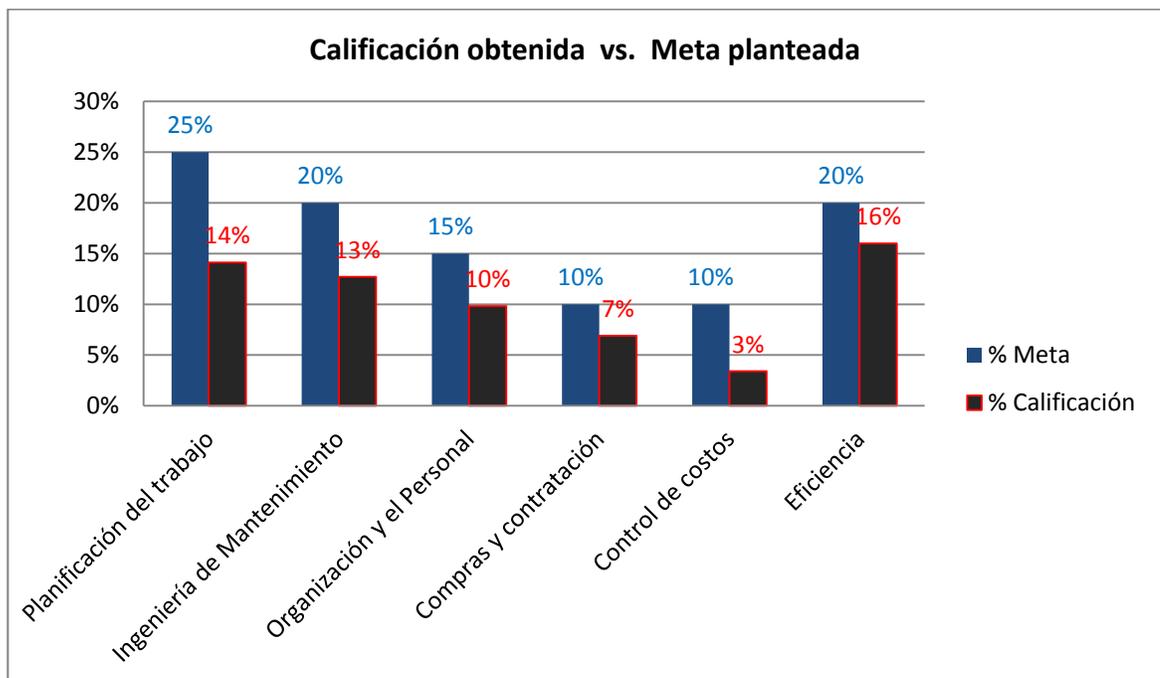


Figura 17 Evaluación, calificación obtenida versus meta planteada

Elaboración: Autor

Hallazgos sobre la evaluación al Proceso de Mantenimiento Eléctrico:

- De acuerdo al método de evaluación realizado, se identifica que la planificación del trabajo tiene un nivel de cumplimiento regular (56,5%) respecto a la meta planteada debido fundamentalmente a la falta de un análisis de criticidad sobre los elementos y a la falta de una metodología formal estándar para desarrollar el plan de mantenimiento preventivo, así como la necesidad de mejorar el trabajo en equipo en las etapas de planificación y de cierre de los mantenimientos preventivos en las unidades de generación.
- Para el caso de la "ingeniería de mantenimiento", "organización y el personal", "compras y contratación", su cumplimiento está en una etapa de desarrollo (63,5%, 65,5% y 69% respectivamente).
- La evaluación ha determinado que "el control de costos", a la presente fecha es el peor subproceso de Mantenimiento con un cumplimiento insuficiente (34%). Básicamente se debe a que en Mantenimiento se tienen objetivos y metas, pero ninguno de ellos está directamente enfocado a la medición, control y mejora de los costos.
- En base a los resultados de la investigación, se establece que la eficiencia es el mejor subproceso con un alto cumplimiento (80%) ya que se mantienen controladas las metas planteadas sobre la disponibilidad y confiabilidad de las 10 unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Paute Molino.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

De acuerdo a los hallazgos encontrados en la etapa de evaluación al Mantenimiento, en este capítulo se presentará una propuesta de solución para mejorar el proceso de elaboración del plan de mantenimiento.

Primero se establecerá una metodología para desarrollar paso a paso el plan de mantenimiento.

Luego se aplicará dicha metodología para elaborar el plan de mantenimiento para los elementos eléctricos de las unidades de generación.

4.1 Metodología para elaboración del Plan de Mantenimiento

Se parte con la conformación del Equipo de Análisis, constituido por el Coordinador, personal de operaciones (usuarios), personal de ejecución de mantenimiento y sus supervisores. Tener claro que el personal debe tener gran experiencia y conocer sobre los elementos bajo análisis y su contexto operacional.

Paso 1:

Listar todos los elementos eléctricos existentes en planta, que se requieren para la producción. Cada elemento realiza una función específica en el proceso industrial y tiene características operativas propias que lo hacen diferente del resto, incluso de otros equipos constructivamente semejantes.

Establecer dicha lista indicando, en forma de árbol, las relaciones entre cada elemento, sistema, equipo o parte; es decir, listar de forma estructurada; a esto se le llama “estructura de objetos”.

Paso 2:

Codificar los elementos eléctricos existentes de la planta.

Es necesario codificar a cada elemento de la lista de acuerdo a un sistema de codificación inteligente. Este código facilita la localización del elemento y es referencia para OTs, planos, registros históricos, indicadores, etc.

Cada nivel de codificación de la estructura de objetos deberá contener cierto número de caracteres alfanuméricos que dependerá de la estructura y tamaño de la organización (García S. , 2003).

PASO 3:

Realizar análisis de criticidad de los elementos eléctricos.

Hay que diferenciar entre los elementos eléctricos que tienen gran influencia en los resultados de la empresa y los que no la tienen.

Considerando lo indicado por García (2003) y lo establecido en la referencia bibliográfica de PETROAMAZONAS EP (2013), a continuación se establece la metodología para elaborar el análisis de criticidad.

Es importante describir varios conceptos asociados a la criticidad:

- Consecuencia (Co): Resultado de una serie de impactos de eventos expresados cuantitativa o cualitativamente.
- Exposición (Ex): Tiempo que el elemento eléctrico se encuentra expuesto al riesgo de ocurrencia de un evento que afecte a su confiabilidad (horas/día), considerando redundancia.
- Redundancia: Existencia de más de un elemento para realizar una misma función requerida.
- Índice de criticidad: Cuantificación del riesgo de una falla ocurrida en un elemento, considerando los aspectos de criticidad.
- Ocurrencia (Oc): Frecuencia con la que se suscita un evento específico. Puede considerarse el tiempo medio entre fallas (MTBF) o la tasa de fallas (λ).
- Probabilidad (Pr): Posibilidad de que ocurra un evento específico, es la relación entre los mismos y el número total de eventos posibles. Multiplicación de la ocurrencia por la exposición.
- Riesgo: Combinación de la probabilidad de la ocurrencia de un evento peligroso y la magnitud de la consecuencia.

Entonces se procede a describir la función principal de cada elemento eléctrico a ser evaluado, esta información se coloca en la Matriz de jerarquización que se expone en la tabla 48.

Para los cálculos, según la metodología de William Fine, se “pondera por igual, a la probabilidad de falla como a las consecuencias asociadas, es decir, el máximo índice de criticidad calculado es el producto ponderado del 100% de probabilidad por la sumatoria de las consecuencias en su nivel más alto (nivel 5)” (PETROAMAZONAS EP, 2013), así:

$$Crl_{MAX} = PrF_{100\%} \times Co_{N5}$$

Para el caso de HIDROPAUTE, sobre la probabilidad de falla ($PrF_{100\%}$) su valor máximo es 100. La ocurrencia y exposición se ponderan con un valor máximo de 10 para cada una.

Para el caso de HIDROPAUTE, sobre las consecuencias (Co_{N5}) se considera lo siguiente:

- Los impactos asociados a la seguridad y salud (Co_{SS}) del personal, incluye medio ambiente, son de mayor criticidad que los asociados a Operación (generación de electricidad) y Mantenimiento.
- Los impactos a Operación (Co_{OPR}) son de mayor criticidad que los asociados a Mantenimiento (Co_{OPR}).
- La sumatoria de las ponderaciones de las consecuencias tendrán un resultado máximo de 100, así:

$$C_o = C_{oss} + C_{Oopr} + C_{omnt}$$

Por lo tanto, el índice de criticidad más alto que podrá tener un elemento es:

$$C_{rlMAX} = 10 \times 10 \times (30 + 30 + 25 + 15) = 10000$$

Los niveles sobre la probabilidad y consecuencias de acuerdo al método de Fine, para el caso de HIDROPAUTE, se realizará en base a la Tabla 48.

Tabla 48 Índice de criticidad según el Método de Fine

PROBABILIDAD					CONSECUENCIAS								
OCURRENCIA			EXPOSICIÓN		SEGURIDAD Y SALUD		MEDIO AMBIENTE		PÉRDIDA GENERACIÓN DE UNA UNIDAD		MANTENIMIENTO		
Probable	fallas anuales ≥ 4	10	20 - 24 h	10	Muerte	30	Muy significativo	Derrame ≥ 10lt	30	80% < PE ≤ 100%	25	costo ≥ 60000	15
Ocasional	3 ≤ falla anual < 4	8	15 - 20 h	6	Accidente con pérdida de tiempo	15	Significativo	Derrame ≥ 8lt	15	60% < PE ≤ 80%	10	6000 ≤ costo < 60000	8
Rara	2 ≤ falla anual < 3	5	10 - 15 h	3	Lesión sin pérdida de tiempo	8	Importante	Derrame ≥ 5lt	8	40% < PE ≤ 60%	5	1000 ≤ costo < 6000	4
Remota	1 ≤ falla anual < 2	3	5 - 10 h	2	Incidente	5	Leve	Derrame mayor a 3lt	5	20% < PE ≤ 40%	3	600 ≤ costo < 1000	2
Mínima	falla anual < 1	1	< 5 h	1	Condición subestándar	2	Insignificante	Derrame menor a 1lt	2	0% ≤ PE ≤ 20%	2	Costo < 600 USD	1
							Sin Impacto	No aplica	0	Sin Impacto	0		

Fuente: (PETROAMAZONAS EP, 2013)

Elaboración: Autor

Luego se debe ponderar cada elemento para su jerarquización, lo cual se hace llenando la Matriz de jerarquización de elementos, ver Tabla 49.

Tabla 49 Matriz de jerarquización

ELEMENTO (Subsistema)	FUNCIÓN PRINCIPAL	PROBABILIDAD		CONSECUENCIAS				ÍNDICE DE CRITICIDAD
		OCURRENCIA	EXPOSICIÓN	SEGURIDAD Y SALUD	MEDIO AMBIENTE	PÉRDIDA GENERACIÓN DE UNIDAD	MANTENIMIENTO	

Elaboración: Autor

Se establece las categorías de criticidad para cada elemento de acuerdo a lo siguiente,

Tabla 50:

Tabla 50 Categorías de criticidad

Categoría	Descripción	Rango Crl
A	Elemento crítico	$Crl \geq 1000$
B	Importante	$100 \leq Crl < 1000$
C	Normal	$Crl < 100$

Fuente: (PETROAMAZONAS EP, 2013)

Elaboración: Autor

PASO 4:

Establecer el modelo de mantenimiento

Debe entenderse como modelo de mantenimiento a la conjugación de varios tipos de mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo) aplicables a un mismo elemento eléctrico, las cuales deben estar coordinadas y organizadas con la finalidad de optimizar los recursos considerando el análisis de criticidad, ver Tabla 51.

Tabla 51 Técnicas de mantenimiento según la categoría de criticidad

Categoría	Descripción	Rango Crl	Estrategias de Mantenimiento
A	Elemento crítico	$Crl \geq 1000$	Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) Mantenimiento basado en condición Mantenimiento preventivo
B	Importante	$100 \leq Crl < 1000$	Mantenimiento basado en condición Mantenimiento preventivo
C	Normal	$Crl < 100$	Mantenimiento preventivo Mantenimiento correctivo

Fuente: (PETROAMAZONAS EP, 2013)

Elaboración: Autor

PASO 5:

Establecer del plan de mantenimiento.

Se debe detallar el conjunto de tareas a aplicarse en cada elemento de la planta.

Este documento es dinámico, debe ser actualizado periódicamente cada año y eventualmente mejorado según el análisis de eventos que particularmente se presenten en la planta.

Elaboración del plan de mantenimiento aplicando RCM (Sexto, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, 2015), detallando:

- Funciones y estándares de rendimiento del elemento en su contexto operacional actual
- Las fallas funcionales del elemento.
- Los modos de falla del elemento.
- Los efectos de la falla.
- Las consecuencias de la falla (fallas a evitar, fallas a mitigar).
- Tareas específicas de mantenimiento.

Elaboración del plan de mantenimiento según la condición del elemento (García C. , 2014), detallando:

- Diagnóstico en tiempo real de fallas incipientes.
- Técnicas para el monitoreo de la condición de los elementos.
- Análisis de pronóstico de parámetros, con aplicación de herramientas digitales (software).
- Análisis de expectativa de vida.
- Mejoras, modificaciones o sustituciones de acuerdo a los análisis de pronósticos.

Elaboración del plan de mantenimiento según estrategia preventiva (García S. , 2003), considerando:

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.
- Verificaciones operativas con instrumentos propios del elemento.
- Verificaciones operativas con instrumentos externos al elemento.
- Limpiezas técnicas condicionales.
- Ajustes condicionales.
- Limpiezas técnicas periódicas.
- Ajustes periódicos.
- Sustituciones periódicas.
- Revisiones integrales.
- Mejoras y/o modificaciones de la instalación.
- Recomendaciones del manual del equipo (recomendaciones del fabricante).

Estrategia de mantenimiento correctivo, (García S. , 2003) considerando:

- Listado de averías básicas.
- Listado de causas y soluciones a las averías básicas.
- Administración del tiempo para reparación.
- Asignación de prioridades.

Finalmente, en base a las estrategias de mantenimiento descritas, según el elemento al cual se aplicará en plan, se procede a organizar:

- Tareas específicas de mantenimiento.
- Frecuencias óptimas para la ejecución de tareas.
- Agrupación de las tareas en rutas y gamas de mantenimiento.

4.2 Plan de Mantenimiento

En base a la metodología presentada y considerando el alcance del proyecto de investigación, se procede a desarrollar el plan de mantenimiento para las unidades de generación de la CHPM.

Paso 1:

Se listan los elementos eléctricos de las unidades de generación en base a la estructura de objetos planteada de acuerdo a las recomendaciones del Comité Asesor Interno (CAI) de CELEC Matriz, considerando lo indicado en la Tabla 52.

Tabla 52 Niveles de objeto

Nivel	Descripción
1	Corporación
2	Unidad de Negocio
3	Zona
4	Actividad
5	Instalación
6	Infraestructura
7	Sistema
8	Subsistema
9	Equipo
10	Componente

Fuente: (Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC MATRIZ, 2013).

Elaboración: Autor

En las siguientes tablas se exponen el listado de elementos eléctricos de la unidad U02.

Paso 2:

Se codifican los elementos eléctricos existentes de acuerdo al siguiente ordenamiento:

La codificación significativa desde el nivel 1 al 10 para cada elemento consiste en contener máximo cinco caracteres alfanuméricos considerando prioritariamente las tres primeras consonantes del nombre del elemento, en caso de haber más de una palabra se toma la letra inicial de cada palabra, en caso de que algún código se repita, los códigos podrán formarse con las segundas consonantes de los nombres. Como ejemplo se citan los siguientes:

Subsistema: "CONEXIÓN GENERADOR TRANSFORMADOR". Código: CGT.

Equipo: "CENTRO DE CARGA DE AUXILIARES". Código: CCA.

Subsistema: "VALVULA PRINCIPAL". Código: VPR.

Equipo: "VALVULA". Código: VLV

En la Tabla 53 y Tabla 54 la se expone este trabajo.

Tabla 53 Listado y codificación de elementos desde el nivel 1 al nivel 6

COD	NIVEL 1	COD	NIVEL 2	COD	NIVEL 3	COD	NIVEL 4	COD	NIVEL 5	COD	NIVEL 6
CELEC	CORPORACION ELECTRICA D	HPAU	HIDROPAUTE	AZUA	AZUAY	CGH	CENTRALES	MLN	MOLINO	PGE	PLANTA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

Elaboración: Autor

Tabla 54 Listado y codificación de elementos nivel 7 al 10, unidad U02

COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
JGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	P02S	CONEXION TRANSFORMADOR TP02 - SUBESTACION	-CEE	CONDUCCION DE ENERGIA ELECTRICA	-EPR	CABLES EPR
COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-CCA	CENTRO DE CARGA DE AUXILI	-TCN	TABLERO DE CONTROL
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-CCA	CENTRO DE CARGA DE AUXILI	-RPR	RELES DE PROTECCION
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-CCA	CENTRO DE CARGA DE AUXILI	-MSC	MOTOR DEL SECCIONADOR
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-CCA	CENTRO DE CARGA DE AUXILI	-INS	INSTRUMENTACION
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-BCP	BARRAS CAPSULADAS 13.8kV	-BCP-	
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-EST	EQUIPO DE SOBRE TENSION	-T1A	TRANSFORMADOR 1 FASE A
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-EST	EQUIPO DE SOBRE TENSION	-T2A	TRANSFORMADOR 2 FASE A
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-EST	EQUIPO DE SOBRE TENSION	-T1B	TRANSFORMADOR 1 FASE B
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-EST	EQUIPO DE SOBRE TENSION	-T2B	TRANSFORMADOR 2 FASE B
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-EST	EQUIPO DE SOBRE TENSION	-T1C	TRANSFORMADOR 1 FASE C
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-EST	EQUIPO DE SOBRE TENSION	-T2C	TRANSFORMADOR 2 FASE C
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-EST	EQUIPO DE SOBRE TENSION	-DSA	DESCARGADOR DE SOBRETENSION FASE A
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-EST	EQUIPO DE SOBRE TENSION	-DSB	DESCARGADOR DE SOBRETENSION FASE B
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	CGT	CONEXION GENERADOR - TRANSFORMADOR	-EST	EQUIPO DE SOBRE TENSION	-DSC	DESCARGADOR DE SOBRETENSION FASE C
COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	PCM	EQUIPAMIENTO DE PROTECCION, CONTROL Y M	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-TDP	TABLERO DUPLEX
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	PCM	EQUIPAMIENTO DE PROTECCION, CONTROL Y M	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-UCB	UNIT CONTROL BOX
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	PCM	EQUIPAMIENTO DE PROTECCION, CONTROL Y M	-PRT	PROTECCION	-RPR	RELES DE PROTECCION
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	PCM	EQUIPAMIENTO DE PROTECCION, CONTROL Y M	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-INS	INSTRUMENTOS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	PCM	EQUIPAMIENTO DE PROTECCION, CONTROL Y M	-PIT	INSTRUMENTACION Y CONTR	-PIT	PANEL INSTRUMENTOS DE LA TURBINA PIT

Tabla 54: continuación

COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
-STCM	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	TP02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 02	-AEC	ALIMENTACION ELECTRICA Y	-TCN	TABLERO DE CONTROL
-STCM	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	TP02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 02	ANT	ANTIEXPLOSION	-ACB	TABLERO DE ACCIONAMIENTO CUBA
-STCM	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	TP02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 02	ANT	ANTIEXPLOSION	-FACT	TABLERO DE ACCIONAMIENTO CAJAS TERMINALES
-STCM	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	TP02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 02	ANT	ANTIEXPLOSION	-TCN	TABLERO DE CONTROL
-STCM	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	TP02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 02	ANT	ANTIEXPLOSION	-TNQ	TANQUE
-STCM	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	TP02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 02	-ENF	ENFRIAMIENTO	M01	MOTOR 1
-STCM	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	TP02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 02	-ENF	ENFRIAMIENTO	M02	MOTOR 2
-STCM	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	TP02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 02	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-INS	INSTRUMENTACION
-STCM	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	TP02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 02	PCM	PROTECCION, CONTROL Y ME	PCM	DISPOSITIVOS DE PROTECCION
-STCM	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	TP02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 02	UTR	UNIDAD DE TRANSFORMACI		
COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	EMC	EQUIPAMIENTO PARA MONITOREO DE CONDICI	EVB	EQUIPOS DE MONITOREO DE	SNS	SENSORES
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	EMC	EQUIPAMIENTO PARA MONITOREO DE CONDICI	EVB	EQUIPOS DE MONITOREO DE	TAD	TABLERO DE ADQUISICIÓN DE DATOS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	EMC	EQUIPAMIENTO PARA MONITOREO DE CONDICI	EDP	EQUIPOS DE MONITOREO DE	SNS	SENSORES
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	EMC	EQUIPAMIENTO PARA MONITOREO DE CONDICI	EDP	EQUIPOS DE MONITOREO DE	-TCN	TABLERO DE CONTROL
COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-AEC	ALIMENTACION ELECTRICA Y	-TEA	TRANSFORMADOR DE EXCITACION FASE A
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-AEC	ALIMENTACION ELECTRICA Y	-TEB	TRANSFORMADOR DE EXCITACION FASE B
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-AEC	ALIMENTACION ELECTRICA Y	-TEC	TRANSFORMADOR DE EXCITACION FASE C
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-CEX	COLECTOR DE LA EXCITATRIZ	-RES	RECINTO DE ESCOBILLAS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-EXC	EXCITATRIZ	-ICM	INTERRUPTOR DE CAMPO
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-EXC	EXCITATRIZ	MVS	MOTOR DE VENTILADOR SUPERIOR
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-EXC	EXCITATRIZ	MVI	MOTOR DE VENTILADOR INFERIOR
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-EXC	EXCITATRIZ	-BTR	BANCO DE TIRISTORES
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-VAP	VOLTIMETRO AUXILIAR PANEL GOBERNAD
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	MEA	MILIAMPERIMETRO ENTREGA APERTURA
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	MAT	MILIAMPERIMETRO APERTURA TURBINA
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	MVG	MILIAMPERIMETRO VELOCIDAD GRUPO
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	MEC	MILIMILIAMPERIMETRO ENTREGA CARGA
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	MLA	MILIAMPERIMETRO LIMITADOR APERTUR
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	MAV	MILIAMPERIMETRO AJUSTE VELOCIDAD
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	ERV	EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	RAV	REGULADOR AUTOMATICO DRAV-		

Tabla 54: continuación

COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	-CLF	CALEFACCION	-RCL	RESISTENCIAS DE CALENTAMIENTO
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	CCM	COJINETE COMBINADO	-INS	INSTRUMENTOS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	CGU	COJINETE GUIA	-INS	INSTRUMENTOS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	ENF	ENFRIAMIENTO	-INS	INSTRUMENTOS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	FRN	FRENADO	MTR	MOTOR
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	FRN	FRENADO	-INS	INSTRUMENTACION
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	FRN	FRENADO	-TCN	TABLERO DE CONTROL
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	-EST	GENERADOR	-EST	ESTATOR
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	-EST	GENERADOR	-RTR	ROTOR
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-INS	INSTRUMENTOS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	GEL	GENERADOR ELECTRICO	-PTN	PUESTA A TIERRA DEL NEUTR	-TPT	TRANSFORMADOR DE PUESTA TIERRA
COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	LGR	LEVANTAMIENTO GRUPO ROTATIVO	-AEC	ALIMENTACION ELECTRICA Y	-TCN	TABLERO DE CONTROL
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	LGR	LEVANTAMIENTO GRUPO ROTATIVO	BMB	BOMBEO	MTR	MOTOR
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	LGR	LEVANTAMIENTO GRUPO ROTATIVO	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-INS	INSTRUMENTOS
COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	-LAE	LINEA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	-AEC	ALIMENTACION ELECTRICA Y	-TCN	TABLERO DE CONTROL
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	-LAE	LINEA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	BMB	BOMBEO	MBA	MOTOR BOMBA PRINCIPAL A
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	-LAE	LINEA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	BMB	BOMBEO	MBB	MOTOR BOMBA PRINCIPAL B
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	-LAE	LINEA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	BMB	BOMBEO	MCA	MOTOR BOMBA CENTRÍFUGA A
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	-LAE	LINEA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	BMB	BOMBEO	MCB	MOTOR BOMBA CENTRÍFUGA B
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	-LAE	LINEA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-INS	INSTRUMENTOS
COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	LVU	LINEA DE VENTILACION DE UNIDAD	CPM	ALIMENTACION ELECTRICA Y	-TCN	TABLEROS DE CONTROL
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	LVU	LINEA DE VENTILACION DE UNIDAD	-INS	INSTRUMENTACION Y CONTR	-INS	INSTRUMENTOS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	LVU	LINEA DE VENTILACION DE UNIDAD	MTB	VENTILACION B&C	MTB-	MOTOR VENTILADOR B
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	LVU	LINEA DE VENTILACION DE UNIDAD	MTC	VENTILACION B&C	MTC-	MOTOR VENTILADOR C

Tabla 54: continuación

COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	RVL	REGULADOR DE VELOCIDAD	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-INS	INSTRUMENTOS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	RVL	REGULADOR DE VELOCIDAD	RAV	REGULADOR AUTOMATICO D	-TEL	TARJETAS ELECTRONICAS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	RVL	REGULADOR DE VELOCIDAD	RAV	REGULADOR AUTOMATICO D	-FNT	FUENTES
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	RVL	REGULADOR DE VELOCIDAD	RAV	REGULADOR AUTOMATICO D	TRN	TRANSDUCTORES
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	RVL	REGULADOR DE VELOCIDAD	RAV	REGULADOR AUTOMATICO D	SSG	GENERADOR DE SEÑAL DE VELOCIDAD SSG
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	RVL	REGULADOR DE VELOCIDAD	UOL	UNIDAD OLEOHIDRAULICA	-INS	INSTRUMENTOS
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	RVL	REGULADOR DE VELOCIDAD	UOL	UNIDAD OLEOHIDRAULICA	M01	MOTOR 1
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	RVL	REGULADOR DE VELOCIDAD	UOL	UNIDAD OLEOHIDRAULICA	M02	MOTOR 2
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	RVL	REGULADOR DE VELOCIDAD	UOL	UNIDAD OLEOHIDRAULICA	TUO	TABLERO DE CONTROL UNIDAD OLEOHIDR
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	RVL	REGULADOR DE VELOCIDAD	UOL	UNIDAD OLEOHIDRAULICA	-TAB	TABLERO DE ALIMENTACION DE BOMBAS
COD	NIVEL 7	COD	NIVEL 8	COD	NIVEL 9	COD	NIVEL 10
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	VPR	VALVULA PRINCIPAL	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-TCN	TABLERO DE CONTROL
UGH02	UNIDAD DE GENERACION HIDRAULICA 02	VPR	VALVULA PRINCIPAL	-ICN	INSTRUMENTACION Y CONTR	-INS	INSTRUMENTOS

Elaboración: Autor

Paso 3: Ver Tabla 55.

Tabla 55 Índice de criticidad de elementos eléctricos de la unidad U02

ELEMENTO (Subsistema)	FUNCIÓN PRINCIPAL	PROBABILIDAD				CONSECUENCIAS				ÍNDICE DE CRITICIDAD
		OCURRENCIA		EXPOSICIÓN		SEGURIDAD Y SALUD	MEDIO AMBIENTE	PÉRDIDA GENERACIÓN DE UNIDAD	MANTENIMIENTO	
Generador eléctrico	Generar electricidad	1,3	3	24h	10	30	30	25	15	3000
Regulador de velocidad	Regular la velocidad del rotor	0,6	1	24h	10	30	30	25	15	1000
Válvula principal	Controlar el ingreso de agua a la turbina	0,6	1	24h	10	30	30	25	15	1000
Transformador de potencia	Elevar la tensión	0,2	1	24h	10	30	30	25	15	1000
Conexión transformador subestación	Transmitir energía eléctrica	0	1	24h	10	30	8	25	15	780
Excitatriz y regulador de voltaje	Regular el voltaje del generador	0,3	1	24h	10	30	5	25	15	750
Conexión generador transformador	Conectar al generador con el transformador	0	1	24h	10	30	5	25	8	680
Equipamiento de protección, control y	Proteger al generador	0,7	1	24h	10	15	5	25	8	530
Línea de ventilación de unidad	Controlar la ventilación del generador	0,1	1	24h	10	15	5	10	8	380
Levantamiento grupo rotativo	Levantar el rotor	1,5	3	1h	1	30	30	25	15	300
Línea de agua de enfriamiento	Controlar la temperatura del generador	0,5	1	12h	3	30	8	25	8	213
Equipo monitoreo condición descargas	Monitorear descargas en el generador	0	1	24h	10	8	2	0	8	180
Equipo monitoreo condición vibraciones	Monitorear vibraciones del generador	0	1	24h	10	5	2	0	8	150

Elaboración: Autor

La fuente de información se ha tomado del APIPRO, bitácoras e informes de Operación, Mantenimiento y documentos de contratos para el caso de la “Ocurrencia”, “Exposición”, “Pérdida de Generación” y “Mantenimiento”. También se ha tomado información de las matrices de riesgos, informes y los instructivos para el caso de “Seguridad y Salud”; y de los informes, procedimientos e instructivos de gestión ambiental para el caso de “Medio Ambiente”.

Según el criterio establecido en la metodología, los elementos críticos, importantes y normales para el caso de la unidad U02 se detallan en la Tabla 56:

Tabla 56 Categoría y criticidad de los elementos eléctricos de la unidad U02

Categoría	Descripción	Subsistema	Cri
A	Elemento crítico	Generador eléctrico	3000
A	Elemento crítico	Regulador de velocidad	1000
A	Elemento crítico	Válvula principal	1000
A	Elemento crítico	Transformador de potencia	1000
B	Importante	Conexión transformador subestación	780
B	Importante	Excitatriz y regulador de voltaje	750
B	Importante	Conexión generador transformador	680
B	Importante	Equipamiento de protección, control y medición	530
B	Importante	Línea de ventilación de unidad	380
B	Importante	Levantamiento grupo rotativo	300
B	Importante	Línea de agua de enfriamiento	213
B	Importante	Equipo monitoreo condición descargas parciales	180
B	Importante	Equipo monitoreo condición vibraciones	150
C	Normal		

Elaboración: Autor

Como se detalla en la tabla anterior, se han encontrado cuatro subsistemas con categoría A, cuya criticidad se califica como “elementos críticos”, estos son: el generador eléctrico, el regulador de velocidad, la válvula principal y el transformador de potencia. Se diferencian de los demás subsistemas básicamente por la ocurrencia o tasa de fallas a lo largo de los años, así como por los efectos que causarían al medio ambiente en caso de producirse derrames de aceite lubricante, ya que la cantidad de litros que manejan es alta en comparación con el resto de elementos constituyentes de la unidad de generación. Los efectos sobre la seguridad y salud del personal también son considerables debido a su peligrosidad en caso de falla.

También es de anotar que los resultados demuestran que el resto de elementos eléctricos tienen categoría B, es decir su criticidad es importante ya que afectan directamente a los resultados de la organización en cuanto se refiere a la generación de electricidad.

Para la unidad de generación, no se han encontrado elementos con categoría C.

PASO 4:

De acuerdo a los resultados obtenidos, se procede a establecer la estrategia de mantenimiento a aplicarse a cada elemento o subsistema de la unidad U02, Tabla 57.

Tabla 57 Estrategia de mantenimiento para la U02 según la categoría de criticidad de los elementos

Categoría	Subsistema	Estrategia de mantenimiento
A	Generador eléctrico	Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)
A	Regulador de velocidad	
A	Válvula principal	
A	Transformador de potencia	
B	Conexión transformador subestación	Mantenimiento basado en condición
B	Excitatriz y regulador de voltaje	
B	Conexión generador transformador	Mantenimiento preventivo
B	Equipamiento protección, control medición	
B	Línea de ventilación de unidad	
B	Levantamiento grupo rotativo	
B	Línea de agua de enfriamiento	
B	Equipo monitoreo condición descarga parcial	
B	Equipo monitoreo condición vibraciones	

Elaboración: Autor

Para el caso de los elementos eléctricos con categoría A, se aplicarán estrategias de mantenimiento de RCM, basado en condición y preventivas. Se las organizará y coordinará de tal forma que su aplicación sea eficaz y eficiente optimizando los recursos.

Para el caso de los elementos eléctricos con categoría B, se aplicarán estrategias de mantenimiento basado en condición y preventivas.

PASO 5:

La elaboración del plan de mantenimiento se fundamenta en la aplicación de las estrategias de mantenimiento según la categoría de criticidad de cada subsistema.

Para los elementos críticos, se parte desarrollando el proceso del mantenimiento basado en confiabilidad, el mantenimiento basado en condición y finalmente el mantenimiento preventivo.

Para el caso de elementos importantes, se desarrolla el mantenimiento basado en condición y el mantenimiento preventivo.

Para todos los casos se consideran las recomendaciones del personal con amplia experiencia de Operación y Mantenimiento, las referencias de expertos sobre la gestión de vida útil de los subsistemas implicados, las referencias de normativas técnicas nacionales e internacionales, las mejores prácticas de otras plantas mejor organizadas y finalmente las recomendaciones del plan básico de mantenimiento referidas por el fabricante de los elementos.

En la Tabla 58 se detalla el RCM para cada equipo parte del generador

Tabla 58 Generador eléctrico - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

EQUIPO	FUNCIONES Y ESTÁNDARES	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS	TAREAS MANTENIMIENTO
CALEFACCION	Mantener la temperatura del estator a más de 30°C	No mantiene la temperatura sobre los 30°C	- Pernos flojos en conexiones eléctricas - Breaker disparado	- Punto caliente en la conexión - Apertura del circuito eléctrico	Indisponibilidad del sistema	- Ajuste de conexiones eléctricas - Prueba de resistencia óhmica del breaker
COJINETES	Permitir el libre giro del rotor con aceite a temperatura menor a 40°C	No permite el libre giro del rotor, existe fricción y calentamiento	- Pernos flojos en conexiones eléctricas - Breaker disparado	- Punto caliente en la conexión - Apertura del circuito eléctrico	Indisponibilidad del sistema	- Ajuste de conexiones eléctricas - Prueba de resistencia óhmica del breaker
ENFRIAMIENTO	Enfriar el generador con agua a temperatura menor a 24°C	El agua de enfriamiento no refrigera a temperatura menor a 24°C	- Altas vibraciones del motor - Breaker disparado	- Calentamiento del motor - Desenergización del motor	Indisponibilidad del sistema	- Revisar ajustes de base del motor, alineación del eje y giro de rodamientos - Prueba de resistencia
FRENADO	Frenar el rotor en parada normal o emergencia en tiempo menor a 60s	No frena el rotor a menos de 60s	- Pernos flojos en conexiones eléctricas - Breaker disparado	- Punto caliente en la conexión - Apertura del circuito eléctrico	Indisponibilidad del sistema	- Ajuste de conexiones eléctricas - Prueba de resistencia óhmica del breaker
GENERADOR	Generar electricidad 105MW a 13,8KV con 5000A, 60Hz	No genera electricidad según sus parámetros estándar	- Altas descargas parciales - Escobilla desgastada - Pernos flojos en rueda dentada	- Debilitamiento del aislamiento - Calentamiento de anillos colectores - Incremento de fricción entre partes fijas y móviles	- Destrucción de bobinas - Indisponibilidad del sistema - Destrucción de partes mecánicas	- Cambio del aislamiento eléctrico de bobinas - Revisión de la calidad, montaje, desplazamiento y desgaste de escobilla - Revisión de ajuste de pernos y mejoramiento de
INSTRUMENTACION Y CONTROL	Medir las variables del sistema. Voltaje, corriente, potencia, frecuencia	No mide las variables del sistema	- Pernos flojos en conexiones eléctricas - Breaker disparado	- Punto caliente en la conexión - Apertura del circuito eléctrico	Indisponibilidad del sistema	- Ajuste de conexiones eléctricas - Prueba de resistencia óhmica del breaker
PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO	Limita la corriente de falla en el estator, transformador de impedancia 5ohm	No limita la corriente en caso de falla	- Pérdida de aislamiento eléctrico - Pernos flojos en conexiones eléctricas	- Cortocircuito - Punto caliente en la conexión	- Destrucción de bobinas - Indisponibilidad del sistema	- Pruebas al aislamiento eléctrico y cambio de aislantes - Prueba de resistencia

Elaboración: Autor

Se deben ejecutar las tareas recomendadas, algunas de ellas con periodicidad coordinada con el mantenimiento preventivo, otras dependerán del estado actual de cada elemento eléctrico, como por ejemplo es el caso del cambio del aislamiento eléctrico de las bobinas del estator.

En la Tabla 59 se continúa con el plan de mantenimiento para el generador

Tabla 59 Generador eléctrico - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	FRECUENCIA
COJINETES	Análisis de termografía Análisis de aceites	Semestral
CALEFACCIÓN	Análisis de termografía Análisis de la corriente eléctrica	Semestral
ENFRIAMIENTO		
FRENADO		
GENERADOR	Análisis de descargas parciales	En línea
	Análisis de termografía	Semestral
	Análisis de vibraciones	En línea
	Análisis de factor de potencia	Semestral
	Análisis de expectativa de vida	A los 20 años de operación
INSTRUMENTACION Y CONTROL	Análisis de la corriente eléctrica	Semestral
PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO	Análisis de termografía Análisis de la corriente eléctrica	Semestral
EQUIPO	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
CALEFACCION	Inspección visual Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones	Semestral
COJINETES		
FRENADO		
ENFRIAMIENTO	Inspección visual Pruebas aislamiento eléctrico Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones	Semestral
GENERADOR	Inspección visual Lubricación Pruebas aislamiento eléctrico Pruebas de parámetros eléctricos Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones Cambio de escobillas	Semestral
INSTRUMENTACION Y CONTROL	Inspección visual Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones Confirmación Metroológica	Semestral
PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO	Inspección visual Pruebas aislamiento eléctrico Pruebas de parámetros eléctricos Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones	Semestral

Elaboración: Autor

En la Tabla 60 y la Tabla 61 se continúa con el plan de mantenimiento para el regulador de velocidad

Tabla 60 Regulador de velocidad - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

EQUIPO	FUNCIONES Y ESTÁNDARES	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS	TAREAS MANTENIMIENTO
REGULADOR AUTOMATICO DE VELOCIDAD	Regular la velocidad del rotor a 360rpm	No regula la velocidad a 360rpm	- Tarjeta con conexiones flojas - Breaker disparado	- Calentamiento de las conexiones - Desenergización del control	Indisponibilidad del sistema	- Comprobar continuidad de conexiones eléctricas - Prueba de resistencia ohmica del breaker
UNIDAD OLEOHIDRAULICA	Controlar el circuito oleohidráulico a 28bar	No controla el circuito oleohidráulico a 28bar	- Altas vibraciones del motor - Breaker disparado	- Calentamiento del motor - Desenergización del motor	Indisponibilidad del sistema	- Revisar ajustes de base del motor, alineación del eje y giro de rodamientos - Prueba de resistencia ohmica del breaker
INSTRUMENTACION Y CONTROL	Medir las variables del sistema. Voltaje, corriente, potencia, frecuencia	No mide las variables del sistema	- Pernos flojos en conexiones eléctricas - Breaker disparado	- Punto caliente en la conexión - Apertura del circuito eléctrico	Indisponibilidad del sistema	- Ajuste de conexiones eléctricas - Prueba de resistencia ohmica del breaker

Elaboración: Autor

Tabla 61 Regulador de velocidad - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
REGULADOR AUTOMATICO DE VELOCIDAD	Análisis de termografía Análisis de la corriente eléctrica	Inspección visual Pruebas aislamiento eléctrico Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones Confirmación metrológica	Semestral
UNIDAD OLEOHIDRAULICA			
INSTRUMENTACION Y CONTROL			

Elaboración: Autor

Del análisis se determina que para el caso de la instrumentación y control para la válvula principal no aplica el RCM, es suficiente con la ejecución de las tareas en base a la condición y las preventivas. Ver Tabla 62.

Por otro lado, para el caso de las actividades a ejecutarse en el transformador principal, éstas se detallan en la Tabla 63 y la Tabla 64.

Tabla 62 Válvula principal – Plan de Mantenimiento

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
INSTRUMENTACION Y CONTROL	Análisis de la corriente eléctrica	Inspección visual, Verificaciones operativas Pruebas aislamiento eléctrico, Limpieza técnica, ajustes de conexiones, Confirmación metrológica	Semestral

Elaboración: Autor

Tabla 63 Transformador de potencia - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

EQUIPO	FUNCIONES Y ESTÁNDARES	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS	TAREAS MANTENIMIENTO
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL	Suministrar electricidad a 480V y 127V, 60Hz	No suministra electricidad de niveles de voltaje y frecuencia establecidos	- Pernos flojos en conexiones eléctricas - Breaker disparado	- Punto caliente en la conexión - Apertura del circuito eléctrico	Indisponibilidad del sistema	- Ajuste de conexiones eléctricas - Prueba de resistencia ohmica del breaker
ANTIEXPLOSION	Actuar a una presión de 30bar y descargar una explosión hacia el tanque de descarga en 200ms	No actua durante una explosión	- Válvula rápida no descarga - Mecanismo no permite paso del aceite a descarga	- Existe sobrepresión al interior del transformador - Aceite no se descarga	Indisponibilidad del sistema	- Probar el circuito de control de la válvula rápida - Pruebas operativas al mecanismo de paso de aceite
ENFRIAMIENTO	Enfriar con agua a temperatura menor a 24°C	El agua de enfriamiento no refrigera a temperatura menor a 24°C	- Altas vibraciones del motor - Breaker disparado	- Calentamiento del motor - Desenergización del motor	Indisponibilidad del sistema	- Revisar ajustes de base del motor, alineación del eje y giro de rodamientos - Prueba de resistencia ohmica del breaker
INSTRUMENTACION Y CONTROL	Medir las variables del sistema. Voltaje, corriente, potencia, frecuencia	No mide las variables del sistema	- Pernos flojos en conexiones eléctricas - Breaker disparado	- Punto caliente en la conexión - Apertura del circuito eléctrico	Indisponibilidad del sistema	- Ajuste de conexiones eléctricas - Prueba de resistencia ohmica del breaker
PROTECCION, CONTROL Y MEDICION	Prevenir y proteger de presencia de gases H2, CH4, C2H6, C2H4, C2H2, CO y CO2 en el aceite	No previene ni protege contra la presencia de gases en el aceite	- Software se desconfigura - Pernos flojos en conexiones eléctricas	- Mediciones erroneas de gases - Punto caliente en la conexión	Indisponibilidad del sistema	- Pruebas operativas al software - Ajuste de conexiones eléctricas
UNIDAD DE TRANSFORMACION	Elevar la tensión de 13,8KV a 138KV a potencia de 114MW	No eleva la tensión a 138KV a su potencia máxima	- Pernos flojos en conexiones eléctricas - Empaques deteriorados	- Punto caliente en la conexión - Fuga de aceite	Indisponibilidad del sistema	- Ajuste de conexiones eléctricas - Revisión continua de ausencia de fugas de aceite

Elaboración: Autor

Tabla 64 Transformador de potencia - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	FRECUENCIA
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL	Análisis de termografía	Semestral
ANTIEXPLOSION	Análisis de ultrasonido a válvulas	Semestral
ENFRIAMIENTO	Análisis de termografía Análisis de la corriente eléctrica	Semestral
UNIDAD DE TRANSFORMACION	Análisis de expectativa de vida	A los 20 años de operación
	Análisis de gases disueltos en el aceite	Semestral
EQUIPO	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL	Inspección visual Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones Confirmación metrológica	Semestral
ANTIEXPLOSION		
INSTRUMENTACION Y CONTROL		
PROTECCION, CONTROL Y MEDICION		
ENFRIAMIENTO	Inspección visual Pruebas aislamiento eléctrico Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones	Semestral
UNIDAD DE TRANSFORMACION	- Inspecciones visuales. - Verificaciones operativas con instrumentos propios del elemento. - Verificaciones operativas con instrumentos externos al elemento. - Limpiezas técnicas. - Ajustes de conexiones eléctricas - Pruebas eléctricas	Semestral

Elaboración: Autor

Para el caso del equipo de conexión transformador subestación, así como el de excitatriz y regulador de voltaje, su plan se expone en la Tabla 65 y la Tabla 66.

Tabla 65 Conexión transformador subestación - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	FRECUENCIA
CONDUCCION DE ENERGIA ELECTRICA	Análisis de termografía Análisis de la corriente eléctrica	Semestral
EQUIPO	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
CONDUCCION DE ENERGIA ELECTRICA	Inspección visual Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones Confirmación metrológica	Anual

Elaboración: Autor

Tabla 66 Excitatriz y regulador de voltaje - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	FRECUENCIA
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL EXCITATRIZ REGULADOR AUTOMATICO DE VOLTAJE	Análisis de termografía Análisis de la corriente eléctrica	Semestral
EQUIPO	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL EXCITATRIZ INSTRUMENTACION Y CONTROL REGULADOR AUTOMATICO DE VOLTAJE	Inspección visual Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones Pruebas eléctricas Confirmación Metrológica	Semestral

Elaboración: Autor

En la Tabla 67, Tabla 68, Tabla 69, Tabla 70, Tabla 71, Tabla 72, se expone el plan de mantenimiento basado en condición y el preventivo para el generador transformador, protección control y medición, línea de ventilación de unidad, levantamiento grupo rotativo, línea de agua de enfriamiento y equipamiento para monitoreo de condición.

Tabla 67 Conexión generador transformador - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	FRECUENCIA
CENTRO DE CARGA DE AUXILIARES	Análisis de termografía Análisis de la corriente eléctrica	Semestral
BARRAS CAPSULADAS 13.8kV		
EQUIPO DE SOBRE TENSION		
EQUIPO	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
CENTRO DE CARGA DE AUXILIARES	Inspección visual Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones Confirmación metrológica	Anual
BARRAS CAPSULADAS 13.8kV		
EQUIPO DE SOBRE TENSION		

Elaboración: Autor

Tabla 68 Equipo de protección control y medición - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	FRECUENCIA
PROTECCION	Análisis de parámetros de protecciones	Bianual
EQUIPO	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
PROTECCION	Inspección visual Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones	Anual

Elaboración: Autor

Tabla 69 Línea de ventilación de unidad - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	FRECUENCIA
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL	Análisis de termografía Análisis de vibraciones Análisis de la corriente eléctrica	Semestral
VENTILACION B&C		
EQUIPO	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL	Inspección visual Verificaciones operativas Limpieza técnica Ajustes de conexiones Pruebas eléctricas Confirmación Metrológica	Semestral
INSTRUMENTACION Y CONTROL		
VENTILACION B&C		

Elaboración: Autor

Tabla 70 Levantamiento grupo rotativo - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	FRECUENCIA
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL	Análisis de termografía	Semestral
BOMBEO	Análisis de vibraciones	
	Análisis de la corriente eléctrica	
EQUIPO	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL	Inspección visual	Semestral
	Lubricación	
INSTRUMENTACION Y CONTROL	Verificaciones operativas	
BOMBEO	Limpieza técnica	
	Ajustes de conexiones	
	Pruebas eléctricas	
	Confirmación metrológica	

Elaboración: Autor

Tabla 71 Línea de agua de enfriamiento - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	FRECUENCIA
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL	Análisis de termografía	Semestral
	Análisis de vibraciones	
BOMBEO	Análisis de la corriente eléctrica	
EQUIPO	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
ALIMENTACION ELECTRICA Y CONTROL	Inspección visual	Semestral
	Lubricación	
BOMBEO	Verificaciones operativas	
INSTRUMENTACION Y CONTROL	Limpieza técnica	
	Ajustes de conexiones	
	Pruebas eléctricas	
	Confirmación metrológica	

Elaboración: Autor

Tabla 72 Equipamiento para monitoreo de condición - Mantenimiento Basado en Condición y Preventivo

EQUIPO	TECNICAS MONITOREO DE CONDICION	FRECUENCIA
EQUIPOS DE MONITOREO DE DESCARGAS PARCIALES	Análisis de termografía	Semestral
EQUIPO	TAREA PREVENTIVA	FRECUENCIA
EQUIPOS DE MONITOREO DE VIBRACIONES	Inspección visual	Anual
	Lubricación	
EQUIPOS DE MONITOREO DE DESCARGAS PARCIALES	Verificaciones operativas	
	Limpieza técnica	
	Ajustes de conexiones	
	Pruebas eléctricas	
	Confirmación metrológica	

Elaboración: Autor

CONCLUSIONES

- El plan actual de mantenimiento se caracteriza por aplicar la filosofía del mantenimiento preventivo, con tareas específicas que no han recibido revisiones metódicas de mejora ni integrales ni suficientes que permitan evitar intervenciones correctivas o re-trabajos, a pesar de que el proceso de control y seguimiento se sustentan en el uso de un sistema computarizado de administración de mantenimiento (APIPRO). Según la evaluación realizada, el plan de mantenimiento tiene un cumplimiento “regular”.
- Las fortalezas del mantenimiento actual se basan en el cumplimiento de sus metas, tanto sobre la confiabilidad como sobre la disponibilidad, considerando el uso disciplinado del software APIPRO para administrar y centralizar la información referente al proceso de ejecución, control y retroalimentación del plan de mantenimiento.
- La evaluación realizada demuestra que las debilidades más importantes del mantenimiento actual consisten en la falta de un análisis de criticidad sobre los elementos y la falta de una metodología formal estándar para desarrollar el plan de mantenimiento, así como la necesidad de mejorar el trabajo en equipo en las etapas de planificación y de cierre de los mantenimientos preventivos. Otro problema es el deficiente proceso de control de costos.
- De acuerdo con la metodología propuesta para el desarrollo del plan de mantenimiento, los elementos eléctricos críticos para el caso de la unidad de generación U02 son: el generador, el regulador de velocidad, la válvula principal y el transformador principal.
- El plan de mantenimiento planteado en la presente investigación expone una metodología que parte de listar todos los elementos eléctricos de la unidad de generación, luego codificarlos para entonces estudiar el nivel de criticidad de cada uno de ellos. Entonces se establece el modelo de mantenimiento que considera una conjugación armónica para los elementos críticos con la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), el basado en condición y el preventivo. Para el caso de elementos importantes se conjugan el mantenimiento basado en condición y el preventivo. Para el caso de elementos con criticidad normal se considera la aplicación del mantenimiento preventivo y correctivo, cabe señalar que para el caso de las unidades de generación solo se han determinado elementos críticos e importantes.

RECOMENDACIONES

- El contexto operacional de las unidades de generación de la CHPM es cada vez más vertiginoso y exigente, cuyas metas para la confiabilidad y disponibilidad cada año varían en búsqueda de mayor eficiencia. Esto provoca que el plan de mantenimiento sea dinámico por lo que necesariamente debe revisarse cada año y debe ser desarrollado por un equipo de trabajo multidisciplinario conformado especialmente por personal de Operación, Ejecución de Mantenimiento y personal del área de Ingeniería.
- Para la elaboración y posteriores revisiones del plan de mantenimiento se recomienda aplicar fundamentalmente el análisis de criticidad que permite enfocar los esfuerzos administrativos y técnicos en los elementos eléctricos que tienen mayor influencia en el logro de objetivos de la empresa, así como en la seguridad y bienestar del personal de planta y el medio ambiente que lo rodea.
- El desarrollo del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es una técnica exigente que llega hasta el más mínimo detalle, su aplicación depende del equipo humano de análisis propio de la planta, por lo que se sugiere que su uso sea estrictamente aprovechada solo para los elementos eléctricos con categoría “críticos”.
- El mantenimiento basado en condición (CBM) debe sustentar su aplicación en base al análisis de criticidad para que sus resultados sean de real utilidad para los elementos eléctricos críticos e importantes. Para ello la organización debe asegurarse de la formalidad de la capacitación y entrenamiento del personal encargado del desarrollo de dichas técnicas de ingeniería.
- El mantenimiento preventivo, para el caso de las unidades de generación, continúa siendo una estrategia básica para asegurar la disponibilidad y confiabilidad por lo que se recomienda su aplicación en conjugación con el RCM y el CBM.

BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. (2011). *UNE-EN 13306*. Madrid: INGEMAN.
- CELEC EP HIDROPAUTE. (2011). *Informe anual de Operación 2011*. Cuenca: CELEC EP.
- CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute. (2015 abril). *Plan anual de mantenimiento preventivo unidades de generación Abril 2015 - Junio 2017*. Cuenca: CELEC EP.
- CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute. (2015 mayo). *Instructivo para el análisis de causa raíz de fallas en las centrales de generación*. Cuenca: CELEC P.
- CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute. (2015 mayo). *Instructivo para gestión de intervenciones*. Cuenca: CELEC EP.
- CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute. (2015 mayo). *Instructivo para reporte de avisos de fallo y órdenes de trabajo V.1*. Cuenca: CELEC EP.
- CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute. (2015 Octubre). *Procedimiento para la administración de contratos*. Cuenca: CELEC EP.
- CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute. (2015). *Planificación 2015 - 2020*. Cuenca: CELEC EP .
- CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute. (2015 Septiembre). *INFORME MENSUAL SEPTIEMBRE DE 2015*. Guarumales: CELEC EP.
- CONELEC. (2000). *Procedimientos del mercado eléctrico mayorista*. Quito: CONELEC Consejo Nacional de Electricidad.
- Corporación CENACE. (2012). *Energía. Corporación CENACE*, 154.
- Corporación CENACE. (14 de 10 de 2015). *CENACE Administrador Técnico y Comercial del Mercado Eléctrico Mayorista del Ecuador*. Obtenido de <http://www.cenace.org.ec/>
- Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC MATRIZ. (2013). *Definiciones de datos básicos para implementación módulo IFS en CELEC EP*. Cuenca: CELEC Matriz.
- Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC MATRIZ. (2015). *Definiciones finales y revisiones del proceso de preimplementación FASE 2 Corporativa. Módulo IFS - Mantenimiento - Estructura de Objetos*. Cuenca: CELEC Matriz.
- García, C. (2014). *Mantenimiento basado en la condición de la maquinaria*. Cuenca: UDA.
- García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Días de Santos.
- PETROAMAZONAS EP. (2013). *Jerarquización de sistemas y unidades*. Quito: PETROAMAZONAS EP.

Sexto, L. F. (24 de 12 de 2015). Auditoría de Mantenimiento. (Autor, Entrevistador)

Sexto, L. F. (2015). *Auditoría para evaluar la gestión del mantenimiento en la empresa*. Cuenca: UDA.

Sexto, L. F. (2015). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Cuenca: UDA.