

**Planificación integral del mantenimiento mayor en la unidad 3 de generación ubicado en la
Central Sogamoso**

Leyner Hernando Jaimes Muñoz



**Práctica para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

**Planificación integral del mantenimiento mayor en la unidad 3 de generación ubicado en la
Central Sogamoso**

Leyner Hernando Jaimes Muñoz

Práctica para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

MSc Alfonso Santos Jaimes

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

Adelina Jaimes de Jaimes, abuela de mi corazón, tu amor y humildad con la que siempre viviste, ser de luz y sencillez, mi guerrera de campo, gracias por todo, te agradezco por permitirme conocerte, gracias por lo vivido, desde el cielo me cuidas, te dedico mi proyecto de grado ya que no lograste llegar a esta etapa de mi vida y verme ser Ing. mecánico, gracias por darme a mi padre que ha sido el motor de mi vida y siempre ser la luz de nuestra familia Jaimes, con mucha amo y respeto, te llevo en mi memoria.

Leyner Hernando Jaimes Muñoz

Agradecimientos

Primeramente agradecerle a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida , a mi padre por ser la luz de mi vida y orientarme siempre en ser alguien mejor, a mi familia por acompañarme siempre en este recorrido, a mi novia , que con mucho amor y cariño siempre ser el soporte de mi vida, a mis colegas agradecerle por lo compartido, por ser ese equipo de trabajo que siempre buscaba la solución para seguir avanzando, a Soga hermoso por permitirme hacer la práctica profesional y llenarme el corazón con muchas vivencias y sonrisas, a la facultad de ingeniería mecánica de la UPB y maestros por enseñarme a ser un gran profesional, admiración y respeto.

Contenido

Introducción	12
Generalidades de la empresa	12
Planteamiento del problema.....	15
Antecedentes	16
Justificación	18
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos.....	19
Marco Teórico.....	20
Mantenimiento mayor.....	20
El mantenimiento mayor se aplica para:.....	20
Características de un mantenimiento mayor	21
Desmontaje completo según el plan de acción que se quiere ejecutar	21
Planificación del mantenimiento mayor	21
Componentes de la unidad de generación Central Hidroeléctrica Sogamoso.....	21
Generador	23
Turbina	24
Rodete.....	24
Cojinete	24
Anillo inferior del distribuidor	25
Distribuidor	25
Cámara espiral.....	25
Transformador.....	25

Gestión de mantenimiento.....	26
Mantenimiento	26
Mantenimiento correctivo.....	26
Mantenimiento Preventivo	26
Mantenimiento predictivo.....	26
Disponibilidad	26
Confiabilidad.....	27
Mantenibilidad	27
Tipos de mantenimiento en las centrales hidroeléctricas de ISAGEN S.A. ESP.....	27
Mantenimiento mayor (Overhaul).....	27
Mantenimiento general (MG).....	28
Intervención Parcial (IP).....	28
Sistema de formación SAP R/3.....	28
Estructura de los equipos y su importancia	28
Avisos de la intervención de equipos:	28
Creación de órdenes de mantenimiento.....	29
Reporte de informes.....	29
Metodología	30
Resultados.....	32
Visita al campo y reconocimiento del funcionamiento de los equipos en las intervenciones parciales de las unidades de generación.....	32
Software CAD (Solidworks) para el diseño del dispositivo de vertedero para viga pescadora.....	34

Utilización de Software CaD (Solidworks) para la comisión de revisión de MM generador SOG	36
Creación del sistema de gestión documental para la elaboración de procedimientos y documentos necesarios para la ejecución del mantenimiento mayor.....	37
Procedimiento extracción de rotor	38
Planeación del mantenimiento mayor	40
Organización de los materiales necesarios vista al mantenimiento mayor	41
Determinación del recurso humano para cada una de las actividades principales para el desarrollo óptimo en cada uno de los frentes de trabajo.....	42
Conclusiones	44
Referencias.....	45

Tabla de figuras

Figura 1 Estructura organizacional Isagen.....	13
Figura 2 Diseño de la central hidroeléctrica Sogamoso.....	14
Figura 3 Plano general de las unidades de generación	22
Figura 4 Componentes principales de la turbina Francis.....	22
Figura 5 Componentes de la turbina a mayor detalle	23
Figura 6 Ménsula del rotor.....	32
Figura 7 Revisión sistema de frenado.....	33
Figura 8 Gap de álabes móviles y NDT rodete.....	33
Figura 9 Deformación aplicando la carga de 16 TON.....	34
Figura 10 Factor de seguridad.....	35
Figura 11 Prueba de carga con la viga pescante	35
Figura 12 Cuña polar	36
Figura 13 Diseño en solidworks de cuña polar.....	37
Figura 14 Extracción de rotor	39
Figura 15 Actividades a ejecutar con sus tiempos y predecesoras	41
Figura 16 Identificación de herramientas y materiales para el MM U3	42
Figura 17 Recursos humanos MM.....	42

Lista de tablas

Tabla 1 Datos básicos generador	23
Tabla 2 Datos básicos Turbina.....	24



Resumen general de trabajo de grado en español

TITULO:	Planificación integral del mantenimiento mayor en la unidad 3 de generación ubicado en la Central Sogamoso
AUTOR(ES):	Leyner Hernando Jaimes Muñoz
PROGRAMA:	Escuela de Ingenierías
DIRECTOR(A):	Alfonso Santos Jaimes

RESUMEN

La central Sogamoso cumple 10 años de operación comercial, estableciendo el tiempo necesario para la intervención del mantenimiento mayor de las unidades de generación. Se realiza un estudio preliminar del funcionamiento de los equipos con los que cuenta la central para su correcto funcionamiento, previamente se realiza una lectura de los manuales, planos e información de relevancia para realizar la planificación del mantenimiento mayor de una de las unidades de generación. Teniendo una recopilación de información y depuración de información para la determinación de las actividades principales que se llevarán al cabo en la ejecución del mantenimiento, donde se determinara los recursos materiales, humanos y en paralelo se realizara la creación de guías de mantenimiento y actualizaciones de las mismas se lo requiere, procedimientos, creación y extensión de materiales que serán requeridos para la correcta ejecución del mantenimiento, ya que es el primer mantenimiento mayor de la central y de ahí se recopilara información de gran relevancia para los próximos mantenimientos mayores logrando así la disponibilidad de los equipos y confiabilidad de operación de la central Sogamoso.

PALABRAS CLAVE:

Turbina Francis, mantenimiento mayor, confiabilidad, disponibilidad, energía hidráulica

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



General summary of work of grade

TITLE: Comprehensive planning of major maintenance in unit 3 of generation located at the Sogamoso Power Plant

AUTHOR(S): Leyner Hernando Jaimes Muñoz

FACULTY: Escuela de Ingenierías

DIRECTOR: Alfonso Santos Jaimes

ABSTRACT

The Sogamoso plant is 10 years old, providing the time necessary for major maintenance of the generation units. Preliminary study of the operation of the equipment available at the plant for its proper functioning, prior to which a reading of the manuals is carried out, drawings and information relevant for the planning of major maintenance of one of the generation units. Having information collection and cleansing of information for the identification of major activities to be carried out in the execution of maintenance, where material resources are identified, human and in parallel the creation of maintenance guides and updates thereof is required, procedures, creation, and extension of materials that will be required for the correct execution of maintenance, it is the first major maintenance of the plant, and from there will be collected information of great relevance for the next major maintenance, thus achieving the availability of equipment and reliability of operation of the Sogamoso plant.

KEYWORDS:

availability, hydraulic power, reliability, Turbine Francis maintenance ,

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

La práctica profesional consiste en aplicar los conocimientos adquiridos durante el proceso de formación de ingeniería mecánica en la elaboración de procedimientos, desarrollo de cálculos de diseño, diseño de elementos de máquinas, planeación del mantenimiento mayor de las unidades de generación, que aportan a la ejecución de actividades en el presente y a futuro al interior de la central.

La Central Hidroeléctrica Sogamoso cumple 10 años de operación y por recomendación del fabricante se realizará mantenimiento mayor a las unidades de generación para lo cual en la actualidad se está elaborando la planeación de dicho mantenimiento que está programado para agosto del año 2025.

Generalidades de la empresa

ISAGEN S.A.E.S.P es una empresa de generación y comercialización de energía, cuenta con 22 centrales de generación (19 son propiedad de ISAGEN y las 3 de las subsidiarias: bosques solares de los llanos 1 S.A.S.E.S. P, Bosque solares de los llanos 2 S.A.S.E.S.P. y bosques solares de llanos 3 S.A.S.E.S. P) que suman más de 3000 megavatios de capacidad efectiva neta. Avanzan en el desarrollo de un portafolio de energía renovables que aprovechen fuentes como el agua, viento y luz solar. El accionista mayoritario es BRECOLOMBIA HYDRO INVESTMENTS, SL.SL.

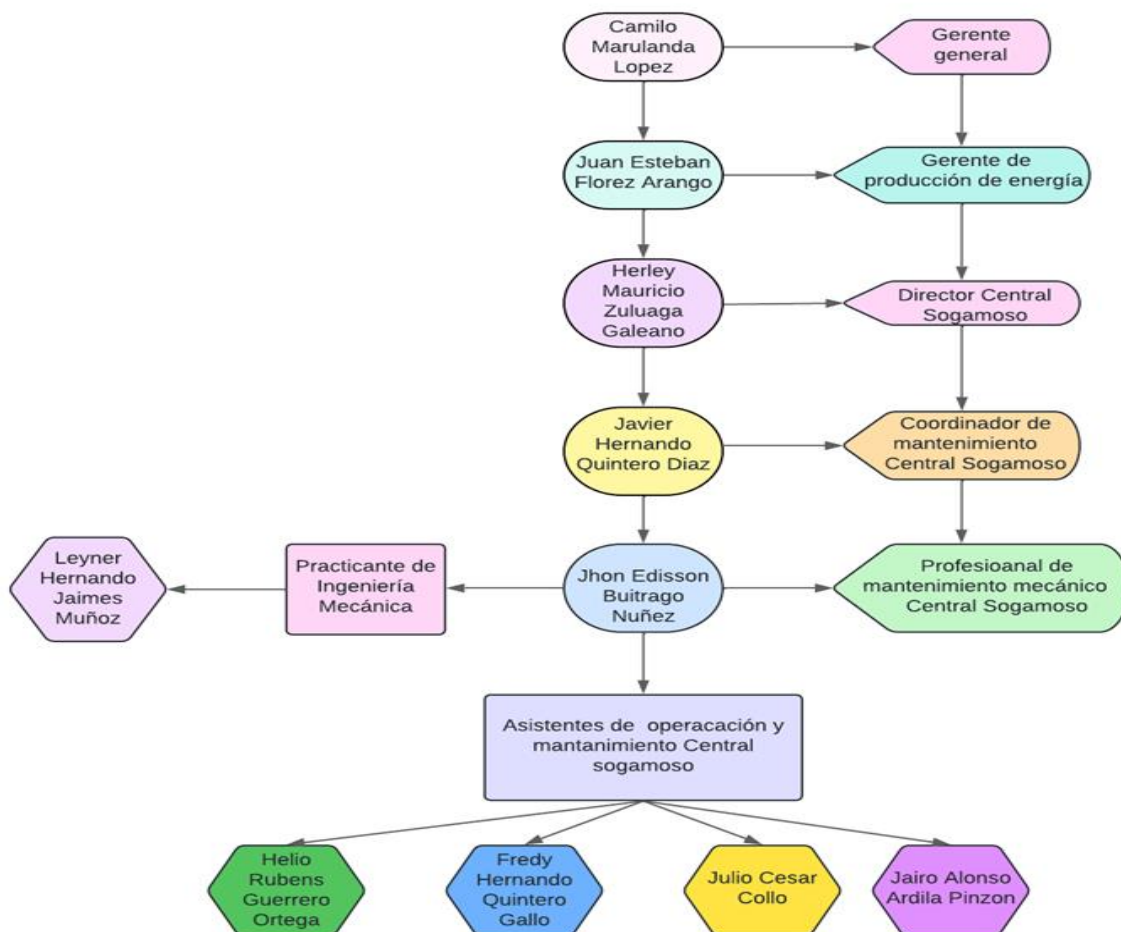
Cuentan con altas calificaciones y cumplen con la ley Sarbanes Oxley que regula las funciones financieras contables y de auditoría, y con las leyes de Colombia, Canadá, Estado Unidos y Reino Unido que buscan prevenir el soborno y la corrupción.

Trabajan por el fortalecimiento de un sistema energético confiable con una matriz de energía limpia que contribuya a la sostenibilidad y al progreso del país.

A continuación se puede observar en la figura 1 cómo se organiza los diferentes roles dentro de la empresa.

Figura 1

Estructura organizacional Isagen



Nota. Adaptado de Central Sogamoso.

Central Sogamoso

La Central hidroeléctrica tiene una capacidad instalada de 819 MW y es la cuarta central con mayor capacidad efectiva neta en el país.

La hidroeléctrica Sogamoso cuenta con la presa La Tora de 190 m de altura, una casa de máquinas que aloja las tres unidades de generación y el embalse Topocoro que es el más grande del país.

Se encuentra ubicada en el departamento de Santander, en el cañón donde el río Sogamoso cruza la Serranía de La Paz.

El embalse Topocoro tiene 7.000 hectáreas aproximadamente, es el más extensos del país y almacena el mayor volumen de agua con 4.800 millones de m³, está en jurisdicción de los municipios de Girón, Betulia, Zapatoca, Los Santos, Lebrija, San Vicente de Chucurí, Barrancabermeja, Puerto Wilches y Sabana de Torres que conforman su área de influencia.

Cumple con los requisitos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), lo que confirma ante autoridades nacionales e internacionales su contribución a la mitigación del cambio climático.

A continuación en la figura 2 se muestra de forma gráfica lo anteriormente explicado sobre el embalse Topocoro.

Figura 2

Diseño de la central hidroeléctrica Sogamoso



Nota. Adaptado Isagen Central Hidroeléctrica Sogamoso

Planteamiento del problema

Teniendo en cuenta que la central Sogamoso cumple 10 años de operación comercial es necesario realizar la planificación del mantenimiento mayor. (Establecido por ISAGEN)

Se realiza una planificación previa para conocer y gestionar los repuestos y materiales que, por su desgaste y tiempo, así que se evalúan diferentes factores, desde los riesgos hasta el impacto económico que se tiene con la parada de una unidad.

Para poder establecer lo que se requiere para ejecutar el mantenimiento mayor debemos hacer un análisis detallado tomando como referencia los manuales y recomendaciones de los fabricantes de los equipos que componen la unidad de generación.

Se realiza una lectura previa de los manuales entregados para identificar y actualizar un listado de partes y componentes.

Ya organizado lo que se requiere comienza la planificación desde la central con los planeadores de la organización.

Recopilamos toda la información necesaria, planos, guías de mantenimiento, procedimientos, manuales del fabricante y reuniones con las empresas que suministraron e instalaron los equipos.

Se establece un listado de las actividades mecánicas a ejecutar durante el mantenimiento mayor.

Se determinan las actividades y se desglosan las sub actividades; luego se realiza la planeación de los tiempos de ejecución para cada actividad.

Durante la planificación debemos determinar los materiales y herramientas para saber con qué se cuenta en el almacén de la central y lo que se debe solicitar.

Para solicitar los materiales se deben crear ordenes de mantenimiento para cada una de las actividades a ejecutar. En estas órdenes de mantenimiento también se programan los tiempos necesarios para ejecutar los trabajos planeados.

Para lograr la ejecución del mantenimiento en los tiempos establecidos se debe tener una cooperación y una comunicación entre todos los grupos de la central Sogamoso y realizar seguimiento diario a la planificación previamente establecida y determinando la ruta crítica del mantenimiento.

Antecedentes

Las condiciones del actual mercado eléctrico en Colombia, al igual que en muchos otros países, hacen que la planeación y sobre todo la programación de la producción hidroeléctrica sean todo un desafío (Castro, 2014), donde se logra comprender que ya los mantenimientos deben ser planificados con un tiempo estimado para que no llegue afectar la demanda de energía, también teniendo en cuenta que el costo de kWh y el despacho que se va a generar durante ese tiempo, anteriormente las planificaciones de mantenimiento se hacían dependiendo del manual de fabricante únicamente o esperar al que el equipo entrara a un mantenimiento correctivo, pero con la integración de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos se logra la disminución de fallas y programación de mantenimientos para que el equipo o unidad de generación siempre esté disponible para el servicio.

Durante el proceso de transformación del mantenimiento donde el proceso ha sido evolutivo pasando de una mentalidad reactiva de reparar y reemplazar a un enfoque proactivo y basado en datos. El mantenimiento predictivo ha surgido como el futuro del mantenimiento, ofreciendo importantes ahorros de costos, una mayor eficiencia, una mayor confiabilidad del equipo y un entorno de trabajo más seguro. (Toro, 2023).

Mientras se utiliza los métodos para la programación de un mantenimiento mayor podemos asistir a las diferentes programaciones que existen: la programación lineal, programación no lineal, métodos evolutivos, programación dinámica. (Galvis, 2008).

Justificación

Se realiza la planificación del mantenimiento mayor con el objetivo de realizar intervenciones necesarias cada cierto periodo de tiempo el cual es establecido por la compañía teniendo en cuenta las recomendaciones de la empresa Toshiba la cual fue el fabricante del generador.

Dentro de las actividades planeadas se determinó una ruta crítica que consiste en la extracción del rotor.

Paralelo a este trabajo también se ejecutarán las actividades determinadas por la compañía que son basadas en la condición de los equipos.

Con la planificación se quiere lograr identificar los riesgos que puedan ocasionar retrasos, sobrecostos y otros problemas que puedan surgir durante el proyecto, también tener una excelente comunicación entre los grupos de ejecutores que se establecerán para cada frente de trabajo.

Con la planeación se identifican las necesidades de recursos humanos, los insumos, repuestos y consumibles para desarrollar los trabajos.

Mediante el uso de una aplicación de programación (Microsoft Project) la coordinación del proyecto podrá tener un panorama de los tiempos determinados para cada una de las actividades con sus recursos necesarios, los plazos y presupuestos.

Debemos tener en cuenta que con ese planeador podemos supervisar el desarrollo de los trabajos para que se cumplan en los tiempos determinados y en caso de presentarse un atraso en las actividades se puedan tomar decisiones a tiempo, ya que algunas actividades son consecutivas y dependerán de otras para su debida ejecución.

Objetivos

Objetivo general

Establecer un sistema de gestión documental para elaborar procedimientos, registros y documentos estandarizados que permitan y faciliten la ejecución del mantenimiento mayor de las unidades de generación.

Objetivos específicos

- Analizar los procesos y actividades del mantenimiento mayor para compilar la documentación requerida e identificar las oportunidades de mejora.
- Realizar visitas a campo para observar el funcionamiento de los sistemas asociados a las unidades de generación e identificar la información relevante.
- Revisar los manuales de los fabricantes y comparar su contenido con la documentación existente para identificar actualizaciones y mejoras.
- Utilizar software CAD para diseñar estructuras metálicas y otros componentes necesarios para optimizar la ejecución de las actividades de mantenimiento.

Marco Teórico

La energía hidráulica a cualquier escala utiliza caudales de agua, siendo una opción viable para generar electricidad para suplir las necesidades en el ámbito empresarial y para el consumo doméstico.

Según Rico (2018), indica que las hidroeléctricas de Colombia han sido sinónimo de desarrollo para el país. Dado que, Colombia cuenta con una topografía, pluviosidad y recursos hídricos excepcionales, por tal motivo cuenta con un 70% de generación eléctrica a partir de hidroeléctricas (Mongabay, 2024).

En términos de OLADE (1990), una central hidroeléctrica convierte la energía potencial situada en el punto más alto del embalse, al igual que en el punto más bajo donde se sitúa casa de máquinas, donde se logra la generación de energía mecánica a través del impacto de agua con el rodete de la turbina, como resultado de la transmisión al eje del generador que produce la energía eléctrica. La energía eléctrica se logra obtener proporcionalmente al caudal utilizado y, además, a la altura de la caída de agua.

Mantenimiento mayor

El mantenimiento mayor tiene como objetivo la revisión detallada de los equipos que componen la unidad de generación, asegurando su funcionamiento óptimo para que no presente fallas futuras teniendo en cuenta la limpieza profunda, ajustes y pruebas de funcionamiento para garantizar la confiabilidad de los equipos.

El mantenimiento mayor se aplica para:

Prevenir fallas. Cuando se ejecutan los planes de mantenimiento de manera estructural y las recomendaciones del fabricante, evitamos fallas que pueden generar una indisponibilidad de los equipos.

Optimizar el rendimiento. Asegurar la disponibilidad de los equipos para el trabajo en óptimas condiciones y que se produzca el mayor rendimiento de producción energética.

Prolongar la vida útil. Reducir el tiempo entre fallas de los equipos.

Cumplir con normativas. Ratificar que la planta cumpla con las normativas que la regulan y sus estándares de seguridad.

Características de un mantenimiento mayor

Desmontaje completo según el plan de acción que se quiere ejecutar

En el mantenimiento mayor se determina desmontar los diferentes frentes que componen la unidad de generación, teniendo en cuenta que hasta el momento no se ha hecho la extracción del rotor.

Inspección detallada

Revisión detallada de todas las partes, incluyendo rodete, álabes y los cojinetes.

Reemplazo de piezas: Según la durabilidad de las piezas y el tiempo que llevan trabajando, se harán el cambio de piezas vitales para el funcionamiento de la unidad de acuerdo con el manual de fabricante de los equipos y según el plan de mantenimiento establecido.

Planificación del mantenimiento mayor

Se realiza una planificación mediante el programa Microsoft Project, el programa permite tener en un listado las actividades principales y de ellas se desglosan otras actividades. También se manejan los tiempos necesarios para el desarrollo óptimo de las actividades a ejecutar.

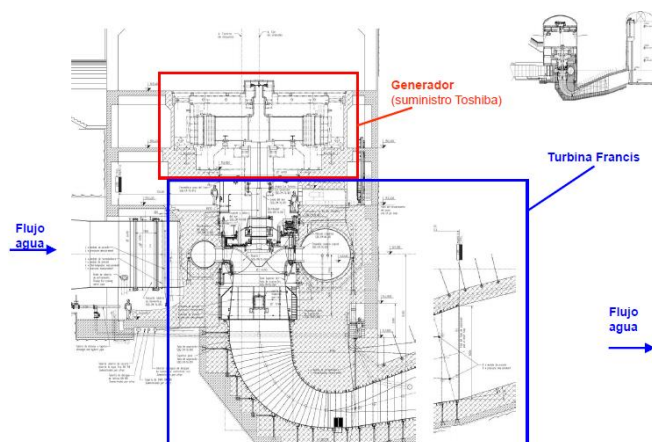
Se tiene en cuenta que se harán unas actividades típicas: inspección visual, desmontaje, limpieza, reparación, reemplazo de componentes, alineación, balanceo, pruebas funcionales.

Componentes de la unidad de generación Central Hidroeléctrica Sogamoso

A continuación, como se puede observar de la figura 3 a la figura 5 se exponen los componentes generales del funcionamiento de las unidades de generación.

Figura 3

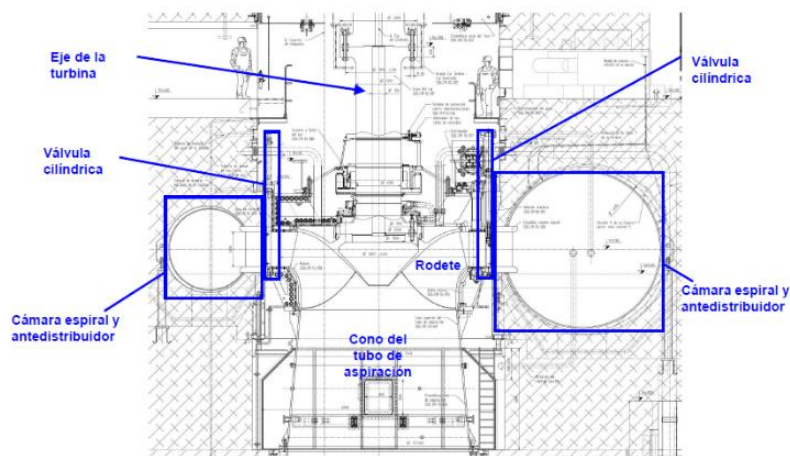
Plano general de las unidades de generación



Nota. Adaptado de Andritz hydro, turbina Central Sogamoso

Figura 4

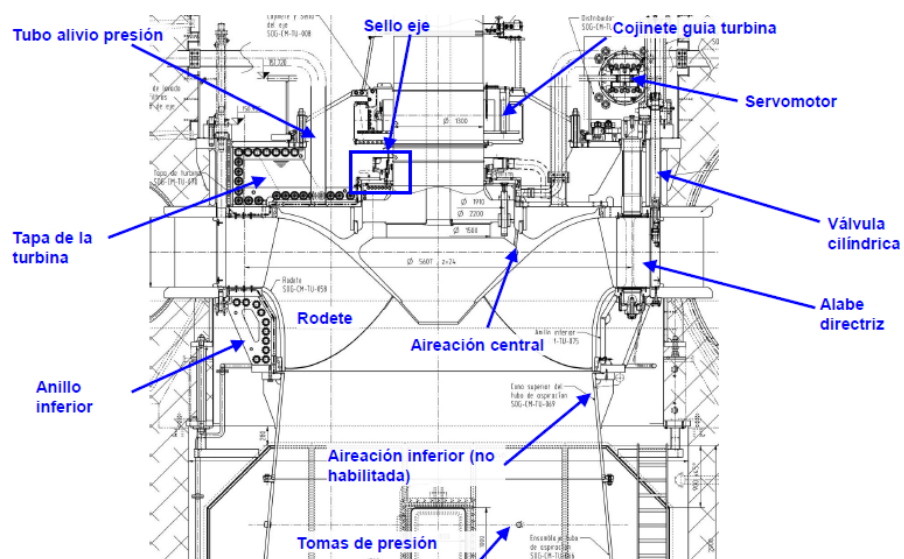
Componentes principales de la turbina Francis



Nota. Adaptado de Andritz hydro, turbina Central Sogamoso

Figura 5

Componentes de la turbina a mayor detalle



Nota. Adaptado de Andritz hydro, turbine Central Sogamoso

Generador

El generador es fabricado por Toshiba del tipo sincrónico, enfriado por aire, con rotor de polos salientes y eje vertical, con devanado amortiguador interconectado, para ser movido por una turbina hidráulica tipo Francis.

A continuación, se explican en la tabla 1 las características principales del generador.

Tabla 1

Datos básicos generador

Ítem	Medida
Voltaje de Generación	16,5 Kv
Corriente Nominal	11,338 A
Factor de Potencia	0,9
Frecuencia	60 Hz
Número de fases	3
Velocidad sincrónica	163,63 rpm
Velocidad Máxima de Embalamiento	304,66 rpm

Nota. Adaptado de Isagen Central Hidroeléctrica Sogamoso.

Turbina

La turbina es de tipo Francis, de eje vertical, con su cámara espiral y su tubo de aspiración de construcción soldada en acero laminado. Las turbinas fueron fabricadas por Andritz-Hydro.

Las turbinas tienen una velocidad sincrónica de 163,63 rpm y una potencia nominal de 278.800 kW.

A continuación, se explica en la figura 7 las características principales de la turbina.

Tabla 2

Datos básicos Turbina

Ítem	Medida
Capacidad Nominal Continua	324 MVA
Factor de Potencia	0,9
Frecuencia	60 Hz
Número de fases	3
Velocidad Sincrónica	163,3 rpm
Momento de inercia Mínimo de generador (WR2)	$\geq 10094 \text{ tm}^2$
Velocidad Sincrónica	163,3 rpm
Sentido de Rotación desde la parte superior	Anti horario

Nota. Adaptado de Isagen Central Hidroeléctrica Sogamoso

Rodete

El rodete de la turbina es del tipo Francis y fue soldado de componentes fundidos (banda, corona y álabes). El rodete tiene un cono de salida para guiar el agua que fluye del rodete hacia el tubo de aspiración en la parte inferior de la corona.

Cojinete

El cojinete guía de la turbina se compone de 10 segmentos o patines ajustables e inmersos en baño de aceite. El soporte del cojinete guía está pernado a la tapa de turbina para asegurar una transmisión segura de las cargas radiales.

Sellos del eje

Del lado del rodete, el eje de la turbina este sellado con un sello axial e hidrostático de tipo cara, el cual está ubicado sobre la cubierta de los pernos del eje.

El sello se compone de una cubierta fija a la tapa de la turbina, un anillo de retención asegurado en contra de rotaciones y con movimiento axial, un elemento de sello fijo al anillo de rotación y un contra anillo fijo a la cubierta de los pernos del eje.

Anillo inferior del distribuidor

El anillo inferior de la turbina está fabricado en dos partes para facilitar su instalación y manejo dentro del recinto de la turbina en labores de montaje y mantenimiento. El anillo inferior sirve de alojamiento a los cojinetes de los álabes móviles o directrices.

Distribuidor

El mecanismo de operación del distribuidor comprende todos los elementos que interconectan los álabes móviles con los servomotores de mando de la turbina. El conjunto incluye las palancas de los álabes, los eslabones o bieletas con sus articulaciones, el anillo de operación, y las bielas o vástagos de conexión con los servomotores.

Cámara espiral

La cámara espiral sirve de conducto para dirigir suavemente el flujo de agua hacia los álabes móviles. Es de construcción soldada a partir de 25 semi virolas de acero unidas por soldadura al anillo estacionario y está embebida en concreto.

Transformador

Los transformadores son trifásicos para operación como elevador de voltaje, fabricados por SIEMENS, con dos (2) devanados, uno de alta tensión (230 kV) conectado en estrella con el neutro sólidamente puesto a tierra, y otro de baja tensión de 16,5 kV conectado en delta. Los dos

devanados deberán tener una capacidad nominal de 324 MVA. Los devanados de alta y baja tensión deben soportar voltajes entre 95% y 105% del valor nominal.

Gestión de mantenimiento

Isagen maneja una filosofía de mantenimiento basado en el PHVA (planear, hacer, verificar y actuar, mediante la planeación, programación, ejecución y evaluación del mantenimiento.

Los criterios que maneja Isagen para la implementación del mantenimiento depende de los aspectos técnicos de los equipos según la condición de desempeño y condición, pero también el impacto de la disponibilidad de los equipos que se verá reflejado en la parte económica de la compañía.

Mantenimiento

Se divide en tres tipos

Mantenimiento correctivo

Se efectúa cuando un equipo ha perdido su funcionalidad y necesita ser restablecida.

Mantenimiento Preventivo

Se programa con intervenciones o cambios de los componentes según los intervalos de tiempos o eventos regulares.

Mantenimiento predictivo

Se monitorea periódicamente las variables de operación de cada uno de los equipos e instalaciones críticas.

Disponibilidad

Es la relación entre las horas en que un equipo está en condiciones de cumplir su función y las horas del periodo analizado.

Confiabilidad

Se considera la probabilidad de que un equipo cumpla con sus funciones requeridas en un intervalo de tiempo.

Mantenibilidad

Probabilidad de que la acción que se ejecuta en un equipo se de en el tiempo establecido

Plazos de planeación de mantenimiento:

- Corto plazo (1 año)

Está reflejado en el TBI empresarial de cada año.

- Mediano plazo (5 años)

Plan de desarrollo institucional

- Largo plazo (20 años)

Se ve reflejado en las proyecciones financieras que tiene la organización donde se plasma la disponibilidad esperada de cada una de las centrales y teniendo en cuenta modernizaciones y mantenimientos mayores.

Tipos de mantenimiento en las centrales hidroeléctricas de ISAGEN S.A. ESP

Mantenimiento mayor (Overhaul)

Se realiza las actividades principales que conlleva un mantenimiento mayor partiendo de los equipos principales de la unidad de generación:

- Overhaul generador
- Overhaul turbina
- Overhaul interruptor
- Ejecución del protocolo de inyección de todos los relés del regulador de voltaje y de velocidad y protecciones.

Mantenimiento general (MG)

- Limpieza de partes
- Cambios de aceite
- Pruebas de funcionamiento de equipos de control y protecciones y pulimiento del rodete.
- Verificación sellos toberas
- Limpieza general de estator
- Interruptor y excitación
- Cambio de intercambiadores de calor.

Intervención Parcial (IP)

Pruebas de funcionamiento de equipos de control y limpieza de partes.

Sistema de formación SAP R/3

Es el sistema de información que soporta toda la gestión corporativa de la compañía, por medio de sus diferentes módulos de funcionamiento:

- Mantenimiento
- Financiera
- Recursos humanos

Estructura de los equipos y su importancia

Teniendo una estructura de los equipos donde se observa su ubicación técnica y la cantidad de equipos en la compañía o en el mantenimiento, los equipos que se usan para la generación de energía.

Avisos de la intervención de equipos:

- De solicitud para realizar un mantenimiento fuera del plan.

- De avería para atender una falla
- De actividad para realizar tareas de mantenimiento que no se pudieron ejecutar en un orden de plan.

Creación de órdenes de mantenimiento

Las órdenes de mantenimiento (OM'S) son soportes o documentos creados en SAP para ejecutar las diferentes tareas de mantenimiento derivadas de un plan automática creado durante el año o periodo de tiempo determinado por la compañía, en cada una de las órdenes de trabajo contiene operaciones según la actividad que se va a realizar, de ahí se asigna los materiales que se necesitan para la ejecución, el tiempo que durara la actividad y los servicios requeridos para la ejecución de las labores.

Con las órdenes de mantenimiento se lleva un control en los indicadores principales que se evalúan en la gestión de mantenimiento, pero también con evaluar los costos que la organización ejecuta en cada una de las actividades, llegando así a un balance según lo planeado y el tiempo real.

Reporte de informes

Para cada una de las actividades que se ejecutan se tiene que evidenciar en un documento con su formato preestablecido por la organización, así logrando observar lo que se hace durante cada una de las actividades y notificando dichas actividades.

Metodología

Inicialmente, se realiza un reconocimiento de los equipos que hay en la central Sogamoso, los cuales realizan la generación hidroeléctrica. A continuación, se realizó un estudio en conjunto con los asistentes mecánicos sobre los manuales del fabricante, planos y guías de mantenimiento de la central Sogamoso. Al tener clara la información de los equipos, se dispone a la asignación de actividades para la realización de procedimientos y actualizaciones de guías de mantenimiento para futuras necesidades del mantenimiento mayor.

Durante la formación se realizó una serie de reuniones con el profesional mecánico y los asistentes mecánicos para la creación del programador que se requiere para el mantenimiento mayor de la unidad 3 de generación. Para poder tener un listado de actividades, se tuvo que hacer una depuración de información que la central tenía asignada en un servidor, ya que, en el momento del montaje, el mismo fabricante de los equipos depuró la información, dejando documentos muy básicos sobre los equipos de la central Sogamoso, pero con la experticia de los asistentes mecánicos se logra crear el cronograma con las actividades de mantenimiento que se ejecutarán en el mantenimiento mayor.

Se realiza el procedimiento de la extracción del rotor con el formato que maneja la compañía, buscando información del montaje, creación del paso a paso de cómo se extrae el rotor.

Con los conocimientos adquiridos durante mi formación como ingeniero mecánico, se realiza la creación de un dispositivo para la viga pescante del vertedero y la creación de cuña polar para el cambio de pinado.

Se asigna la creación y extensión de materiales, herramientas que se necesitarán para el mantenimiento mayor; se realiza una capacitación de SAP para poder realizar dicha creación, ya que el sistema que maneja la empresa es con base en transacciones y se tuvo que hacer un listado

en compañía del grupo gestión técnica de infraestructura y asistentes mecánicos de la central Sogamoso.

Resultados

Visita al campo y reconocimiento del funcionamiento de los equipos en las intervenciones parciales de las unidades de generación.

Durante las IP de cada una de las unidades de generación se realizó un acompañamiento en cada de uno de los frentes de trabajo, generador, turbina, piso de bombas. En que consiste estas intervenciones poder visualizar los componentes principales para el correcto funcionamiento de la hidroeléctrica y que su principal propósito de generación se haga de manera eficiente, también reconocer cada uno de los equipos previamente estudiados de forma teórica y su visualización en planos a la vida real, ya que cada uno de ellos brinda lo necesario para que ocurra la magia (Producción de energía).

Figura 6

Ménsula del rotor



Nota. Adaptado de Isagen, informe de la IP UND 2,2024

Figura 7

Revisión sistema de frenado



Nota. Adaptado de Isagen, informe de la IP UND 2,2024

Figura 8

Gap de álabes móviles y NDT rodete.



Nota. Adaptado de Isagen, informe de la IP UND 3,2024

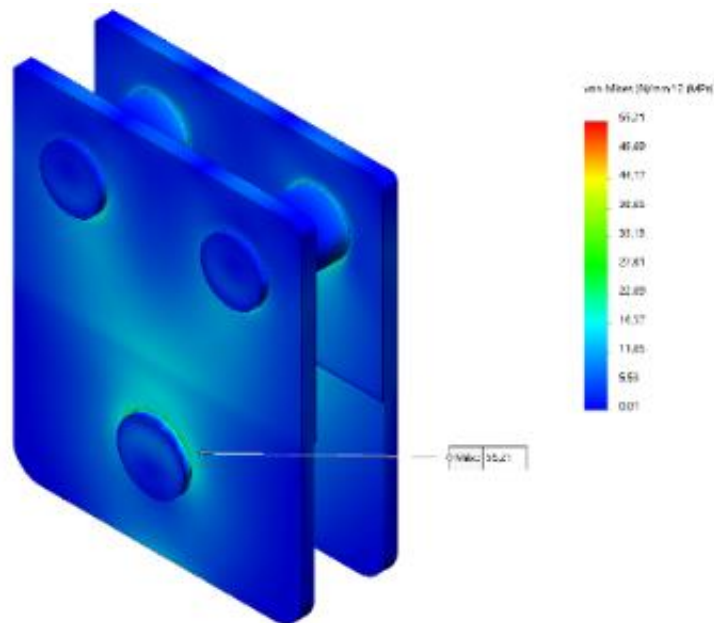
Software CAD (Solidworks) para el diseño del dispositivo de vertedero para viga pescadora.

Se realiza el diseño en solidworks del dispositivo requerido para enganchar los tabloncillos que se utilizan en el mantenimiento de compuerta de vertedero, primeramente, se realiza un boceto con las medidas requeridas, por siguiente se plasma el diseño en solidworks y se realizan algunas modificaciones según lo requerido.

Se selecciona un material de AISI 1045 el límite elástico 530 MPA y AISI 304, 206 MPA, presentado el análisis de deformación se presenta un 55 MPA siendo una deformación muy mínima aplicada a la carga de 16 TON. Se ilustra la simulación en la figura 11.

Figura 9

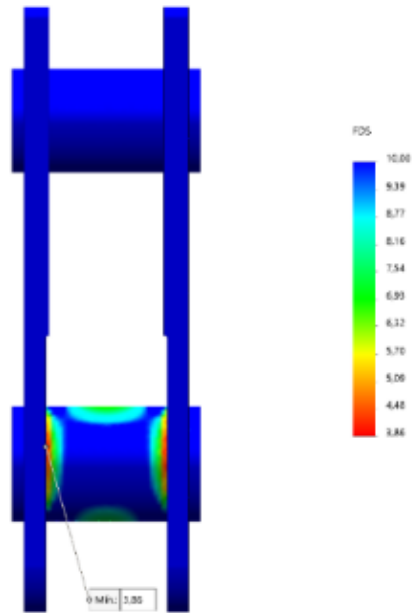
Deformación aplicando la carga de 16 TON



Nota. Se determina un Factor de seguridad de 3.8 como se denota en la figura 12 permitiendo que el dispositivo sea confiable. Adaptado Isagen, 2024.

Figura 10

Factor de seguridad



Nota. Pruebas en sitio de trabajo como se muestra en la figura 13, se refleja que el dispositivo cumplió las condiciones de carga. Adaptado Isagen, 2024.

Figura 11

Prueba de carga con la viga pescante



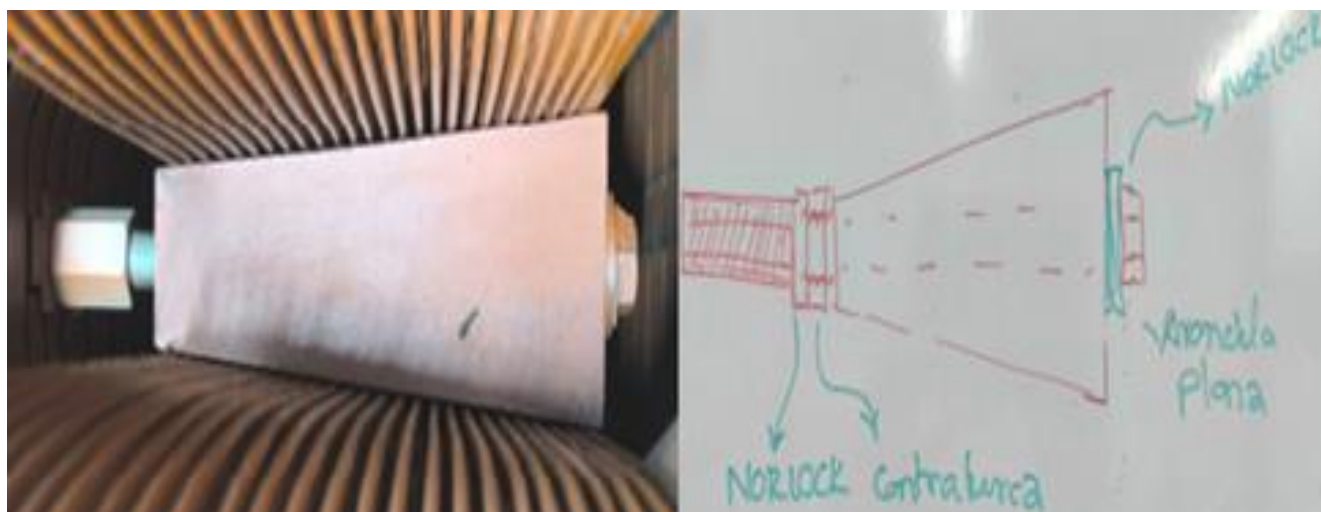
Nota. Adaptado Isagen, informe dispositivo de la viga pescante,2024

Utilización de Software CaD (Solidworks) para la comisión de revisión de MM generador SOG

Se realiza acompañamiento y creación de pieza en Solidworks sobre las cuñas polares como se ilustran en la figura 14 y 15, haciendo una medición en sitio de lo que se requiere para la extracción de los polos de manera más sencilla, también para hacer el cambio de pinado de las cuñas polares.

Figura 12

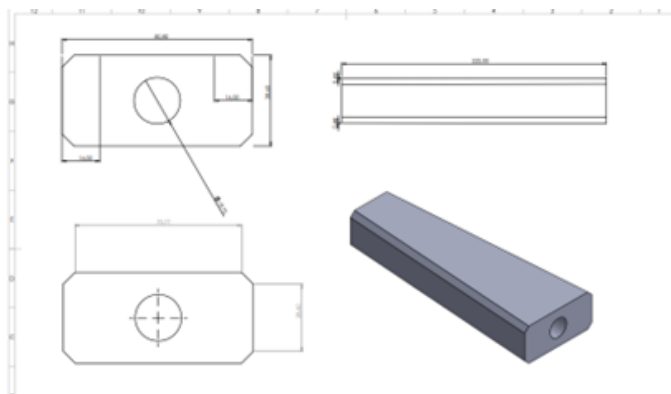
Cuña polar



Nota. Adaptado Isagen, informe de la inspección de los polos para cambio de cuñas,2024.

Figura 13

Diseño en solidworks de cuña polar



Nota. Adaptado Isagen, informe de la inspección de los polos para cambio de cuñas,2024.

Creación del sistema de gestión documental para la elaboración de procedimientos y documentos necesarios para la ejecución del mantenimiento mayor.

- Lectura de manuales del fabricante según al equipo que corresponde la unidad de generación.
- Lectura de planos para hacer un desglose de los equipos a los que se le hará la intervención.
- Reuniones necesarias con el grupo de mantenimiento y operación de la central, ya que cuentan con el conocimiento necesario para la ejecución del mantenimiento.
- Listado de actividades necesarias de acuerdo con la lectura de manuales de los fabricantes y planos.
- Creación de procedimiento en formato establecido por la empresa, para el acompañamiento de las actividades del mantenimiento mayor y según el alcance que se tiene establecido (Extracción de rotor e Izaje de compuerta de aducción).
- Aplicación de formato para la actividad específica que se ejecutara.

- Asignación de riesgos y barreras de control en las actividades.
- Asignación de materiales y herramientas que serán requeridos para el desarrollo de la actividad.

Procedimiento extracción de rotor

Para la creación de un procedimiento o guía de mantenimiento, se deben seguir ciertos parámetros. Primero, se realiza una lectura previa del manual del fabricante (Toshiba) para elaborar un primer listado de las actividades necesarias para la extracción del rotor. Con estas actividades preliminares, se organiza una reunión con el jefe de mantenimiento y el asistente mecánico asignado a la tarea. Basándose en lo discutido en la reunión, se comienza a redactar un borrador utilizando el formato de la empresa.

Una vez consensuadas las actividades a ejecutar en el procedimiento, se realiza un estudio exhaustivo de los planos del fabricante para verificar que las actividades estén en el orden correcto. Aunque solo se dispone de información sobre el montaje de las unidades de generación, como se muestra en la figura 16, la experiencia de los asistentes mecánicos permite avanzar significativamente en la planificación de las actividades.

Durante la ejecución de la extracción del rotor, es crucial realizar un análisis de los posibles riesgos asociados a cada actividad. Se identifican los riesgos y se establecen las medidas de mitigación correspondientes, como el uso de equipos de protección personal, barreras de control y barreras de soporte.

Con la documentación revisada por los asistentes mecánicos, se anexan imágenes relevantes para facilitar la comprensión del proceso durante su ejecución.

Se anexan planos de referencia que servirán en el momento la ejecución de la actividad, también verificar que todo lo que se esté haciendo sea de manera correcta y como lo enuncia el

manual del fabricante.

Para el desarrollo de la actividad se solicita herramienta y equipos, en ese proceso se realiza un listado de herramientas que se tendrán a la vista del mantenimiento mayor de la unidad de generación, teniendo en cuenta que algunos materiales no existen en la central, se debe hacer la extensión del código SAP o la creación del mismo si lo requiere, al tener un consenso de lo que se requiere se sube a la OM de mantenimiento mayor y buscando la operación de la actividad para así generar la disponibilidad del material.

De acuerdo con la criticidad del procedimiento, se tienen en el panorama las herramientas especiales que se utilizaron en el montaje de las unidades de generación. Se realiza una inspección y valoración de las herramientas.

Figura 14

Extracción de rotor



Nota. Adaptado de ISAGEN S.A. ESP, fotografía de montaje, 2014.

Planeación del mantenimiento mayor

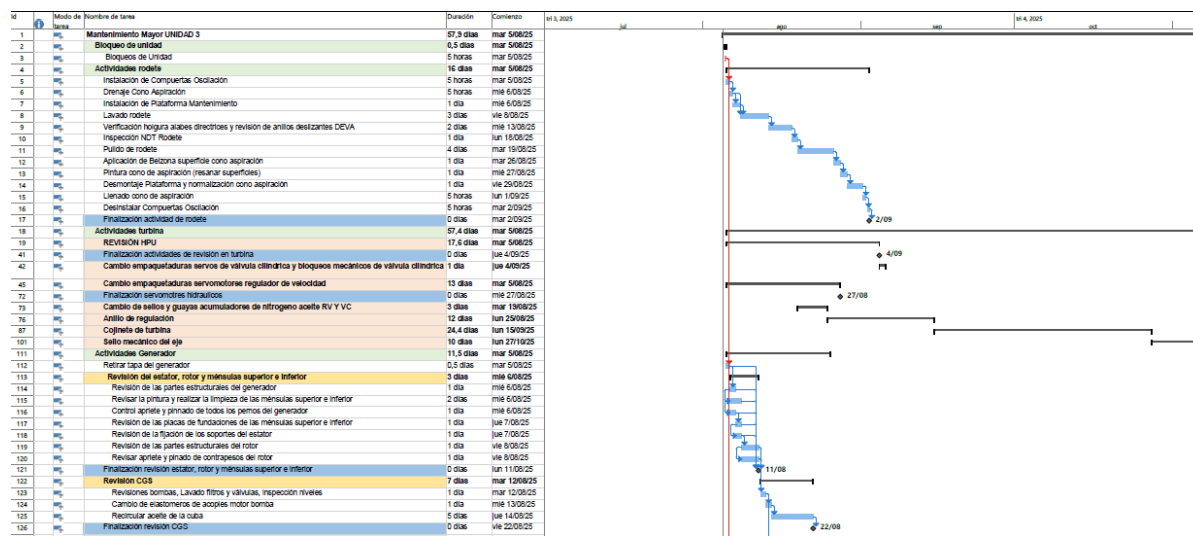
Cuando se inicia una planeación de mantenimiento debemos tener claro cuál será el alcance de dicha planeación, en esta instancia sabemos que la ruta crítica de nuestro Project serán las actividades que tenga el mayor tiempo de ejecución, por tal motivo la organización determino un plazo en que se debe desarrollar el proyecto.

Para el proceso de planeación, se asignaron unas series de reuniones por el grupo mecánico para poder construir el Project. Preliminarmente, se debe tener las guías de mantenimiento para el mantenimiento mayor, ya que con ellas podemos determinar varias cosas que se necesitaran para el desarrollo de las actividades como se ilustra en la figura 15, teniendo en cuenta que las guías contienen el alcance que se debe lograr a cada uno de los equipos que se va a intervenir

Se logra concluir los tiempos de ejecución, también se contienen los materiales y herramientas que se tendrán para el desarrollo de cada una de las actividades, sabiendo que se debe hacer una solicitud previa de los materiales y repuestos para que en el momento de la ejecución se cuente con toda y no llegue haber un retraso en los tiempos, también se realiza la solicitud de los materiales dependiendo de qué tipo de material sea, si es un repuesto o herramienta, porque se entiende que hay una orden ya creado dispuesta al mantenimiento mayor y ahí serán cargado con la guía de mantenimiento de cada uno de los frentes de trabajo, al ya tener todo concluido con los materiales, se va evaluando que servicios externos necesitaremos para así generar los contrato y se tenga todo al día.

Figura 15

Actividades a ejecutar con sus tiempos y predecesoras



Nota. Adaptado a Isagen.

Organización de los materiales necesarios vista al mantenimiento mayor

Al tener un consenso de los materiales que se van a requerir, se ejecuta un listado de cada uno de los materiales con las cantidades específicas, código SAP y valor comercial para poder tener un reflejo contable de lo que podría valer cada uno de ellos, pero dependiendo como se dijo anteriormente de qué material es, al momento de subir a la orden mantenimiento se sabe que el grupo mecánico cuenta con operaciones previamente asignadas a las guías ya creadas, al completar todos los requisitos que se necesitan para los materiales, sale que algunos de los materiales no existen en la central así que se debe buscar por una transacción en SAP donde están ubicados y generar una extensión de los códigos de los materiales o herramientas, si en el momento de la búsqueda de los códigos no se encuentra, se debe seguir a la creación del código donde se realiza una investigación de las especificaciones necesarias para la creación y compra.

Determinación del recurso humano para cada una de las actividades principales para el desarrollo óptimo en cada uno de los frentes de trabajo.

Figura 16

Identificación de herramientas y materiales para el MM U3

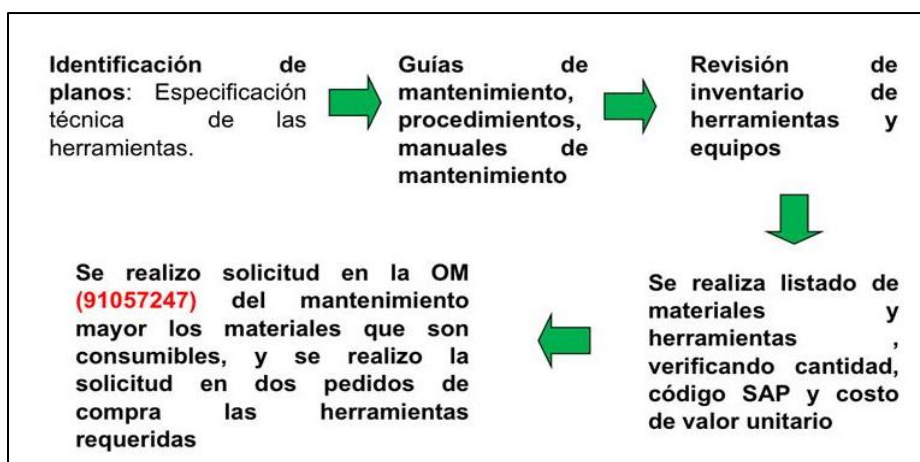


Figura 17

Recursos humanos MM

			Requeridos	SOGA	GTI	Faltantes				
Mecánicos	Tecnólogos Mecánicos	3 MM	9	4	3	2	MPC	10	MM	16
		4 Toshiba						4	Toshiba	
		2 Mantenimiento						2	Mantenimiento	
Electricistas	Tecnólogos Electricistas	2 MM	8	3	0	5	MPC	3	MM	9
		4 Toshiba						4	Toshiba	
		2 Mantenimiento						2	Mantenimiento	
Electrónicos	Tecnólogos Electrónicos	3 MM	5	4	0	1	MPC	4	MM	6
		0 Toshiba						0	Toshiba	
		2 Mantenimiento						2	Mantenimiento	

Nota. Adaptado de Isagen, recursos humanos en Microsoft Excel,2024

Procedimiento de izaje de la compuerta de aducción

Teniendo cuenta en primera instancia el formato que se usó para el procedimiento de la extracción del rotor se realiza la búsqueda de la información pertinente en el manual del fabricante y los planos donde se muestra el paso a paso de la extracción de la compuerta, con el fin de realizar su primera inspección del estado de la pintura y los componentes necesarios para el funcionamiento correcto de la compuerta.

Las compuertas se encuentran sumergidas durante estos 10 años de funcionamiento de la central, se realiza el procedimiento, ya que el mantenimiento mayor permite el espacio de la revisión teniendo en cuenta que no se realizara drenado de la conducción. Además, los tiempos y el alcance del mantenimiento mayor de la unidad 3 de generación permiten incluir la inspección de la compuerta de la unidad 3 de aducción.

Conclusiones

La planificación de un proyecto es de suma importancia para la organización, ya que requiere tener en su radar toda la información necesaria para que al momento de la ejecución no haya ningún percance que pueda afectar a la central Sogamoso, también se percibe como es la función de cada una de las personas de la organización en la toma de decisiones y siempre hay un trabajo conjunto.

Se logra la creación del planer que se requiere para el grupo mecánico, el cual será empalmando con el planear del mantenimiento mayor de la central, así teniendo ya los recursos necesarios para su próxima ejecución.

A partir de los conocimientos adquiridos durante la práctica, se logró apoyar al grupo mecánico en la creación de procedimientos, guías de mantenimiento, diseño de piezas en Solidworks, que serán esenciales en la ejecución del MM, y la ejecución de actividades que iban siendo asignadas en conjunto la asistencia a ellas con el acompañamiento de los asistentes mecánicos.

Referencias

- Castro Peralta, A. M. (2013). Metodología de apoyo para la programación a corto plazo de la operación de unidades de generación tipo francis en rangos extendidos [Maestría en ingeniería, Universidad EAFIT Escuela de Ingeniería].
<https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/a1470bb8-6afb-4ead-adf4-f6ec63c791e6/content>
- Galvis Castellon, J. G. (2008). [Plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos e importantes utilizados en el departamento de posventa Campesa S.A, Universidad Pontificia Bolivariana].
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/206/digital_16412.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Granizo Rodríguez, J. C. (2016). Evaluación de la gestión del mantenimiento de la central de generación hidroeléctrica Río Blanco, de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A, durante el año 2014 [Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5899/1/25T00279.pdf>
- Interactive, P. (s. f.). Central hidroeléctrica Sogamoso. Santander Competitivo - Comisión Regional de Competitividad de Santander. <https://santandercompetitivo.org/proyectos-estrategicos/en-funcionamiento/central-hidroeléctrica-Sogamoso/>
- Isagen Energía Productiva. (2021). *Resumen de la gestión*.
<https://isagen.com.co/documents/20123/34941/informe-gestion-2021-vc.pdf>
- Isagen Energía Productiva. (s. f.). Escuela de producción Isagen.
<https://traing.co/isagen/#/web/cursos/263>

ISAGEN. (2014). Especificaciones técnicas, equipos electromecánicos proyecto hidroeléctrico Sogamoso. Isagen, Energía Productiva.

ISAGEN. (s. f.). Hidrosogamoso la energía que Colombia necesita. <https://smi-geoportal.santander.gov.co/smi/docs/hidrosogamoso.pdf>

Memoria Empresarial. (2015). *Isagen nace de un proceso de escisión*. Universidad Eafit. <https://memoriaempresarial.eafit.edu.co/el-dificil-proceso-de-escision/>

Ortiz, L. (2023). Gestión de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para una turbina tipo Francis de eje vertical [Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Universidad Industrial de Santander]. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/799f6119-4c1f-41b6-971a-2b9c13444b1f/content>

Rico, G. (2018). *Hidroeléctricas en Colombia: entre el impacto ambiental y el desarrollo*. Mongabay Noticias Ambientales. <https://es.mongabay.com/2018/06/hidroelectricas-colombia-hidroituango/>

Toro, R. (2024). Mantenimiento: un legado de innovación a lo largo de las décadas. Fracttal. <https://www.fracttal.com/es/blog/evolucion-del-mantenimiento>

Virage Group. (s. f.). *¿Por qué es importante la planificación de proyectos?* <https://www.viragegroup.com/es/recursos/pourquoi-la-planification-dans-un-projet-est-elle-importante/#:~:text=La%20planificaci%C3%B3n%20de%20un%20proyecto%20es%20crucial%20para%20el%20%C3%A9xito,los%20niveles%20de%20rendimiento%20esperados.>