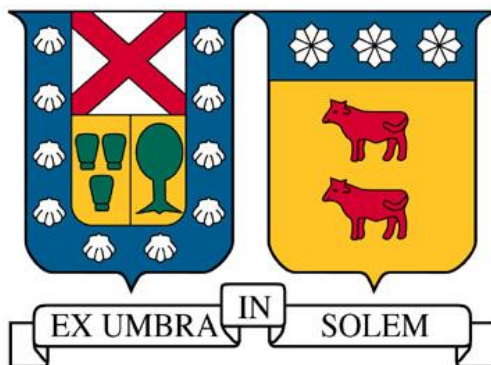


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAISO – CHILE



Propuesta de diseño de un departamento de mantenimiento para una central hidroeléctrica en operación.

Hugo Andrés Quevedo Acevedo

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO

PROFESOR GUÍA

: SR. FREDY KRISTJANPOLLER

Octubre 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título; ☒ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Propuesta de diseño de un departamento de mantenimiento para una central hidroeléctrica en operación

Nombre del candidato(a): Hugo Quevedo Acevedo

Carrera / Grado: Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento

Campus: Santiago Vitacura ; **Departamento:** Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Fredy Kristjanpoller Rodríguez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 24-10-2025, Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 23-10-25, Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

1. Resumen ejecutivo

El desarrollo de este trabajo está enfocado en establecer una propuesta para diseñar un departamento de mantenimiento para una central hidroeléctrica en operación, que permita garantizar niveles óptimos de confiabilidad y disponibilidad de los activos físicos involucrados en el proceso de generación.

Mediante un diagnóstico inicial se identificaron brechas importantes, tales como la falta de una estrategia de mantenimiento formal, inexistencia de control sobre repuestos críticos, documentación incompleta y sin trazabilidad, riesgos a la seguridad y medio ambiente, además de falta de indicadores de desempeño que ayuden a la toma de decisiones.

La propuesta se estructura en torno a diez componentes fundamentales que permitirán abordar de manera integral las brechas detectadas:

1. Alineación de los objetivos estratégicos de la central hidroeléctrica, asegurando que la gestión del mantenimiento contribuya directamente a la misión, visión y metas de la compañía.
2. Diseño de una estructura organizativa especializada para el departamento de mantenimiento, definiendo roles, responsabilidades y competencias técnicas.
3. Desarrollo de una estrategia de mantenimiento, basada en la línea preventiva y predictiva, utilizando las mejores practicas de la norma ISO 55001.
4. Evaluación de criticidad de equipos alineada a la norma ISO 14224 para establecer prioridades de recursos y definir frecuencias optimas de intervención.
5. Gestión de inventarios y repuestos críticos, mediante la aplicación de la metodología RCS (Reliability Centred Spares) y complementado con el uso de Fracttal que permitirá el control y trazabilidad en tiempo real.
6. Implementación de procedimientos de seguridad y planes de respuesta ante emergencias los cuales fortalecerán la cultura preventiva y mitigarán los riesgos operacionales.

7. Estandarización de documentación técnica, auditorías y proceso de mejora continua, que garantizara la trazabilidad cumplimiento normativo y retroalimentación constante.
8. Definición de indicadores claves de desempeño (KPIs), como confiabilidad y disponibilidad operacional, energía no aprovechada, cumplimiento del plan de mantenimiento y costos asociados, que permitan medir la efectividad de la gestión y toma de decisiones informadas.
9. Plan anual de capacitación y desarrollo del personal, orientado a fortalecer las competencias técnicas, operativas y de liderazgo, integrando también acciones de gestión del cambio para facilitar la adquisición de las nuevas prácticas.
10. Plan de acción estructurado, el cual, organizará las etapas de implementación desde el diagnóstico y diseño organizacional, hasta la auditoría inicial y la operación continua, garantizando un despliegue progresivo, medible y sostenible.

La implementación y ejecución de esta propuesta permitirá alcanzar una disponibilidad operacional igual o superior al 95%, reduciendo la ocurrencia de fallas críticas, optimizando los costos de mantenimiento y extender la vida útil de los activos físicos, ayudando a una operación más confiable, segura y alineada con los objetivos estratégicos de la compañía. De esta manera la propuesta no solo apunta a la mejora de la gestión de mantenimiento, si no también al fortalecimiento organizacional y cultural, para sostener a largo plazo la gestión.

Índice

1.	RESUMEN EJECUTIVO	2
2.	INTRODUCCIÓN	6
3.	CONTEXTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	7
3.1	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	8
3.2	DIAGRAMA DE PROCESOS Y EQUIPOS	9
4.	LEVANTAMIENTO Y DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL DE LA CENTRAL	10
5.	DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	14
5.1	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL PRESENTE	17
6.	OBJETIVOS Y ALCANCE	18
6.1	OBJETIVO GENERAL	18
6.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	18
6.3	RESULTADOS ESPERADOS	18
7.	DESARROLLO DEL TEMA	19
7.1	ALINEACIÓN DE LOS OBJETIVOS ESTRATÉGICOS DE LA COMPAÑÍA	20
7.2	ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	20
7.3	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	24
7.4	EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE EQUIPOS	26
7.5	GESTIÓN DE INVENTARIOS Y REPUESTOS CRÍTICOS	27
7.6	PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD Y PLAN DE RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS	27
7.7	DOCUMENTACIÓN, AUDITORIAS Y MEJORA CONTINUA	28
7.8	ESTABLECIMIENTO DE INDICADORES CLAVES	31
7.9	PLAN DE CAPACITACIÓN AL PERSONAL	32
7.10	PLAN DE ACCIÓN	34
8.	CONCLUSIONES	36
9.	RECOMENDACIONES	38
10.	BIBLIOGRAFÍA	40
11.	ANEXOS	41

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Características técnicas.....	8
Ilustración 2: Proceso y equipos central hidroeléctrica.....	9
Ilustración 3: Metodología y sus ejes	10
Ilustración 4: Brechas detectadas eje estratégico	12
Ilustración 5: Brechas detectadas eje operativo	12
Ilustración 6: Brechas detectadas eje técnico	13
Ilustración 7: Estructura organizacional actual	17
Ilustración 8: Flujo de las etapas de la propuesta	19
Ilustración 9: Estructura organizacional propuesta.....	24

Índice de tablas

Tabla 1: Desarrollo metodología	11
Tabla 2: Riesgos y consecuencias.....	16
Tabla 3: Plan de acción	34
Tabla 4: Recursos estimados plan de acción.....	35
Tabla 5: Indicadores claves de desempeño	41

2. Introducción

Las centrales hidroeléctricas están conformadas por sistemas y subsistemas complejos, los cuales están compuestos por una serie de equipos y componentes tanto mecánicos como eléctricos, que poseen su propia criticidad dependiendo del funcionamiento asignado.

Debido a que cada equipo y componente cumple una función determinada dentro del proceso, es fundamental contar con un alto nivel de confiabilidad, ya que, para este negocio es importante asegurar la disponibilidad operacional y contar con los equipos a tiempo cuando sean requeridos para generar. Esto va de la mano con la disponibilidad de recurso hídrico, ya que, dependiendo de las características hidrológicas de la cuenca en que este inserta cada central, los caudales para generar pueden presentar diferente temporalidad (cuencas pluviales, cuencas nivo-pluviales, etc.), entendiéndose esto las centrales deben aprovechar toda el agua disponible para generar. Asimismo, las instalaciones deberán encontrarse en condiciones de responder de manera eficiente y oportuna a cualquier requerimiento del Coordinador Eléctrico Nacional (CEN). En este contexto, resulta indispensable disponer de un sistema de gestión de mantenimiento integral y robusto que asegure la confiabilidad operacional de los equipos, optimice los tiempos de mantenimiento preventivo y correctivo, garantice la disponibilidad y trazabilidad de repuestos en los plazos establecidos, fomente la implementación de estrategias coordinadas con proveedores y colaboradores, prolongue la vida útil de los activos, refuerce las políticas de seguridad ocupacional y protección ambiental, y contribuya a la eficiencia en la gestión de costos.

Dentro de este marco, se establecerá un Departamento de Mantenimiento encargado de definir y ejecutar las estrategias de mantenimiento más adecuadas para asegurar la conservación de las instalaciones, equipos y sistemas. Su objetivo será prevenir fallas que puedan generar indisponibilidad operativa y elevados costos de reposición de la funcionalidad de los activos, así como implementar herramientas que permitan la mejora continua de los planes de mantenimiento, la optimización de los tiempos de intervención, el uso eficiente de los recursos y el seguimiento de indicadores de desempeño, priorizando en todo momento la seguridad de las personas y la integridad de los equipos.

3. Contexto de la central Hidroeléctrica

La Central Hidroeléctrica se encuentra ubicada al pie de un Embalse, ubicado en la ruta L-39 CH KM 21 comuna de Colbún en la Región del Maule, está operando desde el año 2018. Posee una capacidad nominal de 78,5 millones de metros cúbicos de agua.

El Embalse es administrado por la Junta de Vigilancia y Asociaciones de Canalistas (regantes) que tienen los derechos de aprovechamiento de aguas de dicho Embalse, y en consecuencia como objetivo principal regular el flujo del río, dando garantías de disponibilidad de aguas para 40 mil hectáreas de cultivos agrícolas, y a más de 3.000 regantes de la zona de Linares. De igual forma, el Embalse aprovecha el flujo de agua destinado al riego para la generación, transmisión, venta y suministro de energía eléctrica.

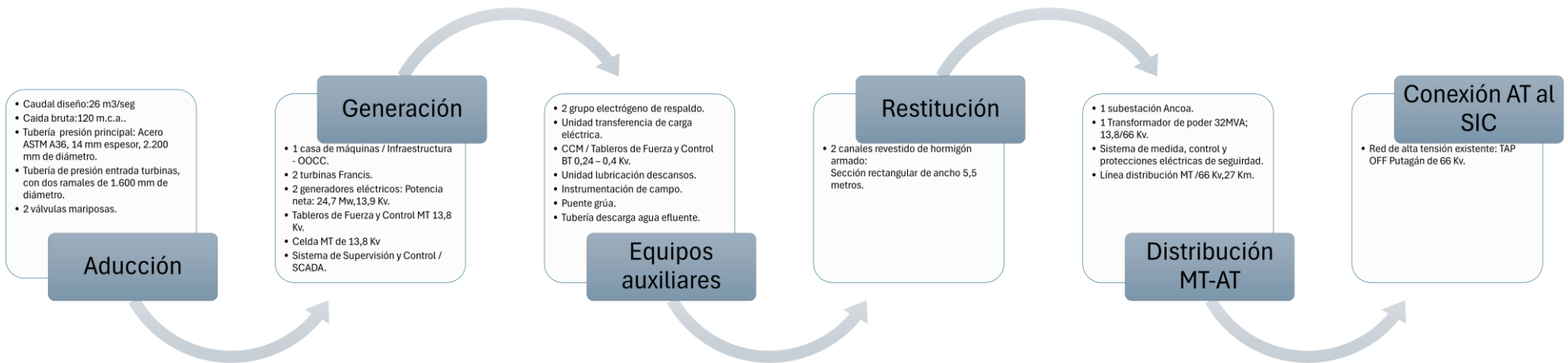
La variación de la cota del embalse está dada por la hidrología anual y desde la fecha de llenado de este no ha bajado de los 80 metros. Estas condiciones permiten que la central hidroeléctrica, posea una potencia de aproximadamente 24,7 MW, con una generación anual aproximadamente 86,3 GWh, con un factor de planta de 40%.

La operación de la central, y por ende su generación eléctrica, depende directamente de la demanda de agua para riego, de acuerdo con las necesidades agrícolas definidas por los agricultores beneficiarios del embalse. La disponibilidad de los recursos hídricos para la generación eléctrica se enmarca en los acuerdos suscritos entre los regantes y la generadora.

3.1 características técnicas de la central hidroeléctrica

De manera de establecer el contexto de la conformación de la central hidroeléctrica, se desarrolló un listado básico del equipamiento que posee de manera de visualizar las características técnicas de los equipos involucrados en la generación de energía eléctrica:

Ilustración 1: Características técnicas

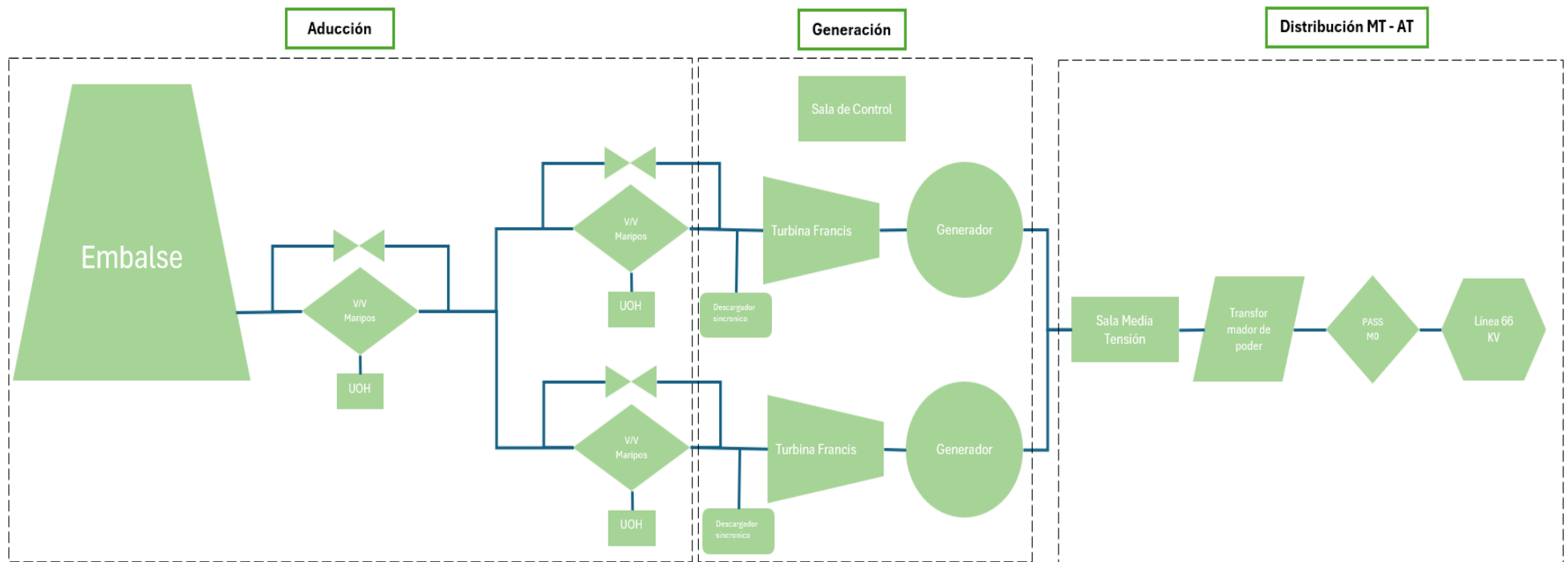


Fuente: elaboración propia.

3.2 Diagrama de procesos y equipos

Para representar el proceso de generación hidroeléctrica y conocer sus equipos críticos y sistemas, se desarrolló un diagrama de bloques en el cual se visualizan las etapas principales y los activos físicos que la componen:

Ilustración 2: Proceso y equipos central hidroeléctrica



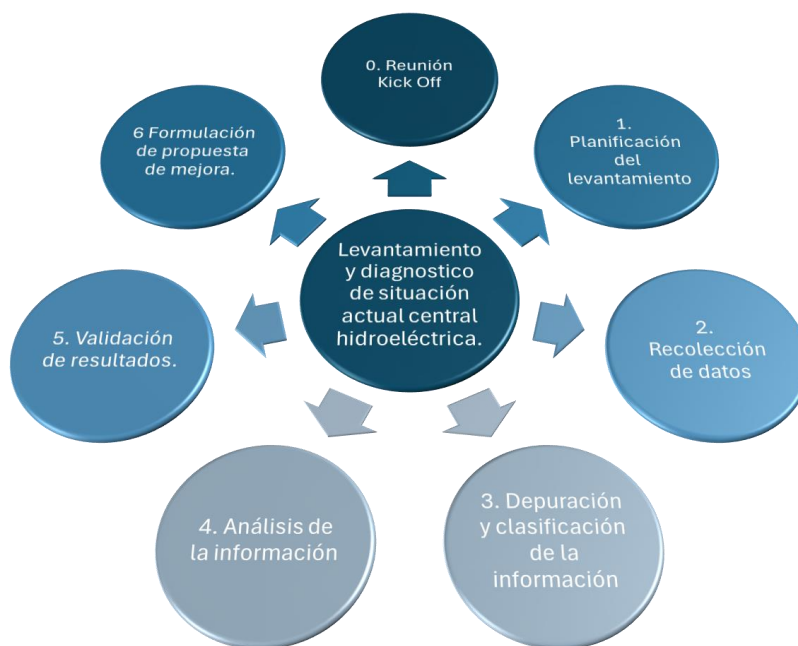
Fuente: elaboración propia.

4. Levantamiento y diagnóstico de situación actual de la central

Con el propósito de conocer el estado actual de la central hidroeléctrica y detectar oportunidades de mejora en la gestión de mantenimiento, se realizó un levantamiento y correspondiente diagnóstico estructurado, que permitió evaluar la situación técnica, organizacional y documental de la organización. El proceso de diagnóstico se ejecutó con la colaboración de una empresa asesora especializada en mantenimiento y gestión de activos. De esta manera se pudo asegurar la objetividad de los resultados.

La metodología utilizada se enfocó en 7 ejes secuenciados, permitiendo conducir el proceso de diagnóstico de forma ordenada, asegurando la trazabilidad de la información, el orden y depuración de los datos, obteniendo las brechas que originan el desarrollo de este trabajo. A continuación, se muestra los ejes principales:

Ilustración 3: Metodología y sus ejes



Fuente: elaboración propia.

Para enfocar la metodología se desarrolla un cuadro con las etapas, puntos fuertes a trabajar y las actividades necesarias para obtener los resultados. Este desarrollo fue elaborado y aprobado en conjunto con la dirección y la empresa asesora.

Tabla 1: Desarrollo metodología

Etapas	Descripción	Actividades principales	Resultados
0. Reunión Kick Off	Presentación de empresa asesora. Definición de los alcances y objetivos de la empresa asesora. Presentación de las partes de interés. Presentación del contexto de la central hidroeléctrica.	Conocimiento personal empresa asesora. Conocimiento de la experiencia de la empresa asesora. Presentación uno a uno de los departamentos de la central hidroeléctrica y personal que lo componen. Conocimiento de la conformación técnica y procesos de la central hidroeléctrica.	Diagramas de flujo del contexto de la central hidroeléctrica. Diagrama organizacional de la central hidroeléctrica.
1. Planificación del levantamiento	Definición de alcance, objetivos y metodología a utilizar en el diagnóstico	Revisión de documentación de la organización. Definición de ejes de análisis (estratégico, operativo, técnico) Coordinaciones con empresa asesora. Presentación del listado de la documentación necesaria.	Plan de levantamiento. Cronograma de trabajo. Carta Gantt.
2. Recolección de datos.	Obtención de la información cualitativa y cuantitativa de la situación actual de la central hidroeléctrica.	Entrevista con personal clave. Inspección y levantamiento en terreno. Revisión de informes técnicos. Revisión de registros de mantenimiento. Revisión de reportes de desempeño. Encuestas internas. Recolección de documentos relacionados con gestión de activos y mantenimiento.	Base de datos consolidada de información actual.
3. Depuración y clasificación de la información	Tratamiento de la información obtenida, asegurando la calidad y consistencia.	Eliminación de duplicados y datos obsoletos. Validación de fuentes. Selección de datos relevantes para el análisis. Clasificación por ejes (estratégicos, operativo y técnico)	Base de datos validada, clasificada y organizada
4. Análisis de la información	Identificar brechas, causas raíz y oportunidades de mejora.	Comparación de la información con estándares de la industria. Análisis de indicadores (Kpis) Matriz de criticidad. Priorización de brechas según impacto y urgencia.	Informe del diagnóstico con brechas identificadas.
5. Validación de resultados.	Confirmación de los hallazgos con el equipo interno de la central hidroeléctrica y empresa asesora.	Jornadas de trabajo para validación. Revisión conjunta de hallazgos. Ajustes según retroalimentación.	Validación del diagnóstico final.
6. Formulación de propuesta de mejora.	Definición de acciones concretas para cerrar brechas.	Diseño del departamento de mantenimiento. Plan de implementación. Indicadores de seguimiento y control.	Propuesta integral de mejora y plan de acción.

Fuente: elaboración propia

El diagnóstico permitió identificar brechas relevantes en gestión estratégica, operativa y técnica, las cuales se detallan a continuación:

Eje estratégico

Se detectaron brechas en los lineamientos de alto nivel que orientan la visión, la planificación y los objetivos corporativos de la central hidroeléctrica, agrupando las decisiones y políticas que definen el rumbo, como la gestión de riesgo, la sostenibilidad y la calidad de servicio.

Ilustración 4: Brechas detectadas eje estratégico



Fuente: elaboración propia.

Eje operativo

Se detectaron brechas en la gestión, control y ejecución que permiten el funcionamiento efectivo de la central hidroeléctrica. Abarcando la planificación y el control del mantenimiento, la gestión de recursos humanos, la administración de información y la contratación de servicios.

Ilustración 5: Brechas detectadas eje operativo



Fuente: elaboración propia.

Eje técnico

Se detectaron brechas en los procesos y practicas especializadas que garantizan la integridad, confiabilidad y disponibilidad de los activos físicos, incluyendo análisis de riesgo, gestión de activos, mejora continua y gestión del cambio.

Ilustración 6: Brechas detectadas eje técnico



Fuente: elaboración propia.

Los hallazgos evidencian la necesidad de formular y ejecutar una propuesta integral orientada a la creación de un Departamento de Mantenimiento que permita abordar de manera sistemática las brechas detectadas. Esta iniciativa busca fortalecer la gestión del ciclo de vida de los activos físicos de la central hidroeléctrica mediante la optimización de los procesos de mantenimiento preventivo y correctivo, la mejora continua de indicadores de desempeño, la reducción de riesgos operativos, el aseguramiento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, y la sostenibilidad a largo plazo de la infraestructura.

5. Descripción de la Problemática

La central hidroeléctrica en cuestión no cuenta con un departamento de mantenimiento formal y estructurado, esta gestión está a cargo de operaciones, lo que implica una falta de enfoque en la conservación y gestión de activos.

Principales brechas encontradas:

1. Falta de estructura de estrategia de mantenimiento.
 - No exista un plan matriz de mantenimiento que permita establecer de manera rigurosa actividades de mantenimiento y su frecuencia, lo cual, lleva a que las actividades se ejecuten sin un control y seguimiento, esto puede provocar el aumento de la probabilidad de fallas, llevando a detenciones no programadas impactando en la generación de energía eléctrica y costos adicionales no previstos.
 - Al no existir una planificación definida de mantenimiento preventivo que incluyan inspecciones técnicas o rutinarias, aumentan las intervenciones correctivas o reactiva, lo que aumenta el riesgo de fallas impactando en la disponibilidad de los equipos.
2. Mayor cantidad de fallas y tiempos de indisponibilidad.
 - Al no tener establecido un plan de mantenimiento predictivo, no es posible detectar a tiempo fallas insipientes o problemas en los equipos críticos.
 - Alta probabilidad de aumento en los costos debido a fallas imprevistas que provocan que los equipos no puedan generar en los momentos con mayor disponibilidad de recurso hídrico.
3. Inexistencia de gestión de repuestos e inventarios críticos.
 - No se ha estimado un inventario de repuestos críticos, necesarios para responder en caso de ser necesario.
 - No se controlan los consumos de repuestos utilizados en los mantenimientos o reparaciones, generando un desorden y no teniendo claro las existencias en bodega.
 - Aumento de costos en la adquisición de repuestos en las emergencias debido a necesitar con urgencia que los proveedores gestionen los componentes a fábrica y/o gestionar el envío de estos.
4. Falta taxonomía e identificación de equipos críticos.

- No existe un levantamiento de equipos y componentes que permita cuantificar la cantidad de estos mismo.
 - No se ha determinado los equipos críticos que ameriten un plan de mantenimiento adecuado para evitar fallas graves, desgaste prematuros y mal funcionamiento.
5. Falta de documentación y registros de mantenimiento.
- Para el análisis de fallas o problemas en los equipos no existe un historial documentado.
 - No existe trazabilidad de las actividades impidiendo la optimización de recursos y la planificación de mantenimiento.
6. Riesgo a la seguridad y medio ambiente.
- Alta probabilidad de accidentes a las personas y fallas críticas, debido a no tener claro protocolos de mantenimiento y seguridad.
 - Probabilidad de falla critica en equipos que pueden provocar un impacto elevado al medio ambiente y comunidades cercanas.
7. Falta de indicadores de desempeño.
- No existe una medición del rendimiento del mantenimiento con indicadores claves como el tiempo medio entre fallas y/o el tiempo medio de reparación.
 - Dificultad en la toma de decisiones estrategias debido a la falta de indicadores basados en mejora continua.

Las brechas identificadas evidencian que la central hidroeléctrica opera con un elevado nivel de incertidumbre respecto a la confiabilidad y disponibilidad de sus activos, lo que pone en riesgo su eficiencia y rentabilidad. La ausencia de una estructura adecuada de Departamento de Mantenimiento puede derivar en pérdidas significativas de generación y, en consecuencia, en una reducción de los ingresos por venta de energía, producto de fallas que generan elevados costos de reparación y disminuyen la vida útil de los equipos.

Tabla 2: Riesgos y consecuencias

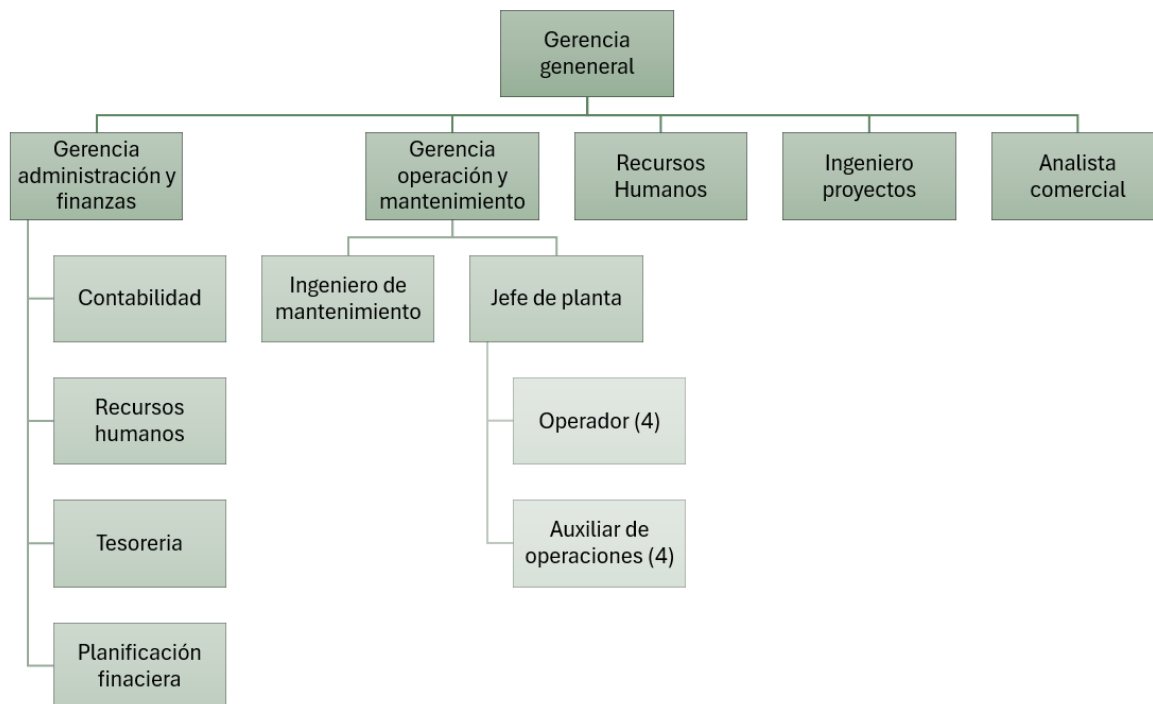
Riesgo	Consecuencias	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo
Fallas en turbinas y generadores por desgaste o falta de mantenimiento preventivo	Paradas no programadas, pérdida de generación, altos costos de reparación, reducción de vida útil	Alta	Alto	Crítico
Indisponibilidad de repuestos críticos para equipos electromecánicos	Prolongación de tiempos de reparación, aumento de indisponibilidad y pérdida de ingresos	Alta	Alto	Crítico
Deficiencias en el sistema de control y automatización (SCADA/PLC)	Interrupciones en la operación continua, riesgos de fallas operativas y de seguridad	Media	Alto	Alto
Incremento de costos operativos por fallas y mantenimientos correctivos	Reducción de rentabilidad, presión sobre presupuestos operativos	Alta	Medio	Alto
Penalizaciones contractuales por incumplimiento de disponibilidad de generación	Pérdida económica y reputacional	Media	Alto	Alto
Accidentes laborales durante operación o mantenimiento	Lesiones al personal, sanciones legales, paralización de actividades	Media	Alto	Alto
Derrames de aceites/lubricantes u otros contaminantes	Daños ambientales, multas regulatorias, impacto reputacional	Media	Alto	Alto
Incumplimiento de normativas ambientales o regulatorias	Multas, sanciones y restricciones operativas	Media	Alto	Alto
Eventos naturales extremos (sismos, inundaciones) que afecten infraestructura crítica	Daños severos a activos, interrupción prolongada de operaciones	Baja	Alto	Medio/Alto
Carencia de un sistema formal de gestión de mantenimiento	Alta indisponibilidad de activos, fallas recurrentes, reducción de vida útil	Alta	Alto	Crítico
Falta de capacitación continua para el personal técnico	Mayor probabilidad de errores operativos, menor eficiencia y seguridad	Media	Medio	Medio
Deficiencias en la trazabilidad documental y registros históricos de activos	Falta de información para decisiones, errores en planificación de mantenimiento	Media	Medio	Medio

Fuente: elaboración propia.

5.1 Estructura organizacional presente

Se presenta a continuación la estructura organizacional presente de la central hidroeléctrica, la cual permite visualizar la jerarquía y la distribución del personal involucrado. Este esquema representa los diferentes niveles de autoridad, las áreas técnicas y administrativas.

Ilustración 7: Estructura organizacional actual



Fuente: elaboración central hidroeléctrica.

6. Objetivos y Alcance

6.1 Objetivo general

Diseñar un departamento de mantenimiento para una central de generación hidroeléctrica que permita asegurar la confiabilidad de los sistemas, equipos y componentes involucrados en el proceso de generación, de esta manera maximizar la disponibilidad operacional de la planta.

6.2 Objetivo específico

- Establecer la estrategia de mantenimiento adecuada para la planta.
- Definir indicadores claves de desempeño.
- Metodología para establecer criticidad de equipos.
- Establecer la metodología para control de inventarios y repuestos críticos.
- Definir la estructura organizativa del departamento.
- Definir competencias, descriptores de cargos y responsabilidades del personal.
- Desarrollo de procedimientos de mantenimiento.
- Desarrollo de procedimientos de seguridad y plan de repuesta ante emergencias.
- Basar la metodología bajo la norma ISO 55001 exigida por la Superintendencia de electricidad y combustible.
- Implementar un sistema de auditorías internas y externas para conocer el estado de la metodología y su implementación.

6.3 Resultados esperados

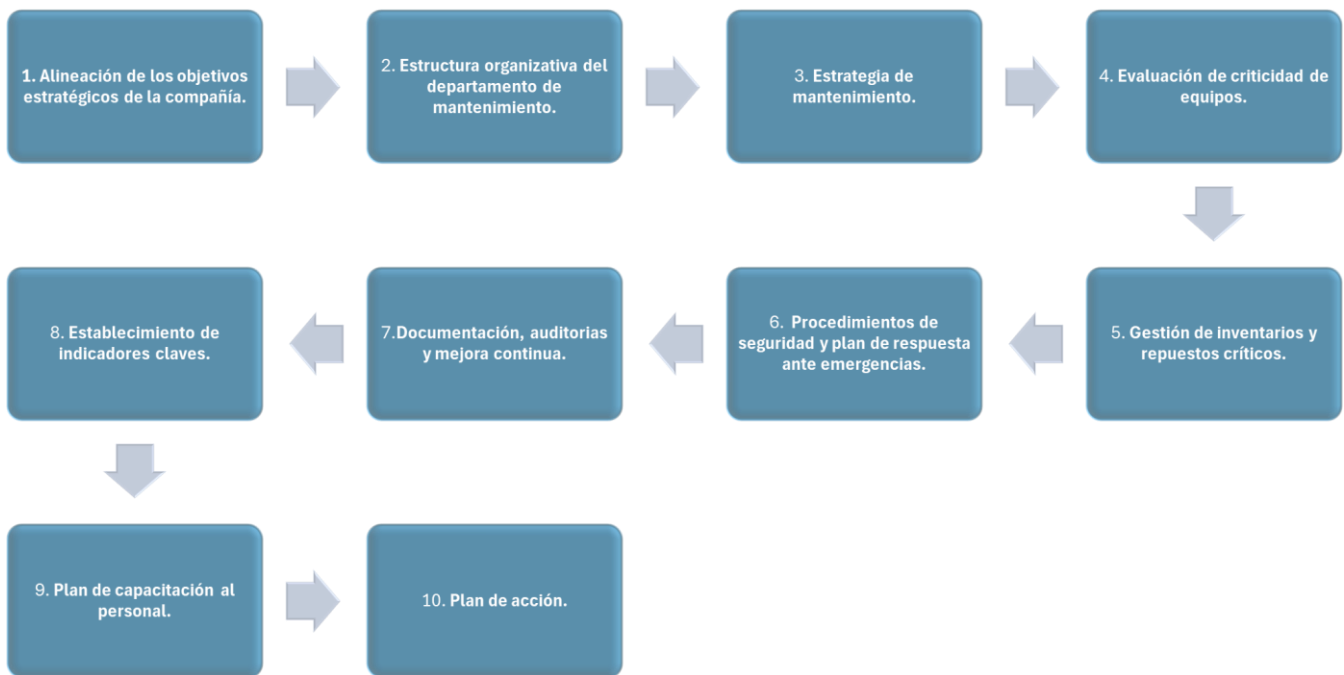
- Un departamento de mantenimiento acorde a la necesidad real de la central hidroeléctrica
- Toma de decisiones estratégicas en base indicadores de desempeño (Kpi)
- Identificación de equipos críticos con su respectivo plan de mantenimiento estratégico.
- Asegurar la integridad de las instalaciones y procesos que participan en la generación hidroeléctrica de la planta.
- Desarrollo y control presupuestaria correcta acorde a la necesidad real de la central.

- Mantener la disponibilidad sobre el porcentaje determinado por la alta dirección.

7. Desarrollo del Tema

La propuesta de diseño del departamento de mantenimiento esta soportada por metodologías reconocidas, lo cual, garantiza en enfoque técnico y normativo sólido. La propuesta está adaptada a la realidad de la central hidroeléctrica, de manera que sea coherente y pueda ser adoptada e implementada en un mediano plazo. A continuación, se establece un flujo y orden de los pasos a seguir.

Ilustración 8: Flujo de las etapas de la propuesta



Fuente: elaboración propia.

7.1 Alineación de los objetivos estratégicos de la compañía

El departamento de mantenimiento se debe alinear a los objetivos estratégicos de la empresa, de manera de contribuir al éxito de esta. Es por esta razón que se debe primero que todo establecer objetivos. Por lo cual, se proponen jornadas de trabajo estratégicas que deben estar lideradas por el gerente general y los líderes de cada área, de esta manera se establecerán los principales ejes estratégicos y su relación con la gestión de mantenimiento. A continuación, se presentan 5 ejes que se consideran en directa relación con mantenimiento, que permitirían alinear los objetivos de la empresa.

- a. Eficiencia operacional: La central hidroeléctrica debe maximizar la generación de electricidad con el menor costo posible, por lo cual, hacer el mantenimiento eficiente nos permitiría optimizar los recursos, disminuyendo fallas y tiempos de inactividad.
- b. Responsabilidad ambiental: Con la inclusión de mantenimientos preventivos y predictivos podemos evitar fallas que provoquen un impacto ambiental.
- c. Seguridad y salud ocupacional: Con una estructura del mantenimiento podemos asegurar condiciones de operación seguras, lo que ayuda a reducir los riesgos de accidentes a las personas.
- d. Cumplimiento regulatorio: las centrales hidroeléctricas deben cumplir con las normativas vigentes por lo cual, se debe asegurar la confiabilidad y seguridad de equipos e instalaciones.
- e. Optimización del capital y activos: una gestión adecuada del mantenimiento permite extender la vida útil de los equipos, reduciendo la posibilidad de inversiones imprevistas.

7.2 Estructura organizativa del departamento de mantenimiento

El departamento de mantenimiento propuesto se analiza dentro del marco organizacional actual de la central hidroeléctrica, de esta forma su implementación pueda contribuir al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la empresa. Actualmente, la gestión de mantenimiento se encuentra distribuida dentro del área de operaciones, generando duplicidad de funciones, falta de trazabilidad y comunicación deficiente entre los niveles administrativos y técnicos.

Desde una perspectiva estratégica, la estructura propuesta de mantenimiento se debe integrar con el área de operación y mantenimiento (O&M), fortaleciendo la confiabilidad de los activos, la seguridad de las personas y la eficiencia operativa, actuando como un soporte especializado. Además, mejorar la coordinación interdepartamental utilizando canales formales de comunicación entre las áreas de operación, finanzas, recursos humanos y medio ambiente, permitiendo que la gestión se alinee con la visión corporativa y excelencia operacional.

El nuevo departamento se convertirá en un eje transversal dentro del modelo de gestión de activos de la empresa, el cual, apoyará la planificación estratégica y la toma de decisiones basada en indicadores de desempeño. Esto facilitará la aplicación de la norma ISO 55001, la establecer responsabilidades claras sobre el ciclo de vida de los activos, la gestión del riesgo y la optimización del presupuesto anual.

En síntesis, la propuesta no busca una unidad aislada, si no fortalecer la estructura existente mediante un modelo colaborativo y jerárquicamente alineado con la gerencia de operación y mantenimiento, aumentando el valor agregado al negocio de generación eléctrica, mediante la reducción de costos, mejora de la disponibilidad de los equipos y componentes y el incremento de la confiabilidad global de la central.

- **Equipo Actual:** Las personas que componen el equipo de trabajo no tienen un enfoque técnico y de gestión en mantenimiento, es por esta razón, que los esfuerzos por conservar la función de los activos no tiene buenos resultados, ya que, no se le da la importancia a la ejecución de calidad de las tareas de mantenimiento y no existe gestión sobre las actividades necesarias para tener resultados óptimos.
- **Propuesta de estructura:** Para asegurar el correcto funcionamiento del departamento de mantenimiento, se definen los principales cargos, sus responsabilidades y perfiles requeridos. La estructura busca garantizar el equilibrio entre la gestión técnica la planificación y la operación en terreno, promoviendo la especialización y el trabajo colaborativo.

1. Gerente de operación y mantenimiento

Responsabilidades: Gestionar y supervisar las áreas de operación y mantenimiento, asegurar el cumplimiento de los objetivos estratégicos y financieros de la central hidroeléctrica, aprobar presupuestos y liderar la implementación del sistema de gestión de activos.

Perfil: Ingeniero civil, eléctrico o mecánico, con al menos 10 años de experiencia en operación de plantas industriales o de generación eléctrica

2. Jefe de mantenimiento

Responsabilidades: Planificar, coordinar y controlar las actividades de mantenimiento, preventivo, predictivo y correctivo. Gestionar los indicadores de mantenimiento. Supervisar el personal técnico en los mantenimientos mayores de la central y garantizar la disponibilidad de los equipos y componentes.

Perfil: Ingeniero en mantenimiento o ingeniero mecánico, con 5 años de experiencia en la industria o centrales de generación, manejo avanzado de CMMS, metodología RCM y RCS.

3. Jefe de central

Responsabilidades: Supervisar la operación de la central hidroeléctrica, asegurando el cumplimiento de los parámetros de generación, coordinar al personal operativo. Velar por la seguridad del personal y las instalaciones. Elaborar informes de gestión y participar activamente en propuesta de mejora de disponibilidad.

Perfil: Ingeniero eléctrico con al menos 5 años de experiencia en operación de centrales hidroeléctricas. conocimiento de sistemas de control y normativa eléctrica.

4. Planificador de mantenimiento

Responsabilidades: Elaborar el plan matriz de mantenimiento, programar actividades, gestionar indicadores de desempeño y coordinar la disponibilidad de repuesto, insumos y materiales.

Perfil: Ingeniero o técnico en mantenimiento industrial. Dominio de software CMMS, análisis de datos y gestión de repuestos.

5. Supervisor de mantenimiento

Responsabilidades: Controlar en terreno la ejecución de las actividades de mantenimiento planificadas, asegurando el cumplimiento de los estándares de seguridad y calidad necesarios. Generar reporte de técnicos y cierre de ordenes de trabajo en Fractal.

Perfil: Técnico electromecánico con al menos 3 años de experiencia en mantenimiento industrial o centrales de generación.

6. Operador mantenedor

Responsabilidades: Operar la central hidroeléctrica bajo procedimientos de operación y estándares de calidad. Ejecutar mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos, según procedimientos establecidos y estándares de seguridad, registros de información en Fractal y reportes de anomalías.

Perfil: Técnico nivel superior eléctrico o electrónico con experiencia en centrales de generación, conocimiento en seguridad eléctrica y análisis de fallas.

7. Técnico de mantenimiento

Responsabilidades: Ejecutar mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos, según procedimientos establecidos y estándares de seguridad, registros de información en Fractal y reportes de anomalías.

Perfil: Técnico nivel superior mecánico, eléctrico o electromecánico con experiencia en centrales de generación, conocimiento en seguridad eléctrica y análisis de fallas.

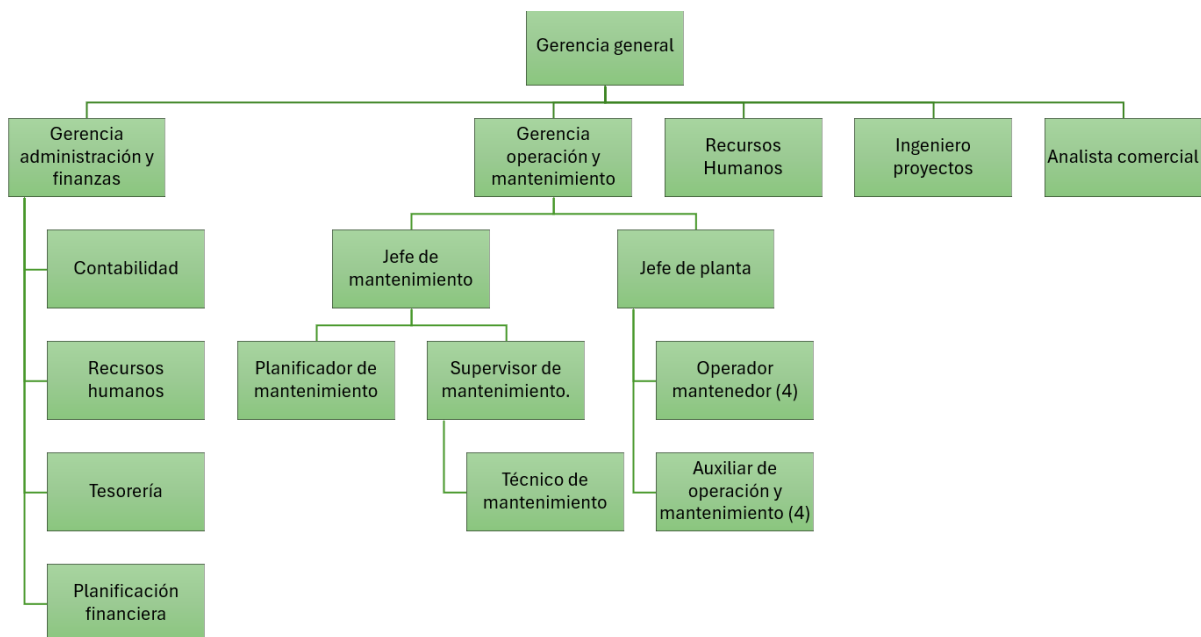
8. Auxiliares de operación y mantenimiento

Responsabilidades: Colaboración activa en la operación y mantenimiento de la central hidroeléctrica.

Perfil: Técnico de liceo industrial con conocimiento en mantenimiento de industrial.

- **Estructura organizacional con el nuevo departamento de mantenimiento:** Se presenta el nuevo esquema con la estructura recomendada. Su finalidad es evidenciar los nuevos cargos propuestos, su responsabilidad y la cadena de mando, que garantice una gestión eficiente del mantenimiento, la operación y los recursos humanos, asegurando el cumplimiento de los objetivos estratégicos.

Ilustración 9: Estructura organizacional propuesta



Fuente: elaboración propia.

7.3 Estrategia de mantenimiento

Dado que ya existen actividades de mantenimiento se debe establecer una estructura formal que defina claramente los procesos y procedimiento tanto de las estrategias preventivas, predictivas y correctivas, con base en las recomendaciones de los fabricantes y la experiencia del personal:

- **Gestión de mantenimiento mediante software CMMS:** Para gestionar de forma eficaz y eficiente todos los procesos de mantenimiento se propone utilizar un CMMS, con la finalidad de automatizar las tareas rutinarias, planificar y programar su ejecución, supervisar el resultados de estas mismas, controlar de forma efectiva

el tiempo utilizado y los recursos necesario, dentro de otros beneficios. Para esto se recomienda utilizar el software Fracttal, el cual, posee la facultad de ser un programa digital, con toda la información en la nube y permite trabajar fuera de línea en las áreas donde no se tiene acceso a internet.

- **Estrategia preventiva:** La base principal del mantenimiento en la central hidroeléctrica es el plan matriz de mantenimiento, el cual, debe estar basado en una estrategia preventiva de manera de asegurar la confiabilidad de los equipos en el periodo de 1 año. Esto debe asegurar la ejecución del overhaul anual para los equipos principales como turbinas, generadores, sistema de refrigeración y equipos críticos definidos. Se debe definir un programa de mantenimiento preventivo para todos los equipos, componentes y sistemas, se utilizará Fracttal para documentar las tareas y planificar ordenes de trabajo de acuerdo con el plan matriz de mantenimiento.
- **Estrategia predictiva:** Se debe implementar formalmente un programa de actividades predictivas, como vibraciones para equipos rotativos como generadores, termografías para equipos y componentes eléctricos, análisis de aceite para sistemas de lubricación y comando, resistencia de aislamiento para bobinados, entre otras. Todo esto debe estar contenido en el plan matriz de mantenimiento y debe ser gestionado mediante Fracttal. El monitoreo de condición es importante para saber la salud de los equipos, hacer seguimiento a fallas incipientes y/o adelantarse a ellas. Se debe crear un procedimiento de análisis y diagnóstico de condición para saber como actuar en el caso de detectar alguna condición fuera de norma.
- **Estrategia correctiva:** Se debe desarrollar un procedimiento de acción rápida en caso de afectación a equipos críticos, de manera de estar preparados con los recursos necesario, repuestos y coordinaciones. Se debe considerar que toda desconexión por fallas y mantenimiento tiene afectación directa en el calculo de venta de la generación de la central.

7.4 Evaluación de criticidad de equipos

Para la gestión del departamento de mantenimiento es importante saber cuales son los equipos de la central hidroeléctrica con mayor criticidad dentro del proceso, de esta manera podemos identificar con claridad los riesgos potenciales que afecten el proceso de generación ante una falla.

Para evaluar la criticidad de un equipo es importante saber que impacto tendría una falla en la operación, teniendo en cuenta factores como los costos, seguridad, generación y medio ambiente. Se recomienda los siguientes pasos para realizar la evaluación:

- a) Identificación de equipos y componentes: se debe realizar un levantamiento de todos los equipos y componentes involucrados en el proceso de generación. Este levantamiento se debe realizar identificando en terreno y mediante planos que ayuda a identificar los componentes eléctricos. Es en este levantamiento que se debe identificar los equipos padres y sus componentes asociados, además de sus diferentes procesos.
- b) Definición de criterios de criticidad: En esta etapa se debe definir cuáles serán los criterios que se utilizarán para hacer la evaluación por equipo de su criticidad, entendiendo que cual será el impacto que tendrán en la generación, costos, medio ambiente y seguridad.
- c) Evaluación de la criticidad: aquí se evalúa cada equipo según los criterios definidos, agregando una puntuación o nivel de criticidad.
- d) Análisis de resultado: Según los resultados obtenidos se debe realizar un análisis para identificar los equipos con mayor criticidad, a los cuales se les dará prioridad en las acciones de mantenimiento.
- e) Desarrollo de la estrategia: Si bien todos los equipos y componentes deben tener un plan de mantenimiento, a los equipos críticos se les desarrollara una estrategia que permita minimizar la perdida de su la función, cada estrategia va en función del equipo, puede contener mantenimientos preventivos y predictivos de manera independiente o coordinada, además de planes de como actuar en caso de falla y necesidad de mantenimiento correctivo.

Se recomienda utilizar la norma ISO 14224 para evaluar criticidad de los equipos, ya que, dentro de la norma se encuentra un marco teórico que permite realizar el levantamiento

ordenado y sistemático de los activos, desarrollar la taxonomía de cada uno de ellos, entrega información mediante tablas para realizar la evaluación de criticidad según el criterio de gravedad, probabilidad y detección de las fallas.

7.5 Gestión de inventarios y repuestos críticos

Para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de generación eléctrica, se debe disminuir los tiempos por detenciones debido a fallas y mantenimientos prolongados, por lo que se necesitan altos niveles de planificación, no solo en las tareas de mantenimientos, si no también en la disponibilidad y acceso a todas las partes, piezas y repuestos para una ejecución efectiva. Por este motivo se debe responder a las siguientes preguntas ¿Qué repuestos pedir?, ¿Cuántos repuestos pedir?, ¿Cuándo se deben pedir?, para responderlas se debe implementar un modelo para determinar inventario de repuestos críticos.

Se recomienda utilizar la metodología RCS (Reliability Centred Spares), ya que, permitirá identificar el nivel de inventario de repuestos óptimo, basándose en la confiabilidad de los equipos y sus costos asociados. Además, asegurar los repuestos necesarios para los mantenimientos, evitando la falta y el sobre stock.

Para administrar el stock de repuestos se utilizará el módulo que proporciona Fractal one que permite gestionar las existencias, máximos y mínimos, ajuste de inventarios y la integración a las órdenes de trabajo, permitiendo asignar los recursos necesarios para la actividad de mantenimiento.

7.6 Procedimientos de seguridad y plan de respuesta ante emergencias

Se debe implementar un plan de respuesta a emergencias, el cual, debe entregar en detalle los procedimientos que se deben seguir en caso de un incidente. A la vez los procedimientos de seguridad deben especificar las acciones para prevenir o mitigar los riesgos. Plan y procedimientos son vitales para proteger a las personas y activos en situación de emergencia.

Plan de respuesta a emergencias: este documento debe describir las acciones que se deben tomar en caso de un evento que pueda poner en peligro la seguridad de las personas, activos y/o medio ambiente. Debe considerar los siguiente:

- Identificación de riesgos: analizar las posibles amenazas del entorno, incendios, derrames, deslizamiento de rocas, terremotos, aluviones, etc.
- Procedimiento de evacuación: Identificar puntos de encuentro, rutas de emergencia, demarcación de áreas y protocolos para los distintos tipos de emergencia.
- Comunicación efectiva: identificaciones e implementación de alarmas, canales de comunicación con las entidades de emergencia y personal clave de respuesta ante incidentes.
- Equipamiento de emergencia: Implementar extintores, botiquines kit de emergencias, tablas inmovilizadoras, etc, identificando su ubicación y capacitación del correcto uso.
- Capacitación: establecer un plan de capacitación, entrenamiento y simulacro, para asegurar que todo el personal sepa como actuar en caso de emergencias.

Procedimientos de seguridad: Documento que debe contener todas las medidas preventivas para evitar que ocurra una situación de emergencia y/o minimizar sus consecuencias. Ejemplos para considerar:

- Inspecciones regulares: Inspección de extintores, salidas de emergencia, central de incendios, etc.
- Almacenamiento seguro: Rotulado y almacenamiento de materiales peligrosos.
- Bloqueo loto: Bloqueo y etiquetado de energías eléctrica, mecánica e hidráulica.

7.7 Documentación, auditorias y mejora continua

Se debe implementar la gestión documental, ya que, es importante tener información de calidad que permita un registro histórico, facilite la trazabilidad de las actividades de mantenimiento, ayude a prevenir errores, mejores la seguridad y permita reducir los costos. Tener la documentación ordenada además permite la transferencia de conocimientos y experiencia.

Registro histórico: Se debe registrar todas las tareas de mantenimiento, las cuales deben incluir los resultados obtenidos, los responsables y la línea de tiempos de la ejecución. Esta información es importante para el análisis de rendimiento de los activos, la planificación del mantenimiento preventivo y la solución de problemas.

Trazabilidad: importante para saber el historial de mantenimiento de los activos, identificación de patrones de falla y la gestión de las garantías.

Prevención de errores: Al documentar los procedimientos e implementar la gestión de cambio, permite minimizar la probabilidad de errores en la ejecución de las actividades y el riesgo a fallas y accidentes.

Reducción de costos: Los registros permiten optimizar el uso de repuestos e insumos, predecir fallas programar de manera adecuada las tareas preventivas.

Mejoramiento de la seguridad: Los procedimientos de seguridad y verificar que estos se cumplan, crean un ambiente y entorno de trabajo seguro.

Transferencia de conocimientos: Fundamental el intercambio de conocimiento entre los operadores mantenedores, lo que asegura que la experiencia y conocimiento se mantenga rotando en el equipo de trabajo.

Cumplimiento normativo: para demostrar el cumplimiento normativo exigido por las entidades reguladores, es fundamental mantener el registro documental.

Auditorias

Las auditorias al departamento de mantenimiento son necesarias para evaluar y analizar el estado del sistema de gestión establecido. El objetivo principal es verificar el cumplimiento de las prácticas y estándares establecidos, identificar deficiencias y áreas de mejora, recomendar acciones correctivas para optimizar la eficiencia y confiabilidad de los activos. En la auditoría se debe analizar los aspectos relacionados con los procesos de mantenimiento, como la planificación y programación de tareas, la gestión de activos, la capacitación del personal, el cumplimiento de normas y regulaciones, y la eficacia de las estrategias de mantenimiento.

Se recomienda utilizar la siguiente estructura:

Planificación

Definición del alcance: primero se debe definir el alcance de la auditoría, la cual debes estar claramente identificada y comunicada a todas las partes interesadas.

Identificación de los objetivos: Establecer las metas y resultados esperados, los cuales, deben estar alineados con la estrategia del departamento de mantenimiento y la gerencia general.

Plan de la auditoría: Ya definidos el alcance y objetivos, se debe establecer el plan, lo que implica identificar los recursos, cronograma y calendarizar las actividades, además de definir el equipo, sus funciones y responsabilidades.

Establecer el equipo: Se debe designar a las personas involucradas en las auditorías, que deben ser guiadas por un líder. Se debe considerar al personal con mayor experiencia en el área de mantenimiento, auditores o consultores externos. Considerar capacitaciones al personal.

Programa: Establecer un cronograma para las actividades de auditoría, incluyendo las fases de preparación, ejecución y presentación de informes. El cronograma de la auditoría debe comunicarse a todas las partes interesadas.

Ejecución

Recorrido a la central: como primera etapa de la ejecución, se debe observar los equipos y procesos, identificar posibles áreas de mejora y recopilar información sobre las prácticas y procedimientos de mantenimiento implementados.

Revisión de registros y documentos: Revisar los registros y la documentación de mantenimiento, incluyendo las órdenes de trabajo, el historial del equipo y los registros históricos de mantenimiento.

Evaluar las prácticas: Evaluar la eficacia de las prácticas y procedimientos de mantenimiento implementados. Esto implica evaluar la calidad del trabajo de mantenimiento, identificar cualquier deficiencia en los procesos y elaborar recomendaciones de mejora.

Evaluar el cumplimiento de normas: Evaluar el cumplimiento de las regulaciones y normas, incluyendo los requisitos de seguridad y ambientales. Identificar cualquier incumplimiento, para desarrollar e implementar medidas correctivas.

Resultados

Hallazgos y conclusiones: Se debe elaborar el informe, en el cual, se deben resumir los hallazgos y conclusiones, incluyendo una visión general de los resultados, donde se deben destacar las fortalezas y debilidades de los procedimientos y prácticas de mantenimiento.

Recomendaciones: Basados en los hallazgos detectados se debe realizar recomendaciones, las cuales deben ser específicas, viables y con prioridad a las que generan impacto.

Presentación de informe: el informe de la auditoria debe ser presentado a la alta dirección para su revisión y aprobación, donde debe destacar el plan de acción en base a las mejoras sugeridas.

Seguimiento a recomendaciones: Se debe desarrollar un plan de seguimiento, donde se deben incorporar métricas de desempeño y auditorias periódicas.

7.8 Establecimiento de indicadores claves.

La importancia de medir la gestión de mantenimiento se basa en identificar mejoras, optimizar recursos, asegurar el funcionamiento continuo de los equipos, evaluar eficiencia y efectividad, por esta razón se deben establecer indicadores claves que permitan información objetiva y medible para la toma de decisiones.

Los indicadores claves definidos se resumen en la tabla del anexo N°1 “Indicadores claves de desempeño”.

Se resumen 4 indicadores principales que resultan críticos para la gestión de la central hidroeléctrica.

1. **Disponibilidad:** Porcentaje de tiempo que se considera disponible o listo para generar la central y las turbinas. Se considera para el cálculo las horas por desconexiones planificadas y no planificadas.
2. **Confiabilidad:** Porcentaje de tiempo que se considera que la central y/o equipo funcionan de manera confiable, sin fallas o actividades correctivas. Se considera para el cálculo las horas por desconexiones no planificadas.

3. **Energía no aprovechada:** Cantidad de energía medida en Mwh, que se pierde por desconexiones que no permiten aprovechar el recurso hídrico disponible.
4. **Cumplimiento plan matriz de mantenimiento:** Considera la relación entre la cantidad de HH del plan de mantenimiento preventivo, efectivamente ejecutado, con respecto a la totalidad de HH de actividades preventivas contempladas para el periodo.

7.9 Plan de capacitación al personal.

De manera de asegurar que la propuesta sea implementada y genere un impacto sostenible en la organización, es fundamental incorporar un enfoque de gestión del cambio, el cual, busca facilitar la transición desde la situación actual hacia lo deseado, minimizando la resistencia de las personas y promoviendo la adquisición de nuevas prácticas, herramientas y comportamientos.

El objetivo de esta propuesta es garantizar que las iniciativas propuestas, en particular el plan de capacitación y desarrollo de competencias sea comprendido, aceptado y pueda ser aplicado por todo el equipo de personas, esto permitirá fortalecer la cultura organizacional en busca de la mejora continua y la excelencia operacional.

Acciones claves necesarias.

Comunicación efectiva del cambio: Establecer un plan de comunicación claro y transparente explicando el propósito, los beneficios y las etapas del cambio. Es importante que todo el personal comprenda que esas acciones impactaran positivamente sus labores y sobre todo los resultados de la organización.

Participación y compromiso del personal: Involucrar a los distintos niveles jerárquicos, fomentando la participación y el sentido de pertenencia. Se debe incluir talleres participativos, reuniones informativas y espacios de retroalimentación entre las áreas y equipos.

Capacitación y desarrollo de competencias: De manera de mejorar las habilidades, competencias y conocimientos del equipo humano de trabajo, se recomienda crear un plan anual de capacitaciones, el cual, debe identificar las necesidades de formación de las personas y establecer objetivos para su desarrollo profesional.

Se recomienda iniciar en el corto plazo con las siguientes capacitaciones:

1. Auditorias.
2. Uso de Fracttal.
3. Análisis causa raíz.
4. Liderazgo.

Apoyo de la alta dirección: Es importante el respaldo visible y constante de la dirección de esta manera se refuerza la importancia del cambio. Los líderes de las áreas deben actuar como promotores, impulsando la motivación y dando el ejemplo.

Monitoreo y retroalimentación: Se debe implementar mecanismos de seguimiento que permitan evaluar el nivel de adquisición de las nuevas prácticas, identificar brechas y ajustar los procesos según los resultados.

Reconocimiento al esfuerzo: Establecer una estructura de reconocimiento para valorar y destacar los logros de los equipos y personas, que demuestren compromiso con el cambio, esto fortalecerá la mejora continua y motivará a los demás.

7.10 Plan de acción

Se propone el siguiente plan de acción con el propósito de fortalecer lo expuesto en el desarrollo de este trabajo. Se estructura en fases secuenciales que abarcan desde el diagnóstico inicial hasta la operación continua y la mejora permanente. Este plan busca asegurar una implementación ordenada y efectiva de la propuesta desarrolladas, incluyendo aspectos técnicos, organizacionales y de gestión de cambio.

Tabla 3: Plan de acción

<i>Fase / Actividad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Responsable</i>	<i>Duración estimada</i>	<i>Resultado esperado</i>
1. Diagnóstico inicial	Levantamiento de información: equipos, criticidad, inventarios, personal, brechas.	Jefe de Mantenimiento + Consultor externo	1 – 2 meses	Informe diagnóstico y plan preliminar.
2. Diseño organizacional	Definición de organigrama, roles, responsabilidades y descriptores de cargo.	Gerencia O&M + RRHH	1 mes	Estructura organizacional aprobada.
3. Plan matriz de mantenimiento (PMMP)	Desarrollo del plan preventivo/predictivo basado en criticidad (ISO 14224).	Ingenieros de mantenimiento	2 meses	Plan matriz documentado y validado.
4. Implementación del CMMS (Fractal)	Parametrización de activos, carga de planes, creación de OT, gestión inventarios.	Planificador + Proveedor CMMS	2 – 3 meses	Sistema CMMS operativo y personal capacitado.
5. Gestión de repuestos críticos	Aplicación metodología RCS y control inventario con CMMS.	Encargado de Bodega + Ingenieros	2 meses	Inventario de repuestos críticos definido y controlado.
6. Procedimientos de seguridad y emergencias	Desarrollo de protocolos LOTO, evacuación, planes de contingencia.	Prevencionista + Jefe de Mantenimiento	1 – 2 meses	Manual de seguridad y plan de emergencias aprobado.
7. Capacitación del personal	Formación en CMMS, RCS, RCA, ISO 55001, seguridad eléctrica.	RRHH + Proveedor capacitaciones	Permanente (primer ciclo: 6 meses)	Personal entrenado y certificado.
8. Auditoría inicial y ajustes	Revisión del cumplimiento de planes, procesos y KPIs iniciales.	Auditoría interna / externa	1 mes	Informe de auditoría y plan de mejora.
9. Operación continua y mejora	Ejecución del mantenimiento, seguimiento de KPIs y mejora continua.	Todo el Departamento	Permanente	Disponibilidad $\geq$ 95%, reducción de fallas críticas.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describe os recursos estimados requeridos para ejecutar cada fase del plan de acción, se consideran aspectos humanos, tecnológicos, materiales y financieros. Los recursos indicados en la tabla son referenciales y deberán ser ajustados en función de la realidad presupuestaría de la central hidroeléctrica.

Tabla 4: Recursos estimados plan de acción

Fase / Actividad	Recursos Humanos	Recursos Materiales / Tecnológicos	Recursos Financieros (estimado referencial)	Observaciones / Comentarios
1. Diagnóstico inicial	Jefe de Mantenimiento, Consultor externo, Técnicos de campo.	Equipos de medición, software de levantamiento de datos, planillas digitales.	5.000.000 a 7.000.000 CLP	Contratación de consultor externo y recopilación de datos en terreno.
2. Diseño organizacional	Gerente O&M, RRHH.	Herramientas de modelado organizacional, software.	2.000.000 a 3.000.000 CLP	Revisión y validación de nuevos roles y perfiles.
3. Plan Matriz de Mantenimiento (PMMP)	Jefe de mantenimiento y jefe de central, planificador .	Software de análisis de criticidad (Excel avanzado o CMMS), manuales técnicos.	3.000.000 a 4.000.000 CLP	Desarrollo de plan basado en norma ISO 14224.
4. Implementación del CMMS (Fractal)	Planificador, Proveedor CMMS, Soporte TI.	Licencias del software CMMS, servidores o nube, dispositivos móviles.	10.000.000 a 15.000.000 CLP	Incluye parametrización, capacitación y soporte técnico.
5. Gestión de repuestos críticos (RCS)	Jefe de mantenimiento y jefe de central, planificador .	CMMS integrado, etiquetas o códigos de barra, estanterías adecuadas.	4.000.000 a 6.000.000 CLP	Implementación de control de inventario y clasificación RCS.
6. Procedimientos de seguridad y emergencias	Prevencionista, Jefe de Mantenimiento	Señalética, kits de emergencia, EPP, software de gestión de seguridad.	2.500.000 a 4.000.000 CLP	Elaboración de manuales y simulacros.
7. Capacitación del personal	RRHH, Proveedores de capacitación certificados.	Material didáctico, salas de capacitación, plataforma e-learning.	8.000.000 a 12.000.000 CLP	Incluye cursos en CMMS, RCS, RCA, ISO 55001 y seguridad eléctrica.
8. Auditoría inicial y ajustes	Auditor interno o externo, Gerente O&M	Checklists, informes de auditoría, herramientas de seguimiento de KPIs.	3.000.000 a 5.000.000 CLP	Auditoría de cumplimiento y elaboración de plan de mejora.
9. Operación continua y mejora	Todo el Departamento de Mantenimiento, Supervisor	CMMS operativo, instrumentos de monitoreo, tableros de control (dashboards).	6.000.000 a 10.000.000 CLP	Costos asociados al seguimiento de indicadores y mejora continua.

Fuente: elaboración propia.

8. Conclusiones

Con el desarrollo de estas recomendaciones para establecer un departamento de mantenimiento estructurado en la central hidroeléctrica, la propuesta se consolidará como una necesidad estratégica fundamental para alcanzar niveles óptimos de disponibilidad y confiabilidad. Además, aporta a la superación de las brechas detectadas en la gestión actual como a la ausencia de una estrategia formal, el control deficiente de repuestos críticos y la falta de indicadores de desempeño, sino que además impulsa una transformación organizacional hacia un modelo de mantenimiento moderno, proactivo y alineado con los objetivos corporativos.

La propuesta integra un enfoque técnico, normativos y tecnológico, además combina estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, soportadas con el uso de un software de mantenimiento (Fractal) y metodologías reconocidas (ISO 14224, ISO 55001, RCS), garantizando la trazabilidad de la información, la estandarización de los procesos y la toma de decisiones basada en datos confiables y verificables.

Aplicar un plan matriz de mantenimiento basado en criticidad de equipos permite la priorización de recursos, optimizar intervenciones y anticiparse a las fallas, lo cual, aporta directamente a alcanzar el nivel de disponibilidad esperado de 95%, reduciendo los tiempos de inactividad no programada y asegurando la continuidad del proceso de generación eléctrica.

La gestión de repuestos críticos se optimiza con la implementación de la metodología Reliability Centred Spares (RCS) en conjunto con el modulo de inventario de Fractal, reduciendo costos por compras de emergencia, mejora la rotación de inventario y tiempos de indisponibilidad a causa de la falta de repuestos esenciales. Esto resulta clave para incrementar la eficiencia económica del área de mantenimiento y fortalecer la resiliencia operativa de la central.

La propuesta de indicadores de desempeño (KPIs) proporciona información objetiva y medible para tomar decisiones estratégicas. Indicadores como disponibilidad, confiabilidad cumplimiento del plan matriz de mantenimiento y energía no aprovechada,

permitirá evaluar el impacto real de la gestión, orientando las decisiones estratégicas hacia la mejora continua.

Incluir el desarrollo de planes de emergencia, procedimientos de seguridad y mantenimiento, refuerzas el cuidado a las personas, equipos y medio ambiente, además asegura el cumplimiento normativo. Esto posiciona al departamento de mantenimiento no solo como una función técnica, sino también como un componente importante de la gestión integral de riesgo de la central hidroeléctrica.

La adecuada gestión del cambio permitirá que las acciones propuestas no solo se implementen correctamente, si no también se consoliden como prácticas habituales dentro de la organización. Se espera lograr un equipo de trabajo más capacitado, comprometido y alineado con los objetivos del departamento de mantenimiento.

El plan de capacitaciones y desarrollo de competencias técnicas propuesto se transforma en un elemento fundamental para consolidar una cultura organizacional orientada a la mejora continua y la gestión de activos, donde el personal tiene un rol activo para la optimización de los procesos, esto es fundamental para garantizar la sostenibilidad de la propuesta en el largo plazo.

La asignación de adecuada de recursos es esencial para garantizar el éxito del plan de acción. Cada fase requiere una combinación equilibrada de capacidades humanas, herramientas tecnológicas y respaldo financiero. Además, la gestión del cambio juega un rol transversal, asegurando la participación del personal y la sostenibilidad de las mejoras implementadas. Se debe dar prioridad a los siguientes recursos críticos:

- Compromiso de la alta dirección.
- Capacitación técnica del personal.
- Disponibilidad de presupuesto para Fractal (cuota mensual) y consultorías.
- Comunicación efectiva y liderazgo durante el proceso de cambio.

En síntesis, la ejecución del plan de acción propuesto consolidara la gestión del mantenimiento, basada en datos y orientada a la confiabilidad operativa. La implementación gradual de las fases definidas facilitara la estandarización de los procesos, la optimización de recursos y el fortalecimiento de las competencias del equipo humano. Así mismo la incorporación de herramientas tecnológicas como Fractal, junto con la aplicación de metodologías de análisis y control, contribuirá a la toma de decisiones con mayor precisión y de manera oportuna. En este contexto la gestión del cambio es clave para garantizar la aceptación y el compromiso de las personas, promoviendo una cultura organizacional orientada a la excelencia y mejora continua, coherentemente con los objetivos estratégicos.

Se estima que la implementación del departamento de mantenimiento propuesto permitirá reducir fallas críticas y generar ahorros significativos en el presupuesto anual, a consecuencia de la disminución del mantenimiento correctivo y pérdidas de generación. Esta iniciativa no solo mejora el desempeño técnico y operativo, sino también fortalece la competitividad, sostenibilidad y seguridad de la central hidroeléctrica frente a los desafíos presentes y futuros del sector eléctrico.

9. Recomendaciones

Implementación gradual siguiendo el plan de ejecución por fases, de manera que el impacto en la operación de la central hidroeléctrica sea controlado.

Consolidar el organigrama propuesto del departamento de mantenimiento, definiendo con claridad roles y responsabilidades, de esta manera se evitaría la duplicidad de funciones y se aseguraría la eficiencia en la gestión.

Integrar el modelo propuesto con la norma ISO 55001, con la finalidad de alinear la gestión de activos con los requerimientos de la superintendencia de electricidad y combustible (SEC).

Reforzar la cultura de seguridad, asegurando que todas las actividades de mantenimiento consideren la protección de los trabajadores y el medio ambiente.

Realizar auditorias con tiempos establecidos, tanto internas como externas, para la validación de la propuesta, identificar brechas y asegurar la mejora continua de la gestión del mantenimiento.

Fortalecer el análisis económico con la ayuda de un estudio costo/beneficio, que cuantifique los ahorros asociados a la disminución de fallas, optimización de recursos y la no pérdida de generación.

10.Bibliografía

NCh-ISO 55000 primera edición 2014.02.24 Gestión de activos – Visión general, principios y terminología.

NCh-ISO 55001 primera edición 2014.02.24 Gestión de activos – Sistemas de gestión – Requisitos.

NCh-ISO 55002 primera edición 2014.02.24 Gestión de activos – Sistemas de gestión – Directrices para la aplicación de ISO 55001.

Guía metodológica para el desarrollo, implementación y operación del sistema de gestión de integridad de instalaciones eléctricas (SGIIE).

Carlos Parra Marquez – Adolfo Crespo Marquez; 2024. Ingeniería en mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos.

Fractal (2024) Manual de usuario Fractal One.

Diagnóstico del Sistema de Gestión de Integridad de Instalaciones Eléctricas (SGIIE), Decreto 109, Pliego técnico normativo RPTD N°17, basado en Nch-ISO 55001:2014.

Carlos Parra; Técnicas de Auditoría, Benchmarking y Evaluación de Indicadores de los procesos de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad. Magister en Gestión de Activos y Mantenimiento.

Roberto Villalón; Ingeniería en Confiabilidad III – Análisis de fallas y ACR. Magister en Gestión de Activos y Mantenimiento.

11.Anexos

Tabla 5: Indicadores claves de desempeño

Indicador	Fórmula	Unidad	Meta recomendada	Objetivo	Abreviaturas
Disponibilidad (A)	$(HT-HMC-FI)/HT(HT-HMC-FI)/HT * 100$	%	≥ 93%	Medir el % de tiempo que los equipos están disponibles para generar energía.	HT: Horas Totales HMP: Horas mantenimiento preventivo. HMC: Horas mantenimiento correctivo. FI: Fallas internas.
Confiabilidad (R)	$(HT-HMC-FI)/HT(HT-HMC-FI)/HT * 100$	%	≥ 93%	Evaluar el % de tiempo que los equipos funcionan sin fallas no planificadas.	HT: Horas Totales HMC: Horas mantenimiento preventivo. FI: Fallas internas.
Energía no aprovechada (ENA)	$ENA = THD * PPA$	MWh	≤ 2% de la generación anual	Quantificar la energía perdida por indisponibilidad de equipos.	ENA: Energía no aprovechada (Mwh). THD: Total horas desconexión. PPA: Promedio potencia activa (Mw).
Factor de planta (FP)	$(GB / GI) * 100$	%	≥ 40%	Medir la eficiencia de generación con respecto a la capacidad instalada.	GB: Generación bruta periodo (Mwh). GI: Generación ideal periodo (Mwh).
Cumplimiento plan matriz (CPMP)	$(HMPE / HPMP) * 100$	%	≥ 90%	Verificar el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.	CPMP: Cumplimiento plan matriz de mantenimiento HMPE: Horas mantenimiento preventivo ejecutadas. HPMP: Horas totales plan de mantenimiento preventivo.
Relación Preventivo/Correctivo (RP/C)	$HMP / HTM * 100$	%	≥ 70% preventivo	Evaluar el equilibrio entre mantenimiento planificado y no planificado.	RMPC: Relación entre mantenimiento preventivo y correctivos. HMP: Horas humanas mantenimiento preventivo. HTM: Horas humanas totales mantenimiento.
MTBF (Tiempo medio entre fallas)	$(HT - HPF) / N^{\circ} \text{ fallas}$	Horas	↑ tendencia anual	Determinar el tiempo promedio de operación sin fallas.	MTBF: Tiempo medio entre fallas HT: Horas Totales HPF: Horas de parada por falla. AP: N° de fallas en el periodo.
MTTR (Tiempo medio de reparación)	$HPF / N^{\circ} \text{ fallas}$	Horas	↓ tendencia anual	Medir la rapidez en la recuperación de la función tras una falla.	MTTR: Tiempo medio de reparación. HPF: Horas de parada por falla. AP: N° de fallas en el periodo.
Órdenes de trabajo finalizadas	$OT \text{ cerradas} / OT \text{ creadas} * 100$	%	≥ 95%	Evaluar la efectividad en la ejecución de tareas de mantenimiento.	OT cerradas: ordenes de trabajo cerradas OT creadas: ordenes de trabajo creadas
Tareas planificadas vs. no planificadas	$TP / (TP + TNP) * 100$	%	≥ 85% planificadas	Determinar el grado de control de la planificación.	TP: Tareas planificadas. TNP: Tareas no planificadas.
Costo de mantenimiento por MWh	$\text{Gasto Mantenimiento} / \text{Energía generada}$	USD/MWh	↓ tendencia anual	Evaluar la eficiencia económica del mantenimiento.	
Relación OPEX / Valor de Activos Eléctricos	$GO\&M / VAE * 100$	%	≤ 5%	Medir el costo operativo en relación con el valor de los activos.	OPEV: Relación entre el OPEX y la valorización de activos eléctricos. GO&M: Gasto en operación y mantenimiento. VAE: Valorización de activos eléctricos.
Relación CAPEX / Valor de Activos Eléctricos	$CAPEX / VAE * 100$	%	Según plan estratégico	Controlar la inversión anual frente al valor de los activos.	CAPV: Relación entre el CAPEX y la valorización de activos eléctricos. CIE: CAPEX instalaciones eléctricas. VAE: Valorización de activos eléctricos.
Incidentes en activos críticos	N° incidentes en el periodo	N°	0 incidentes	Medir el impacto de fallas en activos clave.	
Accidentes eléctricos	$N^{\circ} \text{ accidentes eléctricos} / \text{Total accidentes} * 100$	%	0%	Monitorear la seguridad en el trabajo eléctrico.	

Fuente: elaboración propia.