



# **Creación de guías de mantenimiento en 3D para la optimización de programas de mantenimiento aplicado en la central hidroeléctrica Amoyá**

**Juan Sebastián Loaiza Cardozo**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Manizales, Colombia  
2020

# **Creación de guías de mantenimiento en 3D para la optimización de programas de mantenimiento aplicado en la central hidroeléctrica Amoyá**

**Juan Sebastián Loaiza Cardozo**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Electromecánico

Director (a):  
Ingeniero. German Alfonso Garzón Huertas

Línea de Investigación:  
El presente trabajo está enmarcado en la línea de desarrollo tecnológica de la sede  
Manizales.

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Manizales, Colombia

2020

*A Dios quien cada día me demuestra su grandeza, a mi familia quien pacientemente me ha apoyado en todo este proceso de crecimiento profesional y personal.*



## **Agradecimientos**

A la empresa ISAGEN y el personal técnico de la central Amoyá por su disposición para facilitar la información necesaria y las herramientas como fue el software de SolidWorks para el desarrollo de este proyecto. Lo cual sin su ayuda no hubiese posible.



## Resumen

Este proyecto se enfocó en poder realizar un análisis de las metodologías adoptadas en ISAGEN para la implementación de su plan de mantenimiento de captación y las unidades generadoras, dónde se identificó que las guías de mantenimiento son documentos de gran importancia para la programación, planeación y ejecución del mantenimiento. Pero estos documentos son elaborados en formatos de texto con imágenes o fotografías planas que no describen de una manera detallada la actividad que se quiere ejecutar, lo que puede inducir a errores por la falta de claridad.

Se realizó un análisis de las OM, (ordenes de mantenimiento), ejecutadas desde la puesta en servicio hasta la fecha para identificar el comportamiento de los equipos y los costos asociados a los diferentes tipos de mantenimiento en ISAGEN. Se evidencio que hay equipos presentan un gran número de intervenciones, pero con unos costos bajos y otros equipos con un número de intervenciones bajas pero unos costos muy altos. Se planteó como solución a este problema la creación de guías de mantenimiento interactivas en 3D, donde de una manera muy gráfica se representa la actividad a ejecutar minimizando la oportunidad de error durante la ejecución y mejorando la planeación del mantenimiento con tiempos más ajustados, identificación, ubicación, ensamble de repuestos y herramientas necesarias. Con la implementación de esta metodología para las guías de mantenimiento se pueden lograr mejoras en los indicadores de mantenibilidad, confiabilidad, disponibilidad y los costos asociados al mantenimiento, también se tendrá un documento técnico muy bien elaborado que servirá para la transferencia del conocimiento.

**Palabras clave: (Diseño 3D, Energía Hidroeléctrica, Interactivo, Mantenimiento, SolidWorks, SolidWorks Compouser).**

## **Abstract**

This project focused on being able to carry out an analysis of the maintenance methods in ISAGEN for the implementation of its catchment maintenance plan and the generating units, where it was identified that the maintenance guides are documents of great importance for programming, planning and maintenance execution. But these documents are prepared in text formats with images or flat photographs that do not describe in a detailed way the activity to be carried out, which can be misleading due to lack of clarity. An analysis of the OMs (maintenance orders), executed from commissioning to date, was carried out to identify the behavior of the equipment and the costs associated with the different types of maintenance at ISAGEN. It was evident that there are teams with a large number of interventions, but with low costs and other teams with a low number of interventions but very high costs. As a solution to this problem, the creation of interactive maintenance guides in 3D was proposed, where the activity to be executed is represented in a very graphical way, minimizing the opportunity for errors during execution and improving maintenance planning with tighter times, identification, location, assembly of spare parts and necessary tools. With the implementation of this methodology for maintenance guides, improvements can be achieved in the indicators of maintainability, reliability, availability, and costs associated with maintenance. There will also be a very well-prepared technical document that will serve to transfer knowledge.

**Keywords:** (3D Design, Hydropower, Interactive, Maintenance, SolidWorks, SolidWorks Composer).



# Contenido

|   | Pág. |
|---|------|
| 1. Generalidades .....                            | 3    |
| 2. Marco Teórico.....                             | 13   |
| 3. Mantenimiento en ISAGEN .....                  | 21   |
| 4. Guías de mantenimiento Interactivo en 3D. .... | 49   |
| 5. Conclusiones y recomendaciones.....            | 64   |

## Lista de figuras

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Figura 1-1 Tasa de Fallas.....   | 5           |
| Figura 1-2 TPR San Carlos .....  | 6           |
| Figura 1-3 TPR Amoyá.....  | 6           |
| Figura 1-4 Tipos fallas San Carlos.....  | 7           |
| Figura 1-5 Tipos de fallas Amoyá .....   | 7           |
| Figura 1-6 Histórico de fallas San Carlos.....                                       | 8           |
| Figura 1-7 Histórico de fallas Amoyá. ....   | 8           |
| Figura 3-1 OM Ejecutadas en Casa Maquinas. ....                                      | 32          |
| Figura 3-2 OM Ejecutadas en la U1 por Grupo de trabajo .....                         | 33          |
| Figura 3-3 OM Ejecutadas en la U2 por Grupo de trabajo .....                         | 34          |
| Figura 3-4 Representación de los Costos Mantenimiento Correctivo U1 .....            | 36          |
| Figura 3-5 Representación de los Costos Mantenimiento Preventivo Fuera plan U1 ..... | 37          |
| Figura 3-6 Costos Mantenimiento Preventivo Fuera Plan Turbina U1 .....               | 38          |
| Figura 3-7 Representación de los Costos Mantenimiento Correctivo U2 .....            | 40          |
| Figura 3-8 Representación de los Costos Mantenimiento Preventivo Fuera plan U2.....  | 41          |
| Figura 3-9 OM Ejecutadas en Captación .....  | 42          |
| Figura 3-10 OM Ejecutadas en Captación por Grupo de trabajo .....                    | 43          |
| Figura 3-11 Costos Mantenimiento Correctivo Captación.....                           | 44          |
| Figura 3-12 Costos Mantenimiento Preventivo Fuera plan Captación .....               | 45          |
| Figura 3-13 OM Ejecutadas Módulo Desarenador 1 Captación .....                       | 46          |
| Figura 3-14 Costos Mantenimiento Preventivo Fuera Plan Compuerta de descarga 1 ...   | 47          |
| Figura 4-1 Central Amoyá en 3D .....   | 49          |
| Figura 4-2 Inicio.....   | 51          |
| Figura 4-3 Desmontar boquerel.....   | 52          |
| Figura 4-4 instalar boquerel montaje .....   | 52          |
| Figura 4-5 Aflojar aguja .....   | 53          |
| Figura 4-6 Desmontar aguja.....  | 53          |
| Figura 4-7 Desmontar tobera.....   | 54          |
| Figura 4-8 Retirar tobera .....  | 54          |
| Figura 4-9 Desmontar eje.....  | 55          |
| Figura 4-10 Retirar tuercas.....   | 55          |
| Figura 4-11 Desmontar soporte de la aguja.....                                       | 56          |
| Figura 4-12 Cambiar empaques del soporte aguja .....                                 | 56          |
| Figura 4-13 Desmontar pistón .....   | 57          |

---

|   |    |
|---|----|
| Figura 4-14 Cambiar empaques del pistón .....             | 57 |
| Figura 4-15 Desmontar cilindro compensador .....          | 58 |
| Figura 4-16 Cambiar empaques cilindro compensador.....    | 58 |
| Figura 4-17 Desmontar tapa del pistón compensador .....   | 59 |
| Figura 4-18 Cambiar sellos tapa pistón compensador .....  | 59 |
| Figura 4-19 Vista Explosionada.....                       | 60 |
| Figura 4-20 Guía mantenimiento en 1984 .....              | 61 |
| Figura 4-21 Guía de mantenimiento en 1988 .....           | 62 |
| Figura 4-22 Guía de mantenimiento en 2020 .....           | 62 |
| Figura 4-23 Plano Inyector Amoyá .....                    | 63 |
| Figura 4-24 Plano Interactivo Inyector Central Amoyá..... | 63 |

## Lista de tablas

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Tabla 3-1 Estructura Técnica Amoyá.....                              | 27          |
| Tabla 3-2 Equipos Casa maquinas.....                                 | 28          |
| Tabla 3-3 Equipos Captación .....                                    | 29          |
| Tabla 3-4 Guías de Mantenimiento Mecánico Casa Maquinas .....        | 30          |
| Tabla 3-5 Guías de Mantenimiento Mecánico Captación.....             | 31          |
| Tabla 3-6 OM Ejecutadas en Casa Maquinas .....                       | 31          |
| Tabla 3-7 % OM Ejecutadas por Grupo de trabajo en Casa Maquinas..... | 34          |
| Tabla 3-8 OM Mecánicas Ejecutadas en la Unidad 1 por Equipo .....    | 35          |
| Tabla 3-9 OM Mecánicas Ejecutadas en la Unidad 2 por Equipo .....    | 39          |
| Tabla 3-10 OM Ejecutadas en Captación .....                          | 42          |
| Tabla 3-11 OM Mecánicas Ejecutadas en Captación. ....                | 44          |

# Introducción

Este proyecto nació de la necesidad de poder consolidar una herramienta tecnológica que permita centralizar la documentación técnica para la gestión de las actividades de mantenimiento de la central Amoyá, para esto se hizo necesario realizar un análisis desde el 2013 a la fecha de todas las OM creadas para atender al programa de mantenimiento preventivo, correctivo y los preventivos fuera del programa de mantenimiento. Dentro de los informes presentados mensual y anualmente se puede evidenciar como ISAGEN en su indicador de disponibilidad tiene unos valores alrededor del 98% en sus centros productivos lo que da entender el excelente trabajo en la gestión del mantenimiento, para la ejecución del mantenimiento encontramos que dentro de su ciclo de programación y ejecución se requiere de las guías de manteniendo, procedimientos e instructivos, los cuales son un tipo de documento especial, que describe en detalle las actividades que deben realizarse a un equipo principal o periférico asociado a la cadena de producción.

Las guías de mantenimiento fueron creadas en 1984 como respuesta a varias necesidades como homogenizar procedimientos, mejorar la planificación de los mantenimientos, capacitar al personal nuevo y de preservar una serie de datos e instructivos técnicos que no podían dejarse a la memoria de los ejecutores del mantenimiento.

En 1984 el ingeniero Luis Fernando Novoa en la central San Carlos inicia con la elaboración de guías de mantenimiento, manuscritos con gráficos hechos a mano, una labor muy dispendiosa pero muy valiosa que con los días empezó a difundirse en las otras centrales. Luego entre 1986 y 1988 se empezaron a digitar con máquina de escribir y más adelante el ingeniero Jaime Sierra inicio con la digitalización de las guías de mantenimiento, ahora el texto podría editarse, pero los gráficos tendrían que realizarse a mano, pegar fotocopias de manuales o fotografías.

Desde esa época hasta hoy las guías de mantenimiento han cambiado sus versiones, se les han realizado modificaciones, se ha adicionado nueva información y se desarrollan en herramientas que facilitan la inclusión de imágenes, planos y esquemas, pero en esencia se ha mantenido el concepto inicial.

Desde el punto de vista técnico las guías de mantenimiento son un grupo de instrucciones acompañadas de gráficos que ayudan a entender lo que está redactado. Lo que se desea es poder continuar con la evolución que han tenido durante el tiempo haciendo uso de herramientas tecnológicas como son los programas de diseño asistido por computador que nos permiten tener una visualización en 3D de cada uno de los componentes de la maquina y recreando de una forma interactiva las instrucciones técnicas a realizar, minimizando los textos explicativos, pero aun así conservando los criterios como fue concebida en sus inicios en 1984.

Con la implementación de los instructivos interactivos se espera poder mejorar algunas dificultades que se tiene con el actual formato, como son, las limitaciones de poder comunicar las ideas con textos explicativos lo que en ocasiones puede generar ambigüedades o diferentes interpretaciones, imágenes planas poco ilustrativas, demoras en la comprensión de las instrucciones, falencias en la ubicación de partes y la visualización con el conjunto, con estas mejoras se espera que la ejecución del mantenimiento en la central Amoyá siga manteniendo su indicador de disponibilidad en valores cercanos al 100%, pero mejorando en los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad de los equipos principales y obteniendo una optimización de los costos. Esto se logra porque con los instructivos interactivos en 3D se puede obtener un conocimiento óptimo de los equipos, lo que impactará en los tiempos de ejecución evitando reprocesos y fallas inducidas por la falta de conocimiento, con los instructivos interactivos se podrá identificar previamente los riesgos asociados a las personas y los equipos y así poder establecer barreras de control y de protección eficaces.

# 1. Generalidades

## 1.1 Planteamiento del problema.

ISAGEN es una empresa generadora y comercializadora de energía eléctrica de la república de Colombia con siete centrales de generación que suman 3.032 MW.

Con el objetivo de mantener los altos niveles de disponibilidad, se tiene implementado un completo plan de mantenimiento basado en ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). La gestión del mantenimiento es realizada por cada uno de los centros productivos y por el equipo Gestión Técnica e Infraestructura (GTI). Las actividades de planeación de mantenimiento preventivo y predictivo, la evaluación del mantenimiento y la administración del registro histórico de fallas son desarrollados por el equipo GTI en coordinación con las centrales. La programación y ejecución del mantenimiento de las centrales de ISAGEN lo realizan directamente el personal de ingenieros y asistentes de operación y mantenimiento de la central. Para ello se cuenta con personal de mantenimiento distribuido por especialidades, eléctrica, electrónica, mecánica, instrumentación y obras civiles. La ejecución y análisis de los resultados de las pruebas predictivas, la planeación y dirección de proyecto de modernización, adecuación o complementación e ingeniería y el seguimiento de la condición de equipos y obras son actividades realizadas por el equipo GTI. La compra de repuestos comunes y especiales, contratación bienes y servicios para las tareas de mantenimiento son realizadas por los equipos de Planeación de Recursos para la Generación y Abastecimiento Corporativo.

Para la realización del mantenimiento en los centros productivos, equipos e instalaciones se han distribuido en dos clases:

Clase 1: Equipos e instalaciones para cuyo mantenimiento se requiere indisponer unidades generadoras, denominados equipos principales.

Clase 2: Equipos e instalaciones que se pueden intervenir sin generar indisponibilidad de las unidades generadoras, denominados equipos periféricos.

El plan de mantenimiento para los equipos clase 1 llamado “Programa de mantenimiento de unidades generadoras” se elabora mediante un análisis técnico económico que permite buscar el momento más oportuno para intervenir las máquinas. Desde el aspecto técnico, se tiene en cuenta las condiciones y requerimientos de los equipos y las recomendaciones de los fabricantes. Por el aspecto económico, se determina el punto donde la

indisponibilidad cause la menor pérdida de ingresos. ISAGEN tiene como directriz que el aspecto técnico prima sobre el económico.

El programa de mantenimiento de unidades generadoras está conformado por el plan de mantenimiento predictivo y el plan de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento predictivo, permite hacer un diagnóstico de la condición de los equipos a través del análisis de tendencias de los principales parámetros de funcionamiento de los equipos.

El mantenimiento preventivo consiste en inspecciones, limpiezas, ajustes, reemplazo de componentes y reacondicionamiento de los equipos que conforman las unidades generadoras, de acuerdo con las guías de mantenimiento.

El mejoramiento del proceso se da cuando se realizan las actualizaciones de las guías de mantenimiento, actividad que se realiza una vez finalizado el mantenimiento buscando optimizar los tiempos de ejecución, los recursos y la mejor condición del equipo.

Las guías de mantenimiento son elaboradas por el personal de asistentes de operación y mantenimiento de cada una de los centros productivos, se elaboran bajo una plantilla de Word, donde por medio de textos explicativos, imágenes de planos, fotografías se describe el paso a paso de las actividades que se deben ejecutar durante el mantenimiento, se describen los recursos necesarios para desarrollar las actividades y la periodicidad con que se va ejecutar, dicha información es utilizada por el personal de mantenimiento para crear o actualizar el programa de mantenimiento de las unidades generadoras. Las personas encargadas de ejecutar el mantenimiento preventivo son los asistentes de operación y mantenimiento de acuerdo con la información plasmada en las guías de mantenimiento.

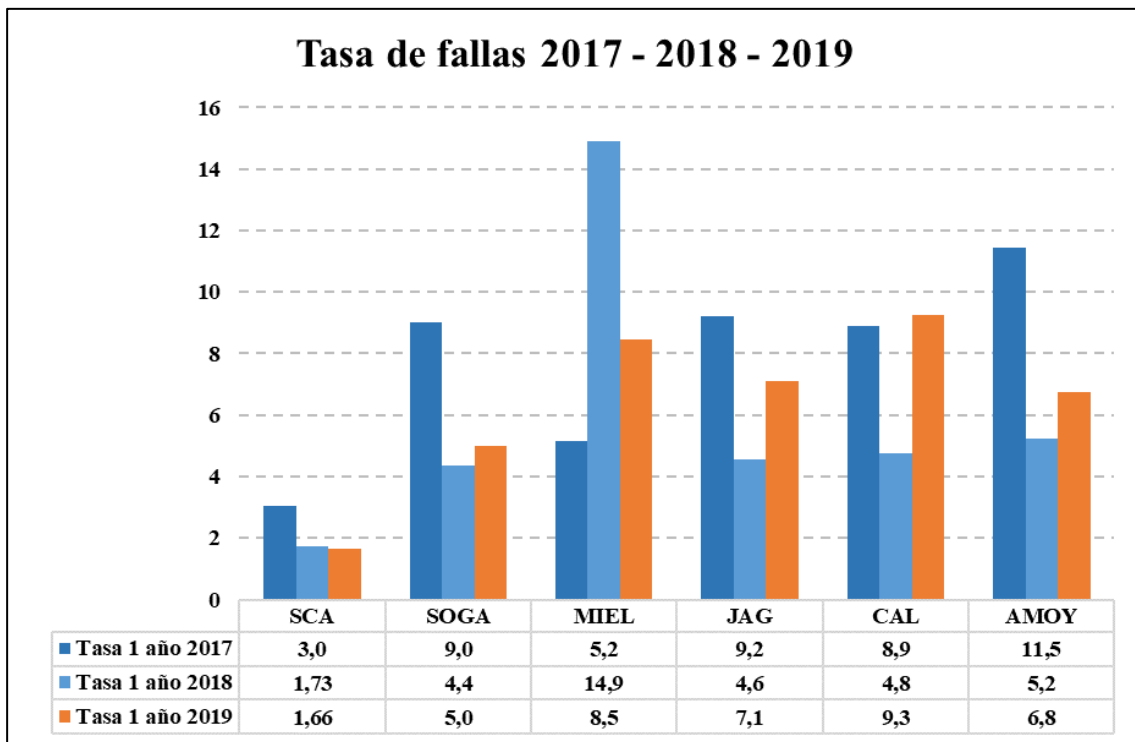
Partiendo de la premisa de que las guías de mantenimiento son el documento principal para la implementación del mantenimiento en ISAGEN, se identifican grandes limitaciones para transmitir de manera eficiente las instrucciones e información necesaria para la ejecución de varias actividades de mantenimiento de las unidades generadoras. Algunas actividades sencillas son fácilmente explicadas con el formato actual de las guías de mantenimiento, pero el conocimiento para realizar intervenciones de mayor complejidad no se logra transferir con las guías actuales porque son documentos en formatos planos donde se debe recurrir a textos explicativos extensos que se pueden prestar para malas interpretaciones acompañada de imágenes poco ilustrativas que no logran conectar de una forma clara la instrucción con la imagen relacionada.

En la siguiente gráfica podemos visualizar como es el comportamiento de las fallas en cada una de las centrales generadoras de ISAGEN y es evidente como en la central San Carlos a pesar de tener 8 unidades generadoras presenta un comportamiento más estable y de menor cantidad de fallas de los últimos tres años y esto lo podemos ver asociado a que es una central con más de 30 años de funcionamiento donde a través de los años, el



personal que interviene estos equipos ha adquirido un gran conocimiento a partir de la experiencia. También podemos ver como la central AMOYA en sus últimos tres años cuenta una tasa de fallas mayor con solo dos unidades generadoras, pero su puesta en servicio fue solo hace 5 años. Es evidente como el conocimiento adquirido a partir de la experiencia ayudan a mejorar la mantenibilidad de las unidades generadoras.

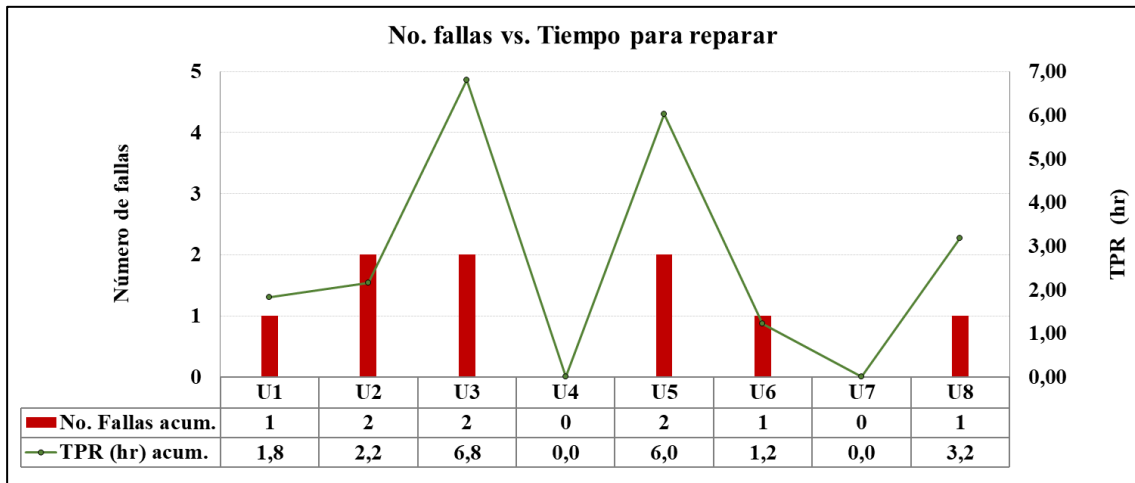
Figura 1-1 Tasa de Fallas



Fuente. Informe de confiabilidad ISAGEN

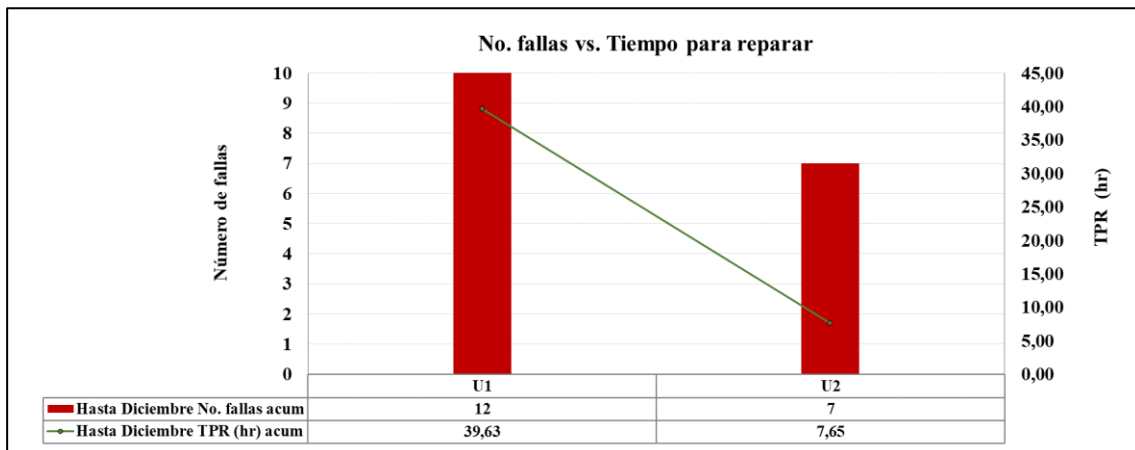
En las siguientes graficas se puede ver como la central AMOYA presenta un TPR (tiempo para reparar) mayor al de San Carlos, este valor está asociado únicamente a los equipos que fallan. Nuevamente, el mayor conocimiento obtenido con los años de experiencia le da la ventaja a San Carlos en tiempo y efectividad de respuesta.

Figura 1-2 TPR San Carlos



Fuente. Informe de confiabilidad ISAGEN

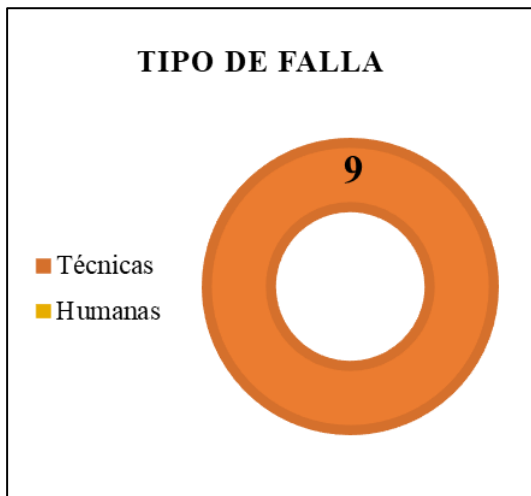
Figura 1-3 TPR Amoyá



Fuente. Informe de confiabilidad ISAGEN

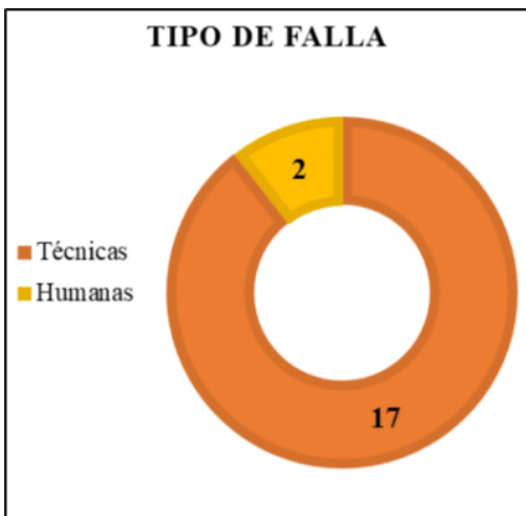
Se realizó un análisis de los tipos de fallas presentadas en la central San Carlos y la central Amoyá y se puede ver como durante el año 2019 en San Carlos no se presentaron fallas de tipo humanas, todas fueron catalogadas como técnicas, en cambio en la central Amoyá se presentaron 2 fallas de tipo humanas y 17 técnicas.

Figura 1-4 Tipos fallas San Carlos



Fuente. Informe de confiabilidad ISAGEN

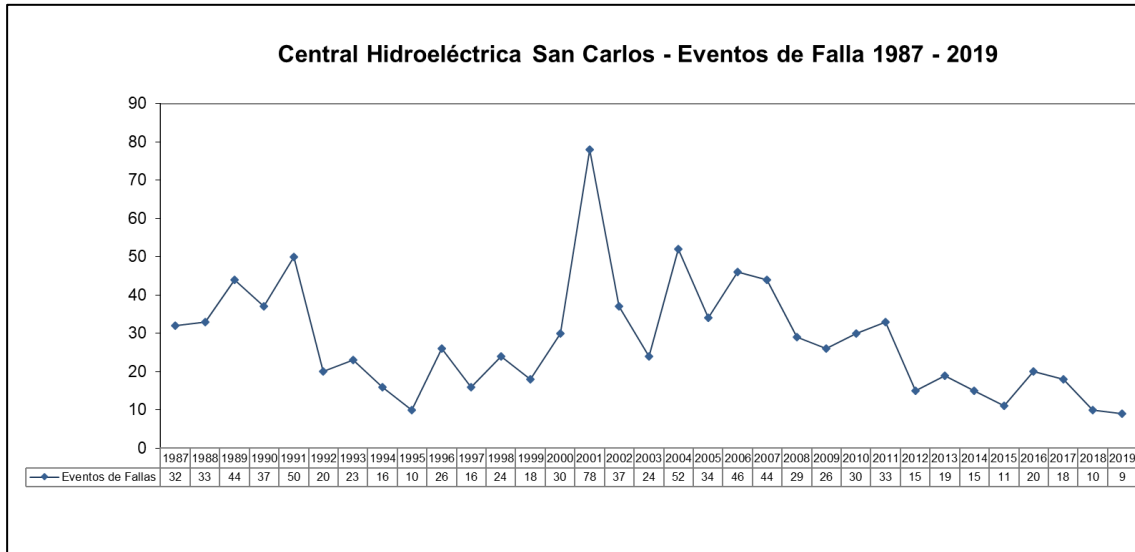
Figura 1-5 Tipos de fallas Amoyá



Fuente. Informe de confiabilidad ISAGEN.

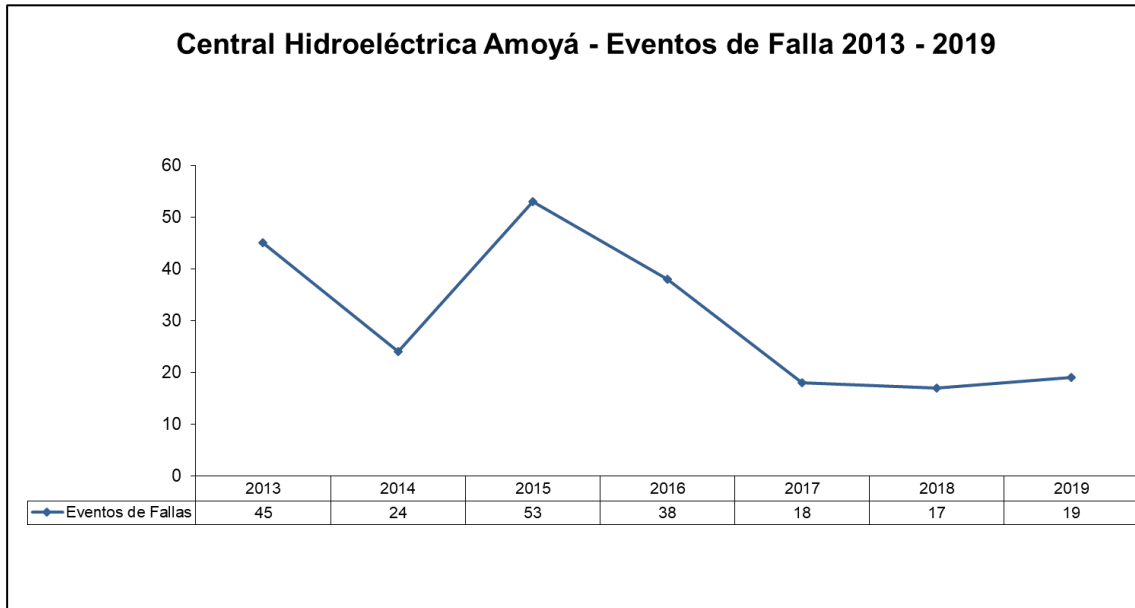
En las siguientes graficas se puede ver el comportamiento de las fallas de la central San Carlos y la central Amoyá, donde el comportamiento es similar y se puede ver como durante los primeros años las fallas son mayores, a medida que pasa el tiempo estas se van estabilizando y esto se puede concluir que es debido al conocimiento adquirido durante muchos años de experiencia.

Figura 1-6 Histórico de fallas San Carlos.



Fuente. Informe de confiabilidad ISAGEN

Figura 1-7 Histórico de fallas Amoyá.



Fuente. Informe de confiabilidad ISAGEN.

Partiendo de lo anterior podemos concluir que se hace muy necesario tener una metodología eficiente en la transferencia del conocimiento de los equipos clase 1 de la central AMOYA con el fin de poder minimizar las fallas durante los primeros años, con la implementación de las guías de mantenimiento interactivas en 3D se espera mejorar los tiempos de ejecución, minimizar las fallas, mejorar las competencias de los trabajadores y poder hacer una identificación más acertada de los riesgos asociados a la actividad.

## 1.2 Justificación

Este proyecto se hace necesario debido a que en la actualidad las guías de mantenimiento son documentos importantes en la planeación, programación y ejecución del mantenimiento con textos extensos e imágenes poco ilustrativas sobre la actividad que se está ejecutando lo cual hace necesario consultar otros documentos para poder dar claridad a las instrucciones que se están describiendo en la guía o el procedimiento o contar con personal especializado al momento de ejecutar los mantenimientos relacionados con los equipos clase 1 . Con la creación de las guías de mantenimiento interactivas en 3D se brinda la oportunidad de minimizar el uso de textos extensos, de reducir las posibles mal interpretaciones, de aumentar la velocidad de incorporación del conocimiento y de almacenar con gran efectividad el conocimiento de los trabajadores con mayor experiencia y/o habilidad. La visualización en formatos 3D constituye un lenguaje universal que puede contribuir a explicar las instrucciones de una forma más clara, facilitando la comprensión global de las instrucciones, la ubicación espacial en los sitios de intervención, la determinación de interferencias, etc. Esto minimiza los ciclos repetitivos y errores durante la ejecución.

La implementación de las guías de mantenimiento interactivas en 3D implicará creación de valor para ISAGEN, se facilita el trabajo de las personas encargadas de la planeación, programación y ejecución del mantenimiento y aumenta la efectividad de las intervenciones. Con información más centralizada y detallada para la ejecución de actividades, se logra mayor asertividad desde las instancias de planeación, eficiencia y eficacia con los mantenimientos que se realicen.

Una vez implementada las guías de mantenimiento interactivas en 3D se pueden iniciar procesos de transferencia de conocimiento donde las personas que poseen la experiencia de haber trabajado durante tantos años en ISAGEN puedan tener una herramienta en formato 3D para poder explicar todo su conocimiento sin tener que esperar a que se ejecute un trabajo especial, algunos de ellos con periodicidades de hasta 5 años o más, o conformar grupos de estudios de las diferentes especialidades donde por medio de los ensambles en 3D se pueda crear las guías y evaluar la mejor manera de ejecutar el trabajo.

Para el equipo GTI (Gestión técnica e infraestructura) será un insumo muy valioso para poder analizar incidentes, procesos o sistemas, también para identificar posibilidades de rediseño que mejore la confiabilidad, o mantenibilidad de las unidades generadoras.

## 1.3 Objetivos.

### 1.3.1 Objetivo General

Analizar y evaluar la gestión del mantenimiento en la central hidroeléctrica del río Amoyá - La Esperanza y como se podría mejorar a través de las guías de mantenimiento interactivas en 3D.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Realizar la revisión de la literatura con respecto al modelado en 3D y las filosofías de la gestión del mantenimiento actuales.

Revisar el programa de mantenimiento de la Central Hidroeléctrica del Río AMOYA la Esperanza.

Realizar y evaluar las guías de mantenimiento interactivo en 3D para la Central Hidroeléctrica del Río AMOYA la Esperanza.

## **1.4 Estado del arte.**

A continuación, se relacionan algunos documentos técnicos y casos de éxitos de empresas que adoptaron la tecnología del diseño asistido por computador en 3D (CAD) lo que se convirtió en una potente herramienta para diseñar, crear, fabricar nuevos productos y capacitación del personal, las empresas que adoptaron esta tecnología, la cual se viene desarrollando hace una década obtuvieron avances muy significativos en sus procesos, mejorando los tiempos de productividad, recortando los ciclos de diseño y acelerando los tiempos de comercialización.

En el informe técnico “Agilizar la documentación del producto en la empresa de fabricación con SOLIDWORKS Composer” se describe como a través de la herramienta se puede elaborar instrucciones sobre la fabricación y el montaje de manera más eficiente y clara, debido a que algunas empresas utilizan los planos en 2D, manuales de montaje y algunos de estos documentos contienen textos explicativos demasiado extensos.

En el informe técnico se explica como el idioma puede ser una barrera que afecte la comunicación entre el personal de diseño y el de fabricación esto puede obstaculizar la producción y a menudo se pierde tiempo en buscar y verificar componentes, o en intentar entender las instrucciones de montaje y fabricación, por ese motivo el contenido visual en 3D se convierte en un lenguaje universal para comunicar la información esencial. [1]

En el boletín de la IIE (Instituto Investigación Eléctricas) (2011) “Realidad Virtual presente y futuro”. Plantea como la realidad virtual es una poderosa herramienta que ha sido utilizada por empresas para la capacitación de sus empleados realizando simulaciones de actividades de alto riesgo para las personas o los equipos sin necesidad de estar en los espacios o interviniendo los equipos en físico con el fin de explorar y comprender los procesos y los conceptos de una manera más eficiente. La realidad aumentada ha demostrado ser muy útil en los procesos de capacitación, diseño y simulación para contribuir a la toma de decisiones. “Sistema para la capacitación y entrenamiento para el mantenimiento de las líneas de la red de distribución, AIEn3D” en este documento encontramos un caso de éxito como es el mantenimiento de líneas energizadas que es una actividad muy compleja con muchos riesgos asociados por lo que la capacitación es

una actividad necesaria para su personal y por medio de la realidad virtual permite a los técnicos de mantenimiento capacitarse en ambientes 3D interactivos libres de riesgos para posteriormente usar esos conocimientos en una instalación real. [2]

En el trabajo realizado por Ortiz y Pilatuña (2019) "DISEÑO DE UNA PLANTA VIRTUAL DE TRITURACIÓN DE PIEDRA CALIZA, PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO". Se evidencia como a través de una herramienta tecnológica de diseño mecánico, se creó el diseño de una planta virtual con el objetivo de poder crear una herramienta didáctica para el aprendizaje, el cual por medio de encuestas realizadas a través de la página web registra que los estudiantes aumentaron su conocimiento de un 12% a un 89%. [3]

Dentro las consultas realizadas evidenciamos un nuevo concepto llamado Gemelo es la visión general de un activo real en el mundo digital es así como Salas y Asencio (2019) presentan un documento llamado "Desarrollo De Un Gemelo Digital 3d Para 3 Unidades En La Refinería De Cartagena De Ecopetrol" en este documento se plasma las fases y las metodologías necesarias para poder hacer el levantamiento en 3D de los componentes seleccionados. Se plantea como a través de los gemelos se puede mejorar la toma de decisiones basada en una información confiable y actualizada y como los gemelos deben ser una herramienta que debe ir de la mano para el personal de mantenimiento. [4]

En la tesis "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INTERACTIVO A ESCALA DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA CON TURBINA PELTON" elaborado por Néstor Cáceres (2017) se puede ver como herramientas tecnológicas como son los programas de diseño asistido por computador 3D son muy importantes en el desarrollo de un proyecto para poder tener una visión general ayuda a las personas a tener un mejor entendimiento y afianzar los conocimientos de una manera más rápida al tener un entorno interactivo. [5]

THIELE TECHNOLOGIES, INC. "EL MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS DE EMBALAJE ES MÁS FÁCIL PARA LOS CLIENTES CON SOLIDWORKS COMPOSER" es una empresa que se encarga de construir máquinas de embalaje para las diferentes industrias, ellos creaban sus manuales en formatos 2D y PDF, aunque esta documentación satisfacía las necesidades de los clientes se presentaban algunos inconvenientes porque era mucho el tiempo que debían emplear para generar dibujos de vista detallada y listas de materiales para el catálogo de piezas de cada máquina y a los clientes no les resultaba fácil el uso de los PDF en 2D para identificar las piezas. Con los formatos 3D se pudo mejorar la calidad de los manuales y brindarles a los clientes un paquete que le permita a cualquier persona técnica realizar el ensamble de las máquinas, otra de las ventajas con la implantación de este software es que los técnicos de mantenimiento y los responsables de las líneas de producción tienen un documento centralizado que les permite identificar las piezas de una manera mucho más rápida y concreta que los planos en 2D. [6]





## **2. Marco Teórico.**

En este capítulo revisaremos todo lo relacionado con respecto a la gestión del mantenimiento y el diseño asistido por computador.

### **2.1 Gestión del Mantenimiento**

#### **2.1.1 Definición.**

“Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el que pueda desarrollar la función requerida.” [7]

#### **2.1.2 Filosofías de manteniendo.**

TPM Mantenimiento Productivo Total: Es un sistema desarrollado en Japón para eliminar pérdidas, reducir paradas, garantizar la calidad y disminuir costos en las empresas con procesos continuos.

El Mantenimiento Productivo Total es un enfoque del mantenimiento que optimiza la eficiencia del activo, elimina las paradas de máquina, reduce las pequeñas averías y promueve el mantenimiento autónomo del operador, involucrando a todo el personal, se fundamenta en la búsqueda permanente de la mejora de los rendimientos de los procesos y los medios de producción, con una implicación concreta y diaria de todas las personas que participan en el proceso productivo. [7]

RCM Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: Fue originalmente definido por los empleados de la United Airlines en su informe “Mantenimiento centrado en la confiabilidad”, informe que dio nombre al proceso. La industria aeronáutica acosada por la alta tasa de accidentalidad se dio a la tarea de definir un proceso organizado y sistemático para realizar las labores de mantenimiento y que desembocó en lo que hoy llamamos RCM. [7]

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es un procedimiento sistemático y estructura que consiste en analizar funciones, ver las posibles fallas, evaluar las causas de fallas, estudiar sus efectos y analizar las consecuencias para determinar los requerimientos de mantenimiento de los activos para la operación, debemos tener presente que todo activo es una unidad independiente y que se ve afectado por múltiples factores tanto de operación, como medio ambiente y que llevan a que sus comportamientos puedan ser diferentes. [7]

PMO Preventive Maintenance Optimization. Es una herramienta que se refiere principalmente a la búsqueda de optimizar los planes de mantenimiento ya sea mediante la adición o eliminación de algunas de las tareas. [7]

### **2.1.3 Tipos de mantenimiento**

Mantenimiento Correctivo: Son todos los servicios de reparación ejecutados en los equipos con falla o defecto que requieran detención del equipo. Por lo general, las fallas suelen presentarse de imprevisto y no tienen una rutina asignada, ocasionando paros en la producción, reducción de la eficiencia del equipo o calidad del producto que pueden ser costos. [7]

Mantenimiento preventivo: Su propósito es prever o evitar las fallas manteniendo los sistemas, equipos e instalaciones en completa operación anticipándose a la aparición de fallas, en este tipo de mantenimiento, cobra importancia los registros tanto históricos como presentes y aquellos obtenidos de los fabricantes o vendedores, ya que ellos pueden obtener información de las intervenciones realizadas en diferentes periodos y que ayudan a establecer las frecuencias optimas de intervenciones futuras. [7]

Mantenimiento rutinario o periódico: Es un mantenimiento basado en una frecuencia establecida, generalmente es intrusivo. Es decir, se requiere de detener o intervenir el equipo para hacerle mantenimiento. El objetivo de este tipo de mantenimiento es evitar las fallas de alto riesgo y normalmente lo que se hace es el cambio o reparación de sus componentes, subsistemas o partes antes de que cumplan su vida útil. [7]

Mantenimiento predictivo: La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno, consiste en seguimiento periódico del funcionamiento de uno o más

componentes de los equipos a través del análisis de variables tomadas con equipos especializados según el tipo de defecto que se desea buscar. [7]

Hay tres tipos de mantenimiento predictivo.

Inspecciones o rondas de operación: es un mantenimiento no intrusivo basado en inspecciones sensoriales de operador o técnico de mantenimiento.

Monitoreo basado en condición (CBM): Especialmente utilizados en equipos rotativos y cuyo principal defecto a detectar es el desgaste. Los equipos más usados son equipos de vibraciones ultrasonido laboratorio de aceites o estimativa hecha por evaluación estadística, entre otros, con el objetivo de predecir su comportamiento y determinar el punto “exacto” de cambio o reparación antes que se presente la falla.

Inspección basada en riesgo (RBI): Especialmente usados en equipos estacionarios cuyo principal defecto de detectar es el deterioro, corrosión o pérdida de espesor.

Su principal objetivo es la determinación del momento óptimo para la ejecución del mantenimiento correctivo en un equipo, es decir, al momento a partir del cual la probabilidad de que el activo falle asume valores indeseables e interfiere en la confiabilidad del sistema.

La determinación de ese momento trae como resultado la buena programación de los trabajos correctivos necesarios y la intervención oportuna del equipo, ya que no es efectuada durante el periodo en que aún está en condiciones de prestar el servicio, ni el periodo en que sus características operativas están comprometidas.

Por lo general es aplicado a sistemas o equipos críticos.

Mantenimiento mejorativo: El mantenimiento mejorativo o rediseño, consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación. Esto se da a que la máquina está sujeta a modificaciones que conllevan a una mejora en su mantenibilidad, confiabilidad o desempeño y son las personas de mantenimiento las que a medida que analizan la causa raíz de las fallas proponen y ejecutan los cambios necesarios. [7]

#### **2.1.4 Indicadores.**

Mean Time Between Failures. (MTBF): Representa el promedio del tiempo entre fallas de un equipo, sistema o componente. Cada elemento tiene un periodo de tiempo en el cual deberá cumplir su función sin interrupciones o habrá realizado su función por un periodo

de tiempo antes del análisis o calculo a efectuar ( $T_o$ ), sin embargo, ocurren fallas inesperadas durante dicho periodo ( $f_i$ ). [7] (ver Ecuación (2.1))

$$MTBF = \frac{T_o - T_{np}}{c_f} \quad (2.1)$$

$T_o$ : El tiempo establecido para operar.

$T_{np}$ : El tiempo de paradas no programadas.

$C_f$ : Cantidad de fallas detectadas durante el periodo establecido para operar.

MTTF Mean time to failures: Es el tiempo promedio con que se producirá la falla del elemento analizado. [7] (ver Ecuación (2.2))

$$MTTF = \frac{T_o}{c_f} \quad (2.2)$$

MTTR Mean time to repair: Representa el promedio del tiempo que tarda la reposición de las fallas de un elemento, equipo sistema o componente. [7] (ver Ecuación (2.3))

$$MTTR = \frac{T_{tr}}{c_r} \quad (2.3)$$

$T_{tr}$ : Tiempo total utilizado para reparar durante el periodo evaluado.

$C_r$ : Cantidad de reparaciones realizadas.

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un activo opere sin falla por un determinado periodo de tiempo especificado y bajo condiciones previamente establecidas. Lo que lleva a que como valor probabilístico varíe desde el 1 o 100%. [7]

Disponibilidad: Es el indicador que permite estimar el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. [7] (ver Ecuación (2.4)).

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100 \quad (2.4)$$

Mantenibilidad: Se define como la probabilidad de restaurar la condición operativa del equipo en un periodo de tiempo. [7] (ver Ecuación (2.5)).

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}} \quad (2.5)$$

## 2.2 Diseño 3D

### 2.2.1 Definición.

El diseño 3D es un sistema computarizado que permite proyectar un elemento o una pieza en un plano tridimensional, para iniciar con la construcción del objeto se debe hacer por

medio de softwares de diseño especializados, donde se realiza el modelamiento en un entorno virtual lo cual permite tener una visión del objeto o los objetos por medio de ensambles antes de realizar su construcción. [8]

### **2.2.2 Tipos de diseño3D.**

Modelado 3D, consiste en la construcción a partir de líneas de croquis sobre un plano x, y, y por medio de operaciones se pueda dar forma al objeto en el plano z, los ejes pueden variar según la forma del objeto, y de esta manera se logra la representación tridimensional del modelo.[8]

Gráficos 3D por computadora, se trata de representar en 3 dimensiones datos que se han almacenado haciendo referencia a un modelo sobre un plano 2D y por ultimo ser transformado a un archivo en 3D.

Modelos representados por polígonos, son modelos los cuales se crear a partir de polígonos (cubos, pirámides, dodecaedros).

### **2.2.3 Diseño asistido por computadoras.**

El diseño asistido por computador, CAD por sus siglas inglesas (Computer Aided Desing) se pueden dividir en programas de dibujo 2D y 3D. En el caso de los programas de dibujo 2D el usuario crea contornos a través de figuras geométricas para representar las vistas de los objetos la cual se visualiza a través de una interfaz gráfica. En el caso de los programas en 3D, se realizan operaciones que permiten obtener superficies y sólidos partiendo del croquis en 2D. [8]

### **2.2.4 Diferencias entre el 3D y el 2D**

Un gráfico 3D se diferencia principalmente de uno 2D por la forma en que ha sido generado. Este tipo de gráficos se originan mediante un proceso de cálculos matemáticos sobre entidades geométricas tridimensionales, producidas en un ordenador. Mientras que, el caso de los 2D, el propósito es conseguir una proyección visual en dos dimensiones para ser mostrada en una pantalla o imprimida en un papel. [8]

### **2.2.5 Aplicaciones.**

El diseño en 3D tiene aplicaciones en el campo de la arquitectura la ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, el diseño industrial y la animación 3D

El diseño 3D se constituye una herramienta es indispensable para las maquinas que operan en lenguajes CAD – CAM, como puede ser el mecanizado automático, el corte por laser y las impresoras 3D.[8]

### **2.2.6 SolidWorks**

Es un software de diseño CAD 3D para crear piezas y ensamblajes en 3D y planos 2D. el software ofrece soluciones para cubrir aspectos implicados en el proceso de creación del producto. SolidWorks ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar, administrar datos y gestionar proyectos y proceso maximizando la invocación y la productividad de los recursos de ingeniería. Todas estas soluciones funcionan juntas para permitir a las organizaciones diseñar mejores productos, de forma más rápida y de manera más rentable. [9]

SolidWorks cuenta con un completo conjunto de herramientas que le ayudan a ser más eficaz y productivo en el desarrollo de sus.

Dentro de las soluciones que SolidWorks tiene, analizaremos las que aplican a este proyecto.

### **2.2.7 SolidWorks CAD 3D**

SolidWorks CAD 3D permite mejorar de manera drástica los procesos de desarrollo y fabricación de productos. Como la base de todo el conjunto de soluciones de desarrollo de productos de SolidWorks, SolidWorks CAD reúne el diseño de la cubierta, la simulación, el cálculo de costes, las comprobaciones de las posibilidades de fabricación, CAM, el diseño sostenible y la gestión de datos. [9]

### **2.2.8 SolidWorks Composer**

Con el software de solidworks Composer se puede realizar animaciones e interacciones graficas en 3D para realizar las comunicaciones técnicas de los productos. [9]







## **3. Mantenimiento en ISAGEN**

La producción de energía necesita indiscutiblemente de procesos de operación que sean congruentes con los objetivos estratégicos empresariales. La energía producida en ISAGEN es comercializada en un mercado de energía mayorista y entregada a los clientes. Como parte del proceso de comercialización está el velar por el cumplimiento del cargo por confiabilidad, variable de gran relevancia dentro del balance de ingresos de la compañía. Este cargo por confiabilidad se logra con una alta y adecuada disponibilidad de los equipos asociados al proceso de producción y es precisamente allí donde se materializa toda la gestión de mantenimiento y toma importancia para mantener altos índices de disponibilidad operacional.

### **3.1 Filosofía del mantenimiento**

El objetivo específico del mantenimiento es de conservar los activos de la cadena de producción de energía en óptimas condiciones operacionales, de seguridad, de calidad del servicio y cuidado del medio ambiente a fin de que durante su vida útil cumplan con la función para la cual fueron adquiridos, todo dentro de una adecuada gestión de costos y administración de los riesgos.

En ISAGEN la filosofía a seguir en la gestión del mantenimiento se basa en el ciclo de mejoramiento continuo PHVA (Planear – Hacer – Verificar y Actuar), los criterios básicos para tener en cuenta en la planeación tienen que ver con los aspectos técnicos de los equipos en cuanto a su condición, desempeño y recomendaciones del fabricante y los aspectos comerciales por el impacto de la disponibilidad en los ingresos de la empresa y el cargo por confiabilidad

La base del mantenimiento en ISAGEN es el mantenimiento preventivo más un componente predictivo y constantemente se está evaluando el estado del arte con respecto a mejores prácticas de mantenimiento, tendencias mundiales como el caso del mantenimiento por condición.

## **3.2 Planeación y programación**

La planeación de las intervenciones sobre los activos y la infraestructura se desarrolla integrando los aspectos técnicos, la disponibilidad de los suministros requeridos y los comerciales en base a los costos de la energía durante los ciclos hidrológicos y los compromisos comerciales.

Teniendo en cuenta el desempeño de los equipos y la disponibilidad operacional como el principal indicador de desempeño ISAGEN tiene establecida una planeación a diferentes plazos.

### **3.2.1 Corto plazo**

Es una planeación a dos años, donde se estructura de manera definitiva la intervención a realizar y sobre esta se define o se aprueba el presupuesto anual a ejecutar, la cual está reflejada en el TBI, empresarial de cada año.

### **3.2.2 Mediano plazo**

Es una planeación a cinco años, donde se define en un mayor detalle los alcances de las intervenciones, precisando costos asociados, tiempos y recursos, reflejándose en el plan de desarrollo institucional.

### **3.2.3 Largo plazo**

Es una planeación a veinte años donde se refleja de manera general las intervenciones a realizar en los activos e infraestructura donde se plasma las disponibilidades esperadas de cada una de las centrales, teniendo en cuenta los planes de modernización y mantenimientos mayores.

La programación es un ajuste fino de la planeación de corto plazo que se realiza como mínimo 8 o 9 semanas antes de llevar a cabo cualquier intervención técnica sobre los activos y la infraestructura y es realizado por el personal técnico de las centrales en las ordenes de mantenimiento asignadas por especialidad.

El ajuste fino consiste en verificar y modificar, en caso de ser necesario, las fechas específicas para la intervención y los recursos requeridos como son las horas hombre, materiales e insumos para la ejecución, si la necesidad de cambio implica modificaciones

en el Plan Integrado de intervenciones técnicas, se debe consultar con el grupo de “Analítica y Planeación de Activos de Generación” para que se analice la viabilidad técnico comercial del cambio.

### **3.3 Ejecución.**

El plan general de mantenimiento de las unidades generadoras está conformado por el programa de mantenimiento predictivo y preventivo.

#### **3.3.1 El programa de mantenimiento predictivo**

Se encarga de realizar el diagnóstico de las condiciones de los equipos y sistemas principales a través de los análisis de tendencias, pruebas mecánicas como vibraciones, análisis de aceites, ultra sonido, partículas magnéticas y tintas penetrantes, pruebas eléctricas como análisis de aislamiento eléctricos de generadores, factor de potencia, tangente delta, y el monitoreo de descargas parciales (PDA), también se realizan termografías con el fin de detectar puntos calientes en sistemas eléctricos, el equipo encargado de ejecutar el programa de mantenimiento predictivo es el Equipo de Gestión Técnica e Infraestructura (GTI).

#### **3.3.2 El programa de mantenimiento preventivo.**

Consiste en inspecciones, limpiezas, ajustes y reacondicionamiento de los equipos que conforman las unidades generación, de acuerdo con las guías de mantenimiento y hojas de rutas incluidas en el programa de mantenimiento. La ejecución del mantenimiento preventivo es responsabilidad de las centrales de generación, basada en las OM de plan y en las ordenes fuera del plan, creadas a partir de avisos de solicitud y correctivo creadas a partir de avisos de avería o de actividades pendientes de ordenes de plan ya ejecutas a partir de avisos de actividad.

Las actividades de mantenimiento concluyen con el registro de la información pertinente y la actualización de las guías y planos cuando aplique, toda la gestión del mantenimiento es soportada por el sistema de información SAP.

### **3.4 Verificación**

Una vez finalizada la intervención técnica sobre los equipos e infraestructura, se cuenta con diferentes mecanismos para el seguimiento y evaluación de los resultados.

#### **3.4.1 Seguimiento a Equipos y Obras (SEO)**

Son reuniones periódicas interdisciplinarias en las que se realizan análisis de eventos, análisis de fallas, análisis de proyectos, análisis de condición de unidades y se evalúan necesidades de apoyos para otras centrales y gestión de conocimiento.

#### **3.4.2 Informes de gestión de mantenimiento**

Se generan mensualmente y describen el cumplimiento de la planeación, ejecución y evaluación de los mantenimientos realizados en cada central, en términos de la disponibilidad, confiabilidad y eventos de falla. Dentro del informe se describen análisis de los costos y las desviaciones de lo planeado vs lo ejecutado, el estado de los equipos y la ejecución al plan de paradas.

#### **3.4.3 Informe de Confiabilidad**

Se realiza cada año y presenta un análisis de los criterios para la selección del modelo de confiabilidad para cada central, se presenta un análisis estadístico de las fallas y el desempeño de equipos y sistemas, con sus indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad y así como el correspondiente análisis operacional por cada central.

#### **3.4.4 Comité de Operación y Mantenimiento.**

Se realiza cada mes con la participación de los directivos de la gerencia de producción de energía, donde se analiza el avance de las acciones ambientales, el reporte de HSSE, se presenta el informe de gestión de operación y normatividad, el informe de gestión de mantenimiento, el avance en los proyectos técnicos y el análisis de eventos y desviaciones de cada central

### **3.5 Actuar**

El mejoramiento del proceso se da cuando se realizan las actualizaciones de las guías de mantenimiento, actividad que se realiza una vez finalizada la ejecución del mantenimiento buscando optimizar los tiempos de ejecución, los recursos o la periodicidad de las intervenciones, en esta etapa se tienen en cuenta la necesidad de nuevas modernizaciones y reparaciones mayores que afecten la disponibilidad del equipo, finalmente para refinar el proceso, se realiza la interacción con el equipo de GTI.

### **3.6 Mantenimiento en la central Amoyá.**

La central Amoyá está localizada en el sur del departamento del Tolima, en jurisdicción del municipio de Chaparral, a unos 150 kilómetros de Ibagué. Tiene una capacidad instalada de 80 MW en dos unidades de generación.

Consiste en el aprovechamiento de las aguas de los ríos Amoyá y Davis con un sistema de captación a filo de agua, por lo tanto, no tiene embalse. Adicionalmente, 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.

La central hidroeléctrica Amoyá cuenta con una presa vertedero de 5 m de altura x 39 m de longitud construida en concreto a través del cauce del río, por sus dimensiones no genera embalse en la parte superior del azud tiene una reja coladera para captar un caudal de 18.4 m<sup>3</sup>/s, la cual se encarga de filtrar elementos flotantes, al agua una vez captada pasa al tanque desgravador para atrapar las gravas de mayor volumen y a través de un canal abierto en concreto reforzado de aproximadamente 100 m de longitud llamado canal de aducción conduce al agua hacia el canal de distribución provisto de tres compuertas planas que permiten el ingreso a cada uno de los módulos desarenadores, el módulo desarenador es una estructura en concreto de 84.5 m de longitud x 10.0 m de ancho y 7 m de profundidad que tiene como fin reducir la velocidad del agua para poder sedimentar las partículas más finas contenidas en el agua que por su composición y forma pueden ser muy nocivas para las turbinas, el agua es entregada por medio de un vertedero hacia el tanque de carga el cual se encarga de mantener un nivel del agua constante para alimentar un túnel de presión a través del cual las aguas llegan a la casa de máquinas, los excesos son entregados al río por medio de un vertedero en el tanque de carga.

El túnel de carga tiene una longitud de 8,700m y una sección excavada en forma de herradura con un diámetro de 3.5m y se encarga de llevar el agua captada del río hasta la central subterránea, antes de llegar a casa maquinas se bifurca en dos ramales blindados que llegan cada uno a una válvula esférica de 1100mm de diámetro, las cuales se encargan de controlar el acceso del agua hacia el recinto de turbina, este, está conformado por varios componentes como son el blindaje del distribuidor en forma de caracol cuya función es llevar el agua a cada uno de los 6 inyectores que la proyectan de forma controlada hacia la rodete Pelton, el cual gira ensamblado en un eje vertical que soporta los pesos de las masas rotantes usando un cojinete en la parte inferior para controlar la excentricidad y en la parte superior un cojinete combinado que controla la excentricidad y soporta el peso de todo el conjunto transmitiéndolo a una cruceta anclada a la estructura de concreto.

El generador está conformado por el rotor en cual se encuentra solidario al eje vertical, el sistema de excitación en la parte superior del eje y el estator donde se induce la energía eléctrica la cual es llevada por medio de unos ductos de barras a una tensión de 13.8kv a los transformadores de potencia que tienen una capacidad nominal de 45.68MVA, cada uno elevando así la tensión de 13.8kv a 115kv para reducir la pérdidas de energía durante las transmisión, la energía es entregada a la subestación encapsulada para posteriormente ser entregada al sistema interconectado nacional por medio de tres cables de potencia a una tensión de 115kv a la subestación tuluní.

Para el buen funcionamiento de los equipos se hace necesario la implementación de un plan de mantenimiento para cumplir con los estándares de calidad establecidos en ISAGEN los cuales son medidos por los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad basado en su ciclo de mejoramiento continuo PHVA

Se inicia con la identificación de los equipos y obras civiles, los cuales se ven reflejados en la siguiente estructura de equipos de la central.

Tabla 3-1 Estructura Técnica Amoyá

| Ubicación Técnica | Equipo       | Descripción                              |
|-------------------|--------------|--|
| 1-AMOY            |              | CENTRAL AMOYÁ.                           |
|                   | 15203.       | Sistema de telediagnóstico               |
|                   | 15204.       | Red telefónica y fibra óptica.           |
|                   | 15205.       | Red eléctrica 13.2kv pando-vc-captación. |
|                   | 15206.       | Sistema de supervisión y control total.  |
|                   | 1-AMOY-AC01. | Estación monitoreo vibraciones.          |
|                   | 1-AMOY-BM01. | Bases militares.                         |
|                   | 1-AMOY-CM01. | Control de accesos.                      |
|                   | 1-AMOY-CM01  | Casa de máquinas.                        |
|                   | 1-AMOY-CP01. | Captación.                               |
|                   | 1-AMOY-CT01. | Campamento.                              |
|                   | 1-AMOY-EH01. | Estaciones hidrometeorológicas.          |
|                   | 1-AMOY-EO01. | Edificios y obras civiles.               |
|                   | 1-AMOY-PT01. | Plantas de tratamiento.                  |
|                   | 1-AMOY-PV01. | Puentes vehiculares.                     |
|                   | 1-AMOY-RS01. | Relleno sanitario.                       |
|                   | 1-AMOY-ST01. | Subestación tulumí.                      |
|                   | 1-AMOY-TC01. | Túnel de conducción.                     |
|                   | 1-AMOY-TD01. | Túnel de descarga.                       |
|                   | 1-AMOY-VI01. | Vías internas                            |

Fuente. Tomada del módulo SAP

Para efectos de nuestro estudio nos enfocaremos en los equipos clase 1 asociados a la casa máquinas y la captación debido a que son los equipos principales del proceso de generación de la central Amoyá.

Tabla 3-2 Equipos Casa maquinas

| Ubicación Técnica | Equipo | Descripción                     |
|-------------------|--------|---------------------------------|
| 1-AMOY-CM01       |        | Casa de máquinas.               |
|                   | 15284. | Unidad 1.                       |
|                   | 15285. | Turbina                         |
|                   | 15288. | Válvula esférica.               |
|                   | 15290. | Regulador de velocidad.         |
|                   | 15308. | Sistema Generador.              |
|                   | 15338. | Sistema de excitación.          |
|                   | 15344. | Interruptor de unidad.          |
|                   | 15347. | Sistema de enfriamiento unidad. |
|                   | 15358. | Unidad 2.                       |
|                   | 15359. | Turbina.                        |
|                   | 15362. | Válvula esférica.               |
|                   | 15364. | Regulador de velocidad.         |
|                   | 15382. | Sistema Generador.              |
|                   | 15412. | Sistema de excitación.          |
|                   | 15418. | Interruptor de unidad.          |
|                   | 15421. | Sistema de enfriamiento unidad. |

Fuente. Tomada del módulo SAP



Tabla 3-3 Equipos Captación

| Ubicación Técnica     | Equipo | Descripción               |
|-----------------------|--------|---------------------------|
| 1-AMOY-CP01           |        | Captación.                |
| 1-AMOY-CP01-CA01      |        | Canal de aducción.        |
| 1-AMOY-CP01-CD01      |        | Caseta de control.        |
|                       | 15274. | Servicios auxiliares A.C. |
|                       | 15278. | Planta diésel Captación.  |
| 1-AMOY-CP01-DS01      |        | Desarenador.              |
| 1-AMOY-CP01-DS01-MD01 |        | Módulo 1 desarenador.     |
|                       | 15234. | Compuertas.               |
|                       | 15235. | Compuerta de entrada.     |
|                       | 15236. | Compuerta de descarga 1.  |
|                       | 15243. | Compuerta de descarga 2.  |
| 1-AMOY-CP01-DS01-MD02 |        | Módulo 2 desarenador.     |
|                       | 15247. | Compuertas.               |
|                       | 15248. | Compuerta de entrada.     |
|                       | 15249. | Compuerta de descarga 1.  |
|                       | 15250. | Compuerta de descarga 2.  |
| 1-AMOY-CP01-DS01-MD03 |        | Módulo 3 desarenador.     |
|                       | 15260. | Compuertas.               |
|                       | 15261. | Compuerta de entrada.     |
|                       | 15262. | Compuerta de descarga 1.  |
|                       | 15263. | Compuerta de descarga 2.  |
| 1-AMOY-CP01-PV01      |        | Presa vertedero.          |
| 1-AMOY-CP01-TC01.     |        | Tanque de carga.          |
| 1-AMOY-CP01-TG01.     |        | Tanque desgravador.       |
|                       | 15224. | Compuertas.               |
|                       | 15225. | Compuerta de entrada.     |
|                       | 15229. | Compuerta de descarga.    |

Fuente. Tomada del módulo SAP

Después de haber identificado los equipos clase 1 se identifica el tipo de mantenimiento, que ejecuta el grupo mecánico a cada uno de ellos. Donde se catalogan en IP, intervención parcial, RG, revisión general o MG, mantenimiento general y sus correspondientes guías de mantenimiento.

Tabla 3-4 Guías de Mantenimiento Mecánico Casa Maquinas

| Equipo | Descripción             | Tipo de Mantenimiento     | Periodicidad | Duración |
|--------|-------------------------|---------------------------|--------------|----------|
| 15285. | Turbina.                | I.P Intervención parcial. | 6 meses.     |          |
|        |                         | Guía mantenimiento MM001  |              | 5 horas  |
|        |                         | Guía mantenimiento MM011  |              | 30 horas |
|        |                         | M.G mantenimiento general | 12 meses     |          |
|        |                         | Guía mantenimiento MM022  |              | 70 horas |
| 15288. | Válvula esférica.       | I.P Intervención parcial. | 6 meses      |          |
|        |                         | Guía mantenimiento MM004  |              | 10 horas |
|        |                         | M.G mantenimiento general | 12 meses     |          |
|        |                         | Guía mantenimiento MM023  |              | 30 horas |
| 15290. | Regulador de velocidad. | I.P Intervención parcial. | 6 meses      |          |
|        |                         | Guía mantenimiento MM007  |              | 10 horas |
|        |                         | M.G mantenimiento general | 12 meses     |          |
|        |                         | Guía mantenimiento MM021  |              | 40 horas |
| 15308. | Sistema Generador.      | I.P Intervención parcial. | 6 meses      |          |
|        |                         | Guía mantenimiento MM002  |              | 30 horas |
|        |                         | Guía mantenimiento MM008  |              | 10 horas |
|        |                         | Guía mantenimiento MM009  |              | 10 horas |
|        |                         | M.G mantenimiento general | 12 meses     |          |
|        |                         | Guía mantenimiento MM020  |              | 80 horas |
|        |                         | Guía mantenimiento MM019  |              | 50 horas |

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 3-5 Guías de Mantenimiento Mecánico Captación

| Equipo            | Descripción                   | Tipo de Mantenimiento    | Periodicidad | Duración |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------|----------|
| 1-AMOY-CP01-DS01  | Desarenador.                  | R.G Revisión General.    | 3 meses      |          |
|                   |                               | Guía mantenimiento MM016 |              | 5 horas. |
| 1-AMOY-CP01-DS01- | Compuerta Desarenador Módulos | R.G Revisión General.    | 3 meses      |          |
|                   |                               | Guía mantenimiento MM014 |              | 5 horas  |
| 1-AMOY-CP01-TG01. | Tanque desgravador.           | R.G Revisión General.    | 3 meses      |          |
|                   |                               | Guía mantenimiento MM015 |              | 4 horas  |
|                   |                               | Guía mantenimiento MM017 |              | 4 horas  |

Fuente. Elaboración Propia.

### 3.6.1 Casa Maquinas

Casa maquinas es una caverna en donde se encuentran instalados los equipos correspondientes a las unidades generadoras de la central Amoyá, las cuales van a hacer objeto de análisis.

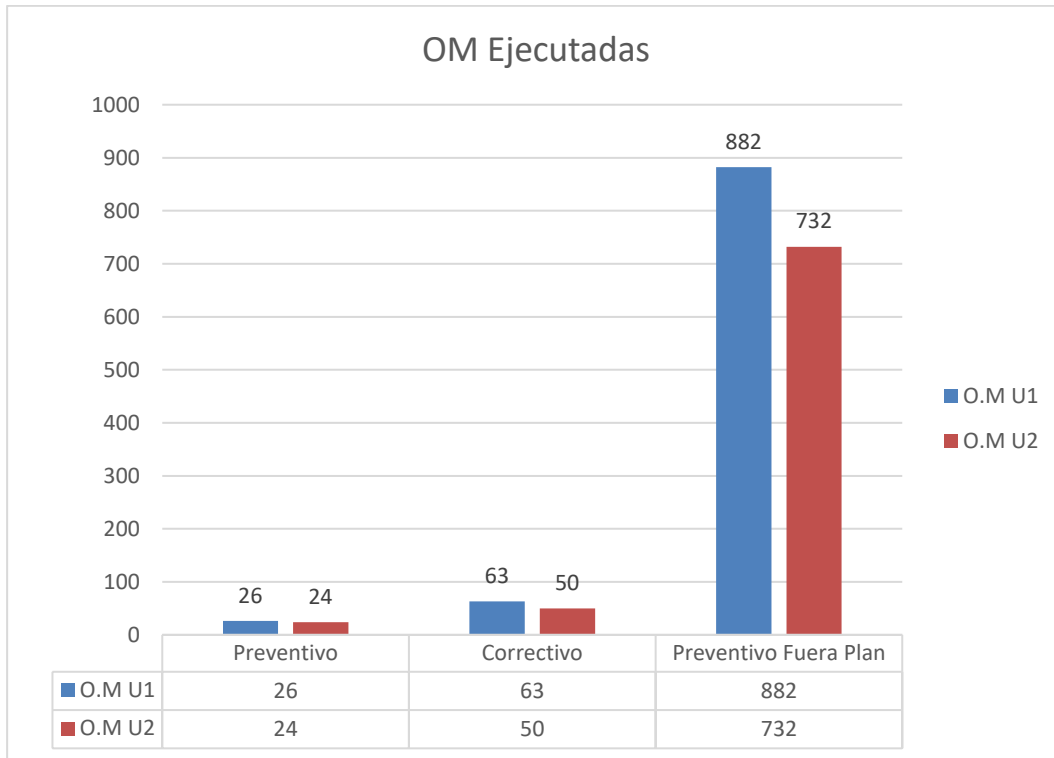
Con la ayuda del módulo para la gestión del mantenimiento SAP se realizó la revisión de las OM ejecutadas durante el periodo de funcionamiento de la central para identificar cual es tipo de mantenimiento más frecuente.

Tabla 3-6 OM Ejecutadas en Casa Maquinas

| Tipo de mantenimiento | OM U1 | % OM U1 | OM U2 | % OM U2 |
|-----------------------|-------|---------|-------|---------|
| Preventivo            | 26    | 100%    | 24    | 100%    |
| Correctivo            | 63    | 242%    | 50    | 208%    |
| Preventivo Fuera Plan | 882   | 3392%   | 732   | 3050%   |

Fuente. Elaboración Propia.

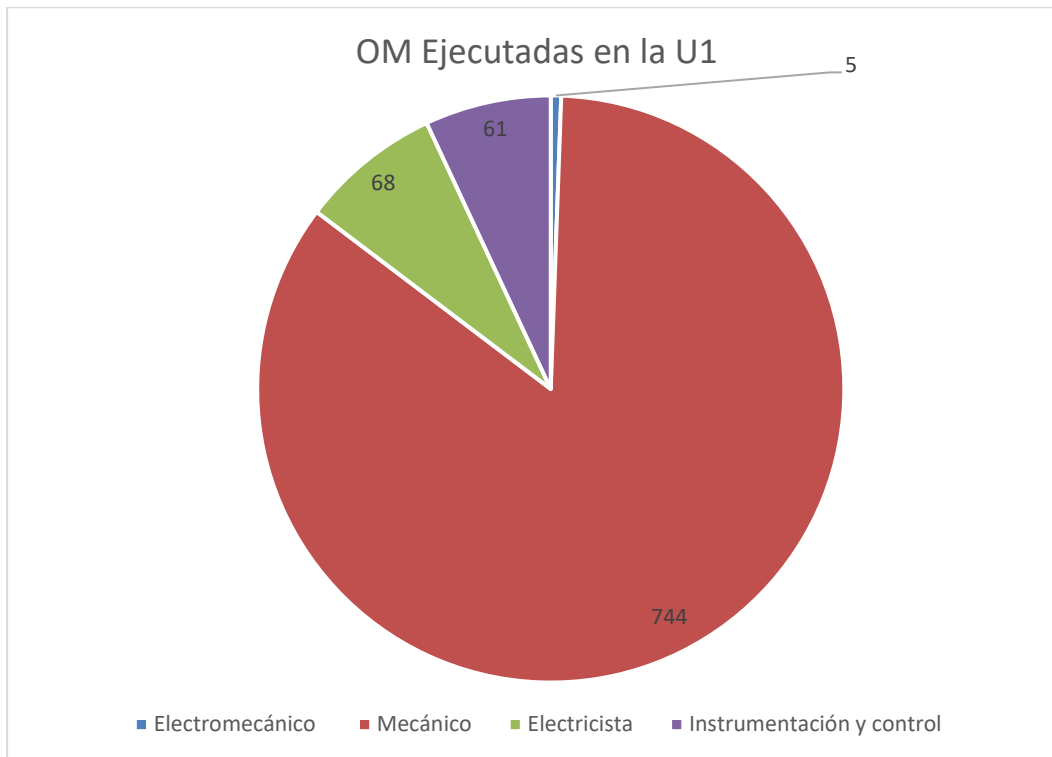
Figura 3-1 OM Ejecutadas en Casa Maquinas.



Fuente. Elaboración Propia.

En la Figura 8 OM ejecutadas en casa maquinas, se observa cómo fue el comportamiento de las OM desde su puesta en servicio en 2013 hasta la fecha, donde el mantenimiento preventivo se cumplió al 100 % en las dos unidades pero llama la atención como el mantenimiento preventivo fuera del plan representa el 3392% y el mantenimiento correctivo el 242% en la unidad 1, en la unidad 2 el mantenimiento preventivo fuera de plan representa el 3050% y el mantenimiento correctivo 208% con respecto al mantenimiento preventivo, como se observa en la tabla 3-6 OM ejecutadas en casa maquinas.

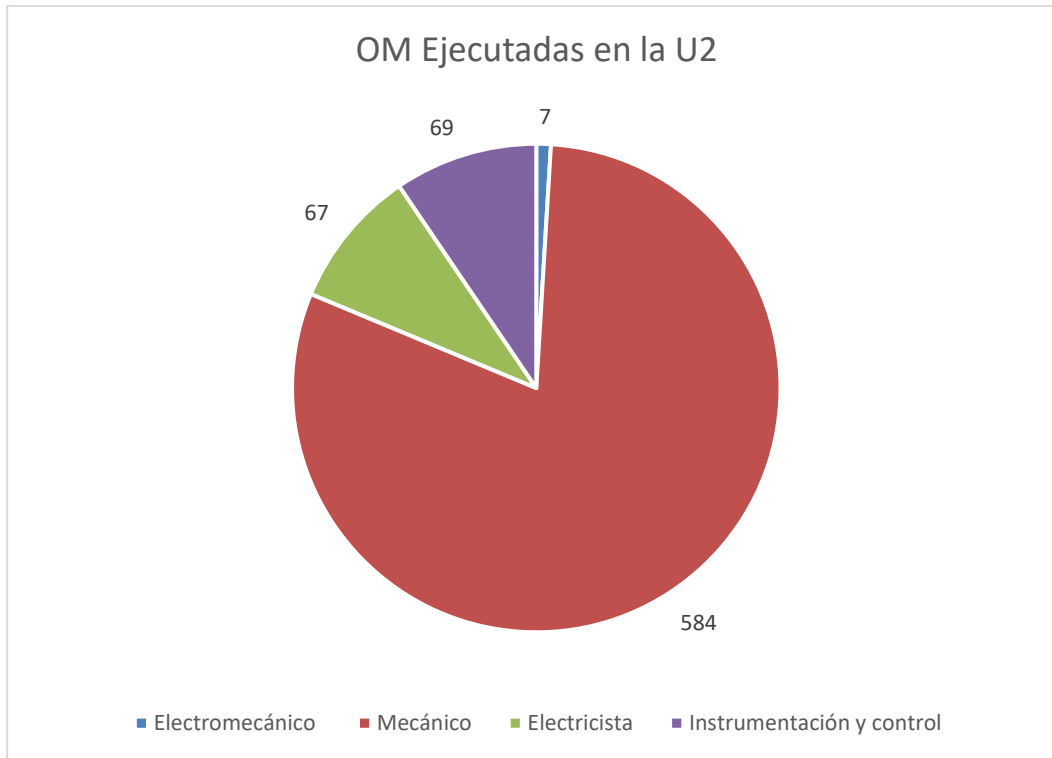
Figura 3-2 OM Ejecutadas en la U1 por Grupo de trabajo



Fuente. Elaboración Propia.

En la figura 9 OM Ejecutadas en la U1 por Grupo de trabajo, el grupo mecánico tiene 744 OM ejecutas de mantenimiento preventivo fuera de plan en la unidad 1 de las 882 OM lo que corresponde al 84.35% y tiene 35 OM ejecutadas de mantenimiento correctivo de las 63 OM lo que corresponde al 55.56%.

Figura 3-3 OM Ejecutadas en la U2 por Grupo de trabajo



Fuente. Elaboración Propia.

En la figura 10 OM Ejecutadas en la U2 por Grupo de trabajo, el grupo mecánico tiene 584 OM ejecutadas de mantenimiento preventivo fuera de plan en la unidad 2 de las 732 OM lo que corresponde al 79.80% y tiene 27 OM ejecutadas de mantenimiento correctivo de las 50 OM lo que corresponde al 54.0%.

Partiendo de los resultados obtenidos se evidencia como el grupo mecánico es quien ejecuta la mayor cantidad de OM preventivo fuera de plan y mantenimiento correctivo, como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 3-7 % OM Ejecutadas por Grupo de trabajo en Casa Maquinas.

| Grupo de trabajo          | % OM Pre Fuera Plan U1 | % OM Correctivas U1 | % OM Pre Fuera Plan U2 | % OM Correctivas U2 |
|---------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| Electromecánico           | 0,57%                  | 0,00%               | 0,96%                  | 2,00%               |
| Mecánico                  | 84,35%                 | 55,56%              | 79,78%                 | 54,00%              |
| Electricista              | 7,71%                  | 12,70%              | 9,15%                  | 12,00%              |
| Instrumentación y control | 6,92%                  | 30,16%              | 9,43%                  | 30,00%              |

Fuente. Elaboración Propia.

Con la información obtenida en la tabla 3-7 % OM Ejecutadas por Grupo de trabajo en Casa Maquinas, se analizaron las OM ejecutadas por el grupo mecánico con el fin de determinar cuáles son los equipos de las unidades de generación con mayor número de intervenciones y mayores costos asociados.

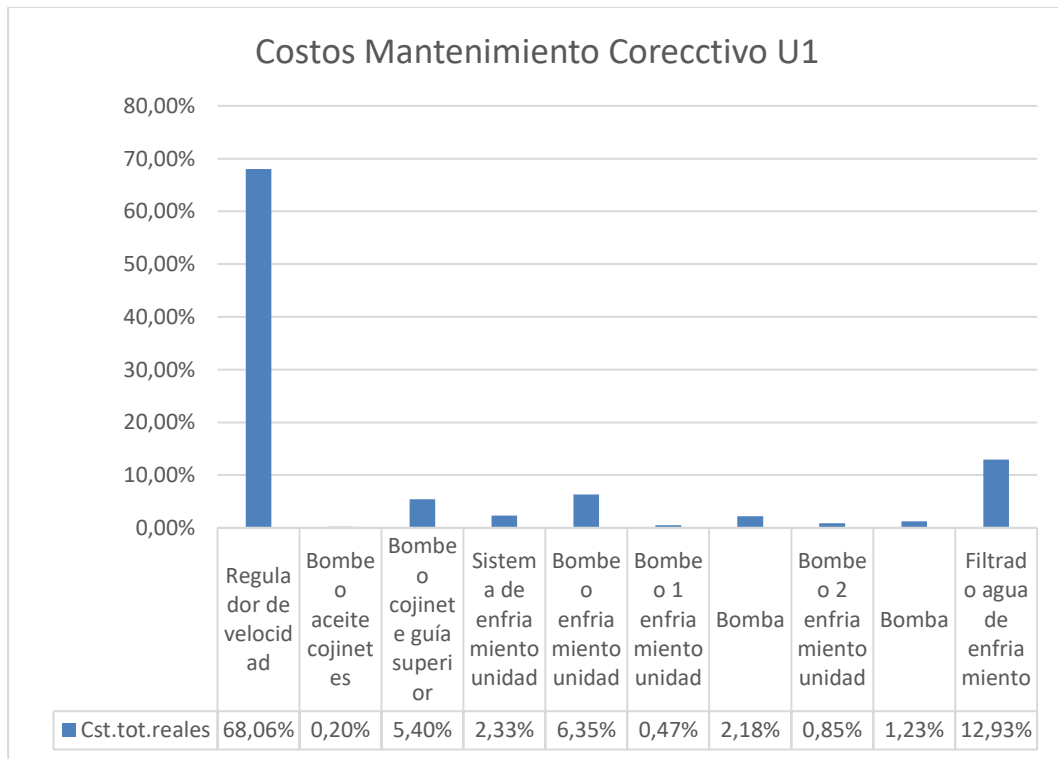
Tabla 3-8 OM Mecánicas Ejecutadas en la Unidad 1 por Equipo

| Equipo | Descripción                                | Correctivo | Preventivo Fuera Plan |
|--------|--|------------|-----------------------|
|        |  | OM         | OM                    |
| 15284  | UNIDAD 1                                   | 0          | 10                    |
| 15285  | Turbina                                    | 0          | 25                    |
| 15287  | Instrumentación turbina                    | 0          | 0                     |
| 16728  | Rodete                                     | 0          | 1                     |
| 15288  | Válvula esférica                           | 0          | 6                     |
| 15289  | Instrumentación válvula esférica           | 0          | 0                     |
| 15290  | Regulador de velocidad                     | 1          | 20                    |
| 15291  | Central oleodinámica                       | 0          | 7                     |
| 15292  | Bombeo regulador de velocidad              | 0          | 7                     |
| 15297  | Motor                                      | 0          | 1                     |
| 15299  | Bombeo recirculación regul. de velocidad   | 0          | 32                    |
| 15302  | Bombeo infiltr. aceite regul. de velocidad | 0          | 2                     |
| 15308  | Sistema Generador                          | 0          | 1                     |
| 15309  | Generador                                  | 0          | 1                     |
| 15311  | Bombeo aceite cojinetes                    | 1          | 4                     |
| 15313  | Bombeo 1 alta presión                      | 0          | 1                     |
| 15320  | Bombeo cojinete guía superior              | 3          | 54                    |
| 15321  | Bombeo 1 cojinete guía superior            | 0          | 3                     |
| 15328  | Bombeo cojinete guía inferior              | 0          | 53                    |
| 15329  | Bombeo 1 cojinete guía inferior            | 0          | 3                     |
| 15330  | Bombeo 2 cojinete guía inferior            | 0          | 2                     |
| 15347  | Sistema de enfriamiento unidad             | 6          | 43                    |
| 15348  | Bombeo enfriamiento unidad                 | 6          | 60                    |
| 15349  | Bombeo 1 enfriamiento unidad               | 1          | 5                     |
| 15352  | Motor                                      | 0          | 2                     |
| 15353  | Bomba                                      | 2          | 6                     |
| 15350  | Bombeo 2 enfriamiento unidad               | 1          | 6                     |
| 15354  | Motor                                      | 0          | 1                     |
| 15355  | Bomba                                      | 1          | 4                     |
| 15351  | Control local                              | 0          | 0                     |
| 15356  | Filtrado agua de enfriamiento              | 13         | 382                   |
| 15357  | Instrumentación sistema de enfriamiento    | 0          | 2                     |

Fuente. Elaboración Propia.

En la tabla 3-8 OM Mecánicas Ejecutadas en la Unidad 1 por Equipo, se evidencia como el sistema de enfriamiento presenta 13 OM correctivas de las 63 y 382 OM preventivas fuera de plan de las 882, esto se debe a que la central cuenta con un sistema de enfriamiento abierto donde la calidad del agua varía constantemente presentando saturación en los filtros, de manera preventiva se realiza la limpieza de los filtros, pero en ocasiones se reduce tanto flujo, que las temperaturas en los segmentos de los cojinetes aumentan y por precaución se deben parar las unidades de generación.

Figura 3-4 Representación de los Costos Mantenimiento Correctivo U1



Fuente. Elaboración Propia.

En la figura 11 Representación de los Costos Mantenimiento Correctivo U1, se observa como el regulador de velocidad representa el 68.06% de los costos, en una sola falla, este costo se debe al cambio de una de las válvulas proporcionales del sistema hidráulico, en el sistema de enfriamiento a pesar de tener un mayor número de intervenciones los costos representan el 12,93% lo cual es un porcentaje bajo, porque solo está asociado el costo por mano de obra propia y subcontratada.



Figura 3-5 Representación de los Costos Mantenimiento Preventivo Fuera plan U1



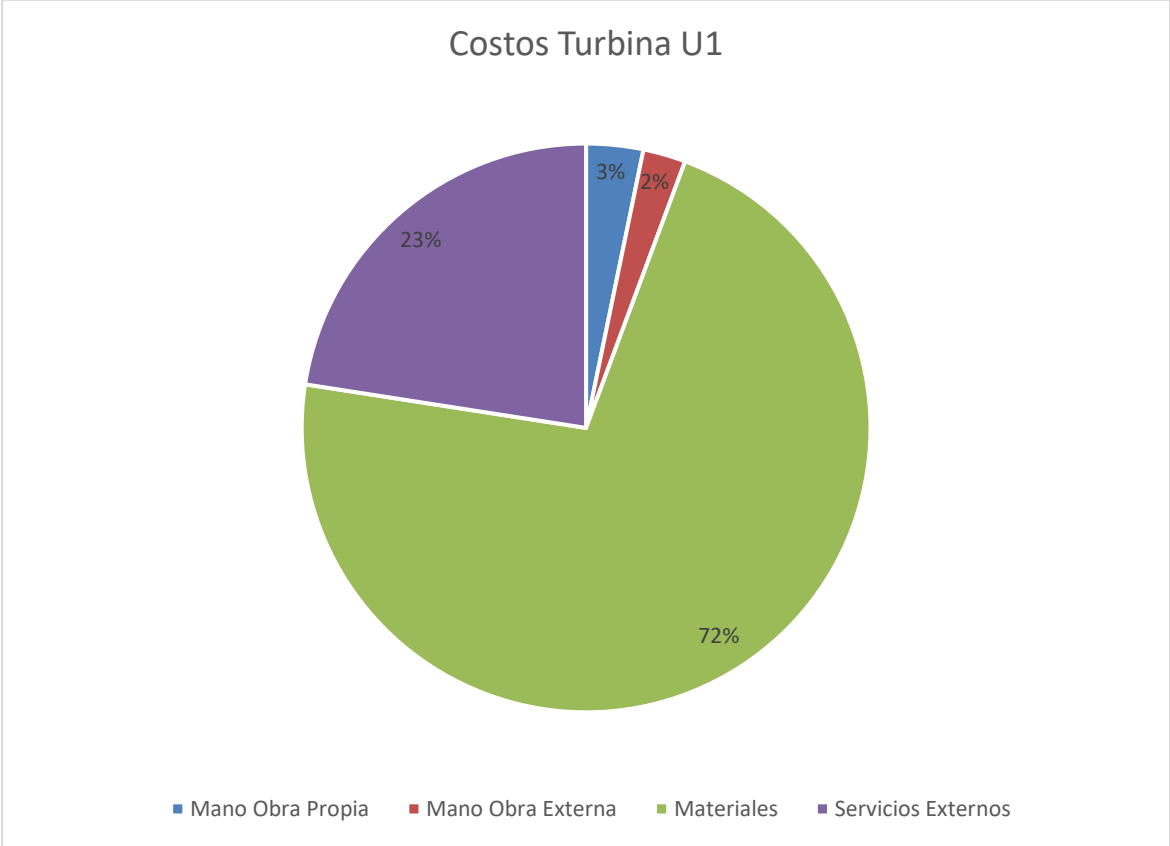
Fuente. Elaboración Propia.

En la figura 12 Representación de los Costos Mantenimiento Preventivo Fuera plan U1, encontramos que:

El sistema de filtrado tiene 382 OM que corresponde al 51.34% de las OM creadas, esto se debe a que la central cuenta con un sistema de enfriamiento abierto que hace que la calidad del agua varíe constantemente presentando saturación en los filtros y requieran ser limpiados, con respecto a los costos representa el 8.44% lo cual es un porcentaje muy bajo debido a que las intervenciones realizadas solo tiene incluido mano de obra propia y mano de obra subcontratada.

El sistema de la turbina tiene 25 OM que corresponden al 3.36% de las OM creadas lo que es un porcentaje muy bajo dando a entender que la probabilidad de falla de este equipo es muy baja, pero en los costos representa 69.15% lo cual es un porcentaje muy alto, porque los materiales que se requieren para hacer las intervenciones en los inyectores tienen un valor económico alto y representa el 72% de los costos y un 23% en servicios externos, done se realiza la reparación del inyector por empresas externas, esto se ve representado en la figura13 Costos Mantenimiento Preventivo Fuera Plan Turbina U1.

Figura 3-6 Costos Mantenimiento Preventivo Fuera Plan Turbina U1



Fuente. Elaboración Propia.

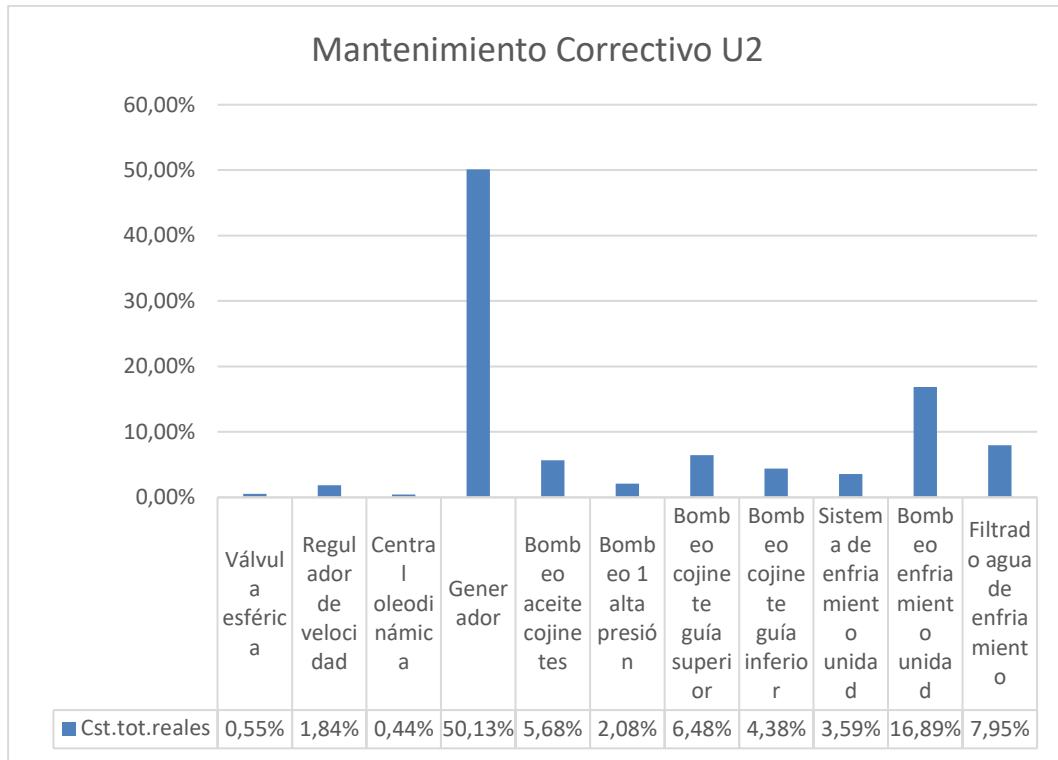
Tabla 3-9 OM Mecánicas Ejecutadas en la Unidad 2 por Equipo

| Equipo | Descripción                              | Correctivo | Preventivo<br>Fuera Plan |
|--------|--|------------|--------------------------|
|        |  | OM         | OM                       |
| 15358  | UNIDAD 2                                 | 0          | 17                       |
| 15359  | Turbina                                  | 0          | 19                       |
| 15361  | Instrumentación turbina                  | 0          | 0                        |
| 16727  | Rodete                                   | 0          | 4                        |
| 15362  | Válvula esférica                         | 1          | 4                        |
| 15363  | Instrumentación válvula esférica         | 0          | 2                        |
| 15364  | Regulador de velocidad                   | 2          | 18                       |
| 15365  | Central oleodinámica                     | 1          | 5                        |
| 15368  | Bombeo regulador de velocidad            | 0          | 2                        |
| 15376  | Motor                                    | 0          | 1                        |
| 15371  | Bombeo recirculación regul. de velocidad | 0          | 26                       |
| 15381  | Bomba                                    | 0          | 2                        |
| 15382  | Sistema Generador                        | 0          | 3                        |
| 15383  | Generador                                | 2          | 3                        |
| 15385  | Bombeo aceite cojinetes                  | 1          | 4                        |
| 15388  | Bombeo alta presión                      | 0          | 1                        |
| 15391  | Bombeo 1 alta presión                    | 1          | 2                        |
| 15401  | Bomba                                    | 0          | 1                        |
| 15389  | Bombeo cojinete guía superior            | 2          | 24                       |
| 15406  | Motor                                    | 0          | 1                        |
| 15390  | Bombeo cojinete guía inferior            | 2          | 54                       |
| 15397  | Bombeo 1 cojinete guía inferior          | 0          | 2                        |
| 15398  | Bombeo 2 cojinete guía inferior          | 0          | 2                        |
| 15421  | Sistema de enfriamiento unidad           | 3          | 24                       |
| 15422  | Bombeo enfriamiento unidad               | 6          | 36                       |
| 15425  | Bombeo 1 enfriamiento unidad             | 0          | 4                        |
| 15429  | Bomba                                    | 0          | 4                        |
| 15426  | Bombeo 2 enfriamiento unidad             | 0          | 3                        |
| 15430  | Motor                                    | 0          | 1                        |
| 15431  | Bomba                                    | 0          | 6                        |
| 15423  | Filtrado agua de enfriamiento            | 6          | 308                      |
| 15424  | Instrumentación sistema de enfriamiento  | 0          | 1                        |

Fuente. Elaboración Propia.

En la tabla 3-9 OM Mecánicas Ejecutadas en la Unidad 2 por Equipo, se evidencia como el sistema de enfriamiento presenta el mismo comportamiento de la unidad.

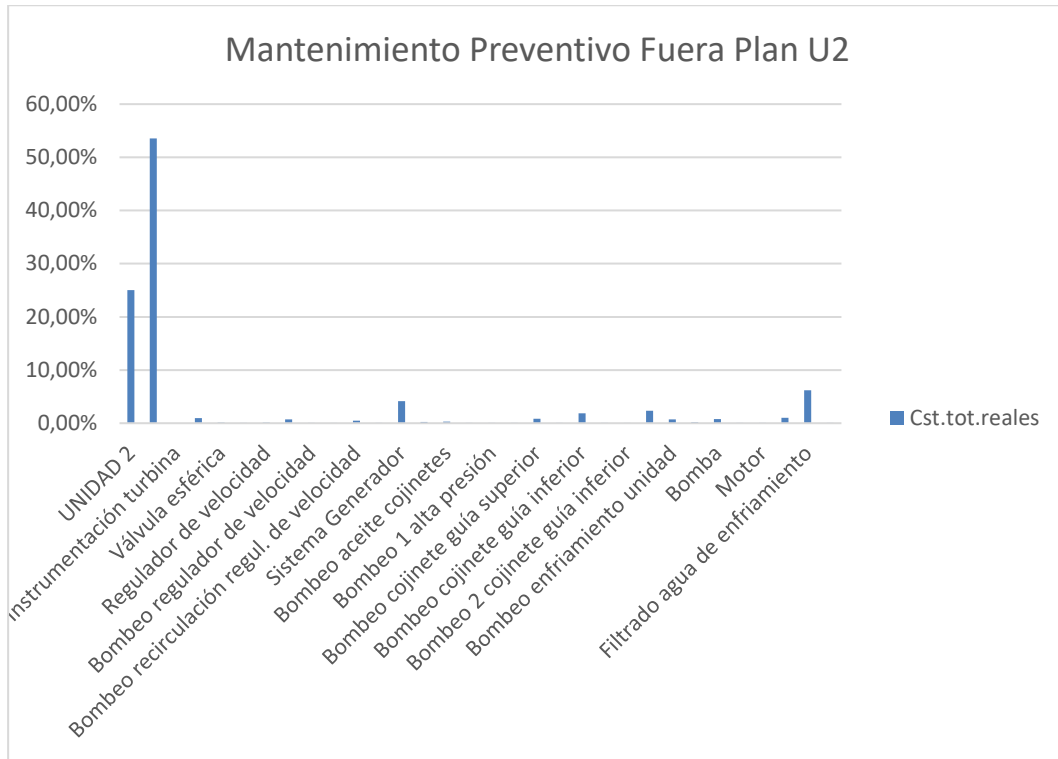
Figura 3-7 Representación de los Costos Mantenimiento Correctivo U2



Fuente. Elaboración Propia.

En la figura 14 Representación de los Costos Mantenimiento Correctivo U2, se observa como el generador representa el 50.13% de los costos, en dos fallas, en el sistema de enfriamiento a pesar de tener un mayor número de intervenciones los costos representan el 16,93% lo cual es un porcentaje bajo, porque solo está asociado el costo por mano de obra propia y subcontratada.

Figura 3-8 Representación de los Costos Mantenimiento Preventivo Fuera plan U2



Fuente. Elaboración Propia.

En la figura 15 Representación de los Costos Mantenimiento Preventivo Fuera plan U2, encontramos que:

El sistema de filtrado tiene 308 OM que corresponde al 52.74% de las OM ejecutadas, con respecto a los costos representa el 6.17%.

El sistema de la turbina tiene 19 OM que corresponden al 3.25% de las OM creadas lo que es un porcentaje muy bajo, pero en los costos representa 53.58%.

En las 2 unidades de generación se logra evidenciar un compartimiento similar donde el sistema de enfriamiento presenta la mayor cantidad de OM ejecutadas y el sistema de turbina presenta en número de OM menor, pero con unos costos demasiados altos.

### 3.6.2 Captación.

La captación es una parte fundamental de la central Amoyá debido a que es el lugar donde se inicia todo el proceso de generación, se encuentran instalados los equipos electromecánicos relacionados a las compuertas para poder tener el control del caudal del río Amoyá y direccionarlo hacia la casa máquinas, se realizara el análisis del

comportamiento de los equipos desde el punto de vista de las intervenciones y los costos asociados al mantenimiento.

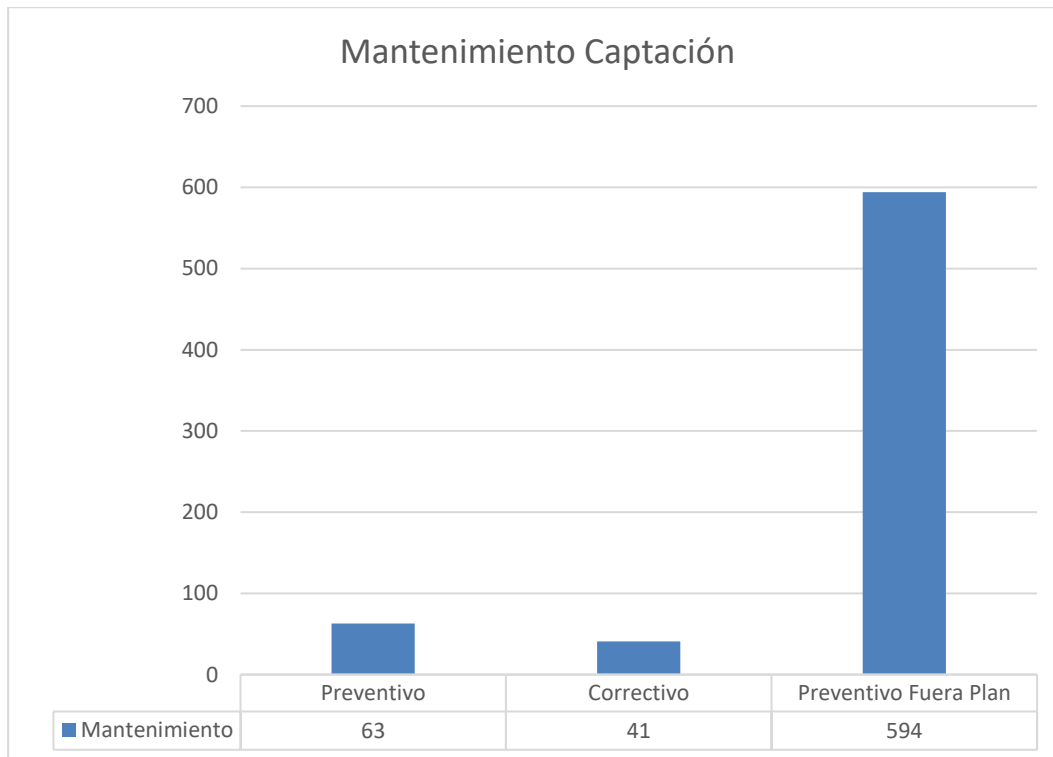
Con la ayuda del módulo para la gestión del mantenimiento SAP se realizó la revisión de las OM ejecutadas durante el periodo de funcionamiento de la central para identificar cual es tipo de mantenimiento más frecuente.

Tabla 3-10 OM Ejecutadas en Captación

| Tipo Mantenimiento    | OM  | % OM  |
|-----------------------|-----|-------|
| Preventivo            | 63  | 100%  |
| Correctivo            | 41  | 65%   |
| Preventivo Fuera Plan | 594 | 1449% |

Fuente. Elaboración Propia.

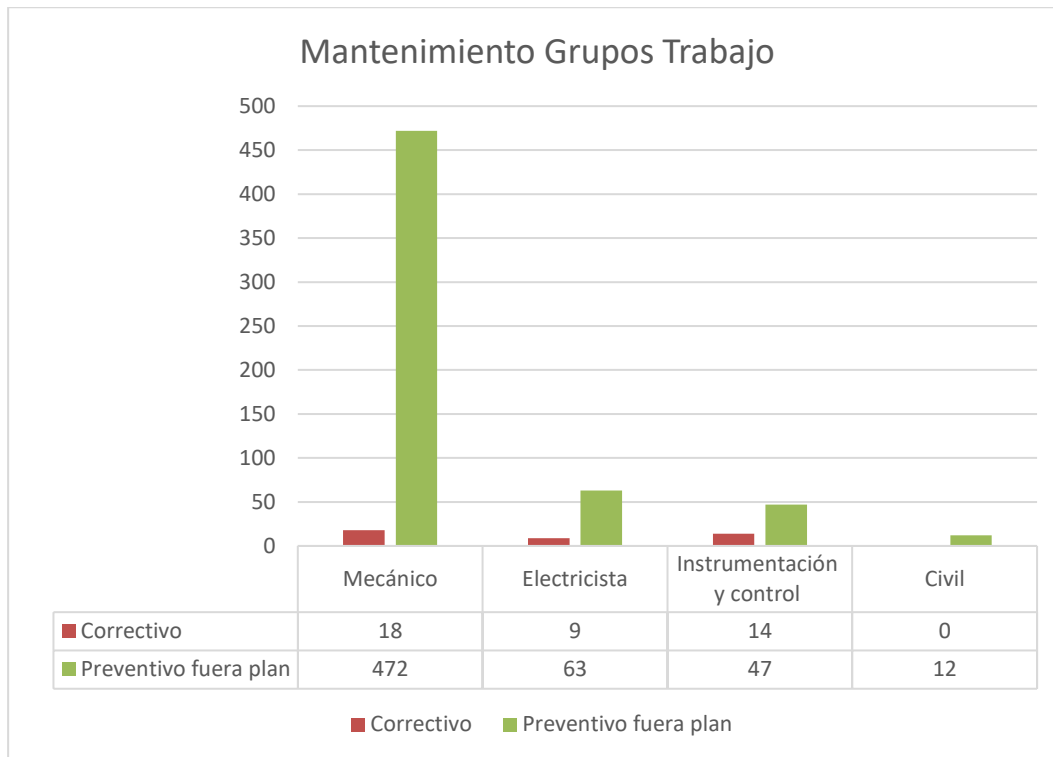
Figura 3-9 OM Ejecutadas en Captación



Fuente. Elaboración Propia.

En la figura 16 OM Ejecutadas en Captación, se evidencia un comportamiento de similar casa maquinas donde el mantenimiento preventivo fuera de plan supera en OM ejecutadas al mantenimiento preventivo, la única diferencia es que el correctivo es un poco menor.

Figura 3-10 OM Ejecutadas en Captación por Grupo de trabajo



Fuente. Elaboración Propia.

En la figura 17 OM Ejecutadas en Captación por Grupo de trabajo se puede ver como el grupo mecánico tiene ejecutadas 472 OM de mantenimiento preventivo fuera de plan de las 594 OM lo que corresponde al 79.46% y tiene 18 OM de mantenimiento correctivo de las 50 OM lo que corresponde al 43.90%.

Partiendo de los resultados obtenidos se puede evidenciar como el grupo mecánico es quien ejecuta la mayor cantidad de OM mantenimiento preventivo fuera de plan y mantenimiento correctivo.

Con la información obtenida figura 17 OM Ejecutadas en Captación por Grupo de trabajo, se analizarán las OM ejecutadas por el grupo mecánico con el fin de determinar cuáles son los equipos de captación con mayor número de intervenciones y mayores costos asociados.

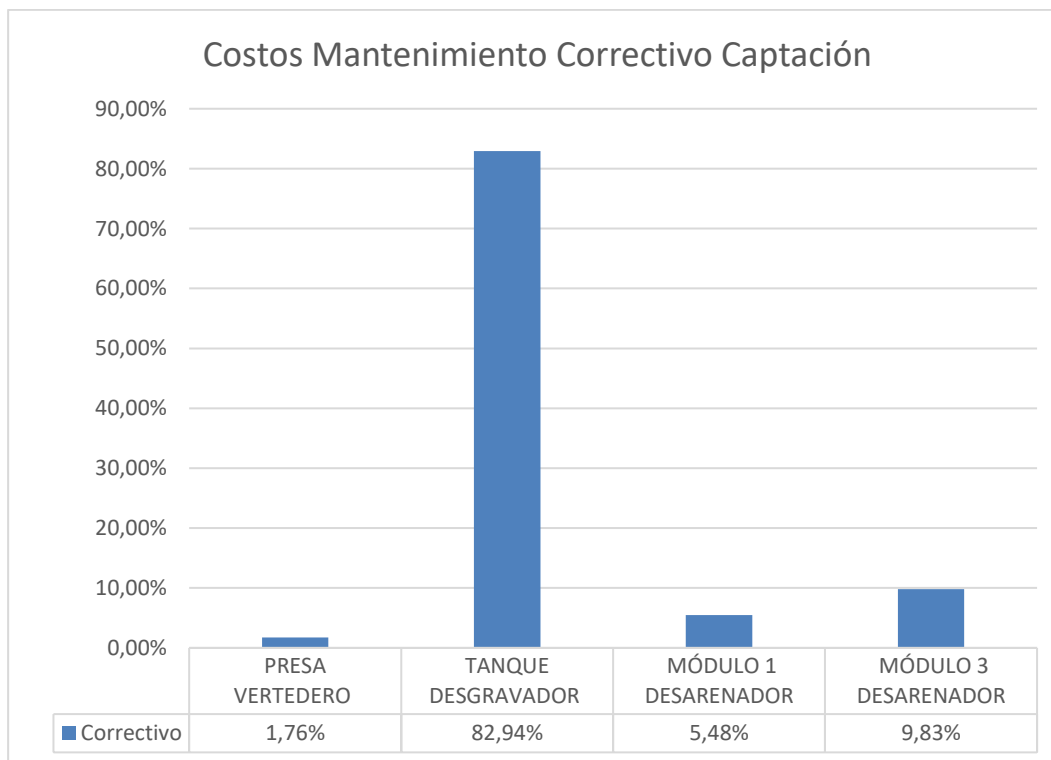
Tabla 3-11 OM Mecánicas Ejecutadas en Captación.

| Descripción          | Correctivo | Preventivo Plan |
|----------------------|------------|-----------------|
|                      | OM         | OM              |
| PRESA VERTEDERO      | 3          | 87              |
| TANQUE DESGRAVADOR   | 5          | 40              |
| CANAL DE ADUCCIÓN    | 0          | 14              |
| CASETA DE CONTROL    | 0          | 11              |
| DESARENADOR          | 0          | 20              |
| MÓDULO 1 DESARENADOR | 5          | 142             |
| MÓDULO 2 DESARENADOR | 0          | 66              |
| MÓDULO 3 DESARENADOR | 5          | 69              |
| CAPTACIÓN            | 0          | 23              |

Fuente. Elaboración Propia.

En la tabla 3-11 OM Mecánicas Ejecutadas en Captación, se evidencia como el tanque desgravador, los módulos desarenadores 1 y 3 presentan la mayor cantidad de OM correctivas y esto se debe a las fallas presentadas en su mecanismo de elevación.

Figura 3-11 Costos Mantenimiento Correctivo Captación



Fuente. Elaboración Propia.



Se observa como el tanque desgravador con 5 OM de mantenimiento correctivo representa el 82.94% de los costos y esto se debe a una reparación y fabricación del tornillo de potencia del mecanismo de elevación de la compuerta.

Figura 3-12 Costos Mantenimiento Preventivo Fuera plan Captación



Fuente. Elaboración Propia.

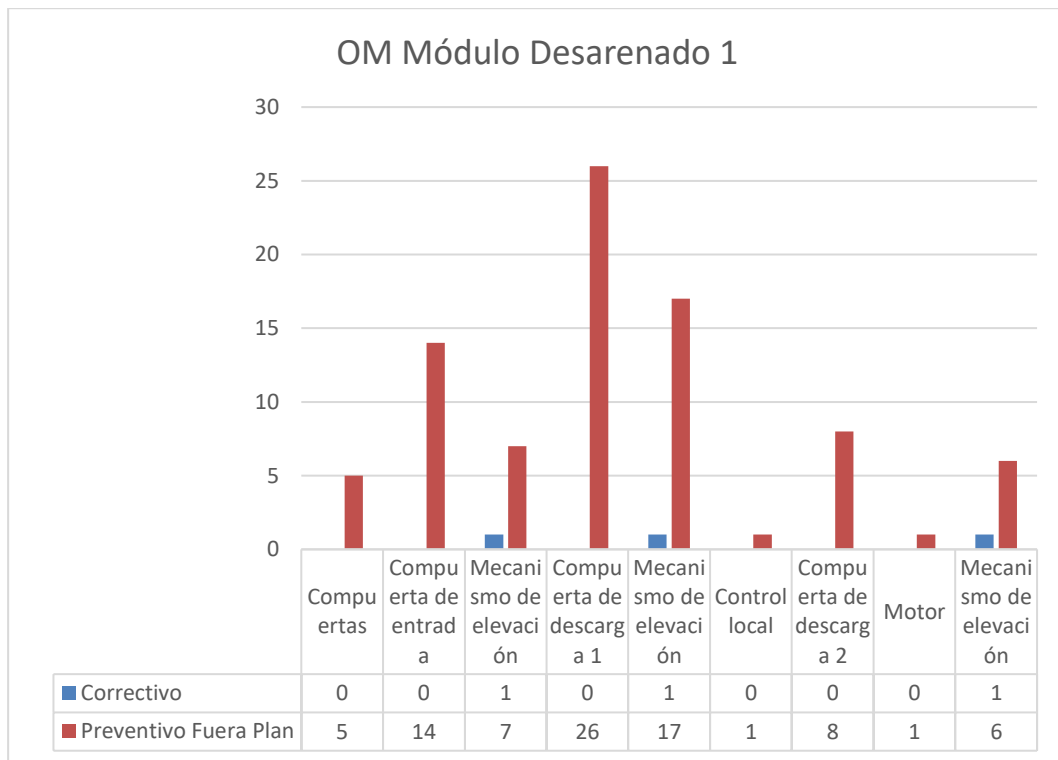
En la figura 19 Costos Mantenimiento Preventivo Fuera plan Captación, encontramos que: El tanque desgravador tiene 40 OM ejecutadas que corresponde al 8.47% de las OM creadas, esto se debe a que por la cantidad de sedimento y rocas que llegan a la compuerta requirieren de constante intervención en su mecanismo de elevación, con un rediseño de la compuerta se logró disminuir el número de intervenciones, con respecto a los costos representa el 38.44% lo cual es un porcentaje alto, pero esto se debe al valor los repuestos.

Las compuertas de entrada a los desarenadores tienen 20 OM ejecutadas que corresponde al 4.24% de las OM creadas, esto se debe a que las compuertas presentan algunas fallas en su sistema de calibración, con respecto a los costos representa el 24.60% lo cual es un porcentaje alto, pero esto se debe al valor los repuestos.

El módulo desarenador 1 tiene 142 OM ejecutadas que corresponde al 30.08% de las OM creadas, esto se debe a que por la cantidad de sedimento y rocas que llegan al módulo

desarenador 1 hace que esta compuerta requiera de constante intervención en su mecanismo de elevación, con respecto a los costos representa el 21.83% lo cual es un porcentaje alto, pero esto se debe al valor los repuestos, mano de obra propia y algunos servicios externos contratos para la reparación de los actuadores.

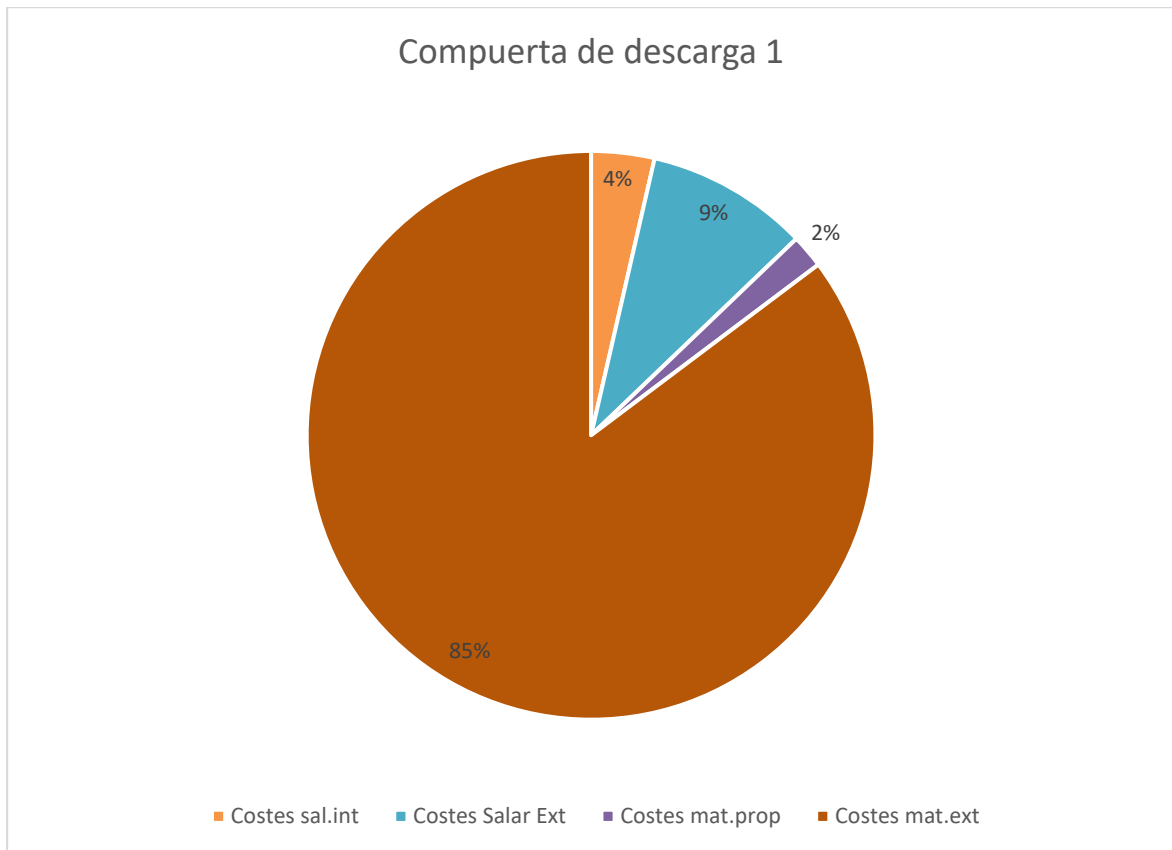
Figura 3-13 OM Ejecutadas Módulo Desarenador 1 Captación



Fuente. Elaboración Propia.

En la figura 20 OM Ejecutadas Módulo Desarenador 1 Captación, se observa que la compuerta de descarga 1 es la que más intervenciones tiene y esto se debe a que su mecanismo de elevación presenta fallas debido a que es la compuerta que más carga de sedimento acumula.

Figura 3-14 Costos Mantenimiento Preventivo Fuera Plan Compuerta de descarga 1



Fuente. Elaboración Propia.

En la figura 21 se observa la distribución de los costos donde los materiales externos representan el 85%, y esto se debe a los servicios de reparación de los actuadores hechos por otras empresas.

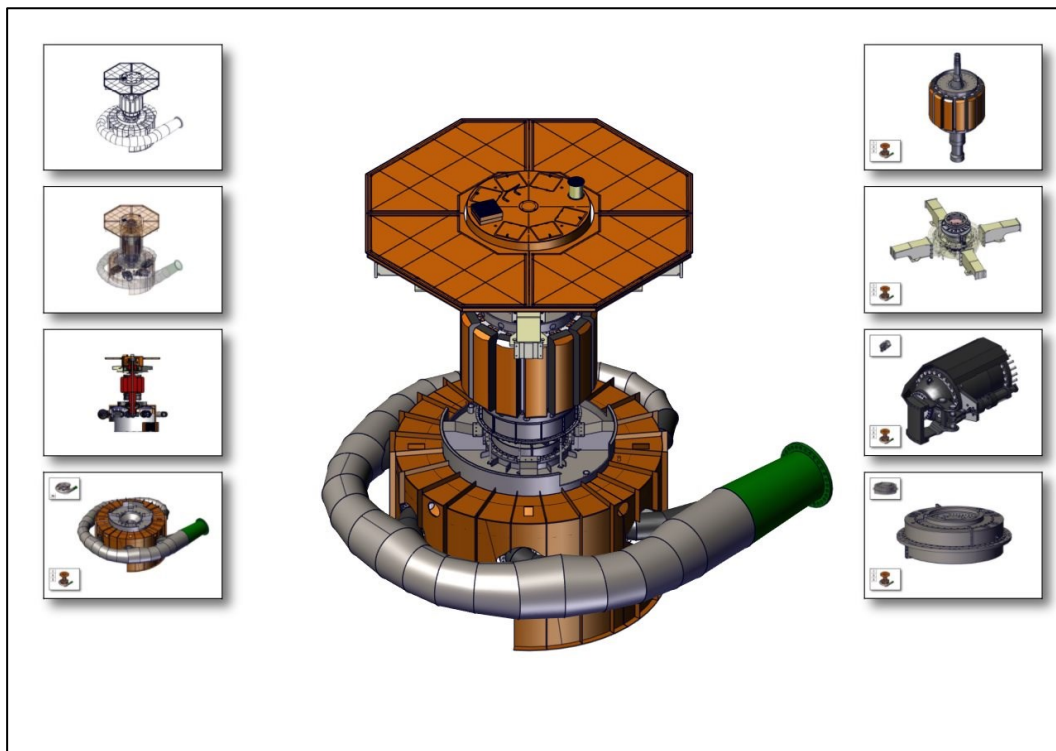


## 4. Guías de mantenimiento Interactivo en 3D.

Con en el análisis realizado del mantenimiento preventivo, mantenimiento preventivo fuera de plan y mantenimiento correctivo de la central Amoyá su pueden determinar cuáles son los equipos que tienen mayor número de intervenciones y mayor costo en su ejecución.

Para poder crear las guías de mantenimiento interactivo en 3D se realizó el modelamiento con SolidWorks de cada uno de los componentes de la unidad generadora para poder tener la visión general de todo el conjunto, posteriormente con SolidWorks composer se procede a realizar toda la documentación técnica pertinente según la necesidad.

Figura 4-1 Central Amoyá en 3D



Fuente. Elaboración Propia.

La figura 22 Central Amoyá en 3D, es tomada desde SolidWorks composer y es una muestra de una interfaz interactiva donde el modelo de la unidad generadora se puede rotar y aumentar o disminuir en las zonas que se requieran, las imágenes laterales son botones que nos permitan visualizar detalles más específicos de la unidad generadora.

## **4.1 Mantenimiento preventivo.**

Las guías de mantenimiento interactivo en 3D aportan al mantenimiento preventivo ayudando a los asistentes de operación y mantenimiento a crear documentación técnica más precisa donde por medio de los archivos 3D se puede dar mejor claridad en las instrucciones y como mecanismo de planificación puede ser muy valioso, porque teniendo una idea más concreta de lo que se quiere realizar se pueden optimizar los recursos y los tiempos de parada de una unidad generadora, porque un día de generación puede tener muchos beneficios económicos, estas guías también aportan a la implementación del mantenimiento basado en condición porque nos permite identificar en cada equipo cuales son esos puntos claves a la cuales se les debe hacer mayor seguimiento para la toma de decisiones.

## **4.2 Mantenimiento preventivo fuera de plan.**

Las guías de mantenimiento interactivo en 3D, aportan al mantenimiento preventivo fuera de plan de dos maneras.

### **4.2.1 Instructivos Mantenimiento.**

Con la creación de los instructivos para aquellas actividades que no tienen una periodicidad establecida, sino que se realizan por condición, como es el caso del sistema de enfriamiento de las unidades de generación que tiene una gran cantidad de intervenciones y aunque la actividad se convierte tan repetitiva que las personas adquieren una gran experiencia en el desarrollo de esta actividad. Se hace necesario tener un instructivo para garantizar que la transferencia del conocimiento sea adecuada para cuando se requiera capacitar a personal nuevo, este podrá tener un contexto muy amplio de lo que se quiere realizar debido a que esta actividad puede tener un impacto alto en la generación sino no se realiza de la manera adecuada.

### **4.2.2 Procedimiento de Mantenimiento**

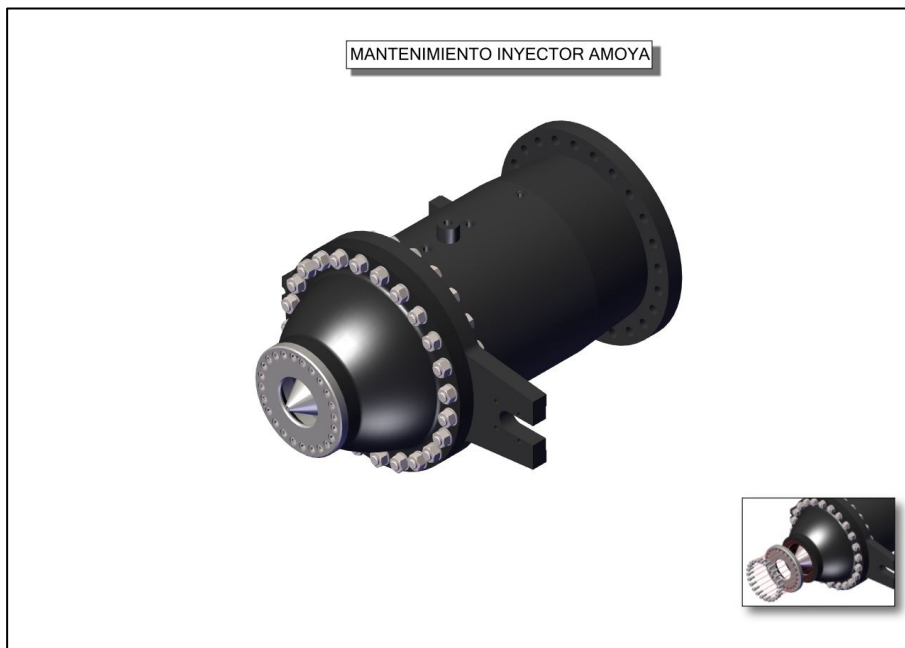
Los procedimientos pueden ser creados para las actividades que representan costos elevados como es el caso de la turbina o de los actuadores de captación, donde el costo de las intervenciones es muy alto, estos procedimientos nos ayudaran a tener el entrenamiento y la planeación necesaria para que el personal propio pueda realizar actividades que anteriormente se hacían por medio de servicios externos.

En el caso de las reparaciones de los inyectores no sería necesario que se hiciera por medio de una empresa externa, debido a que el personal propio de ISAGEN estaría en condiciones de poder hacer esta reparación y el 23% de los costos asociados a este trabajo se podrían reducir, aunque los costos de mano de obra propia y externa aumentarían a un

6% y 4% respectivamente, como se representan en la figura 13, en capítulo anterior pudimos evidenciar que los costos asociados a turbina representaban 69.16% del mantenimiento preventivo fuera de plan.

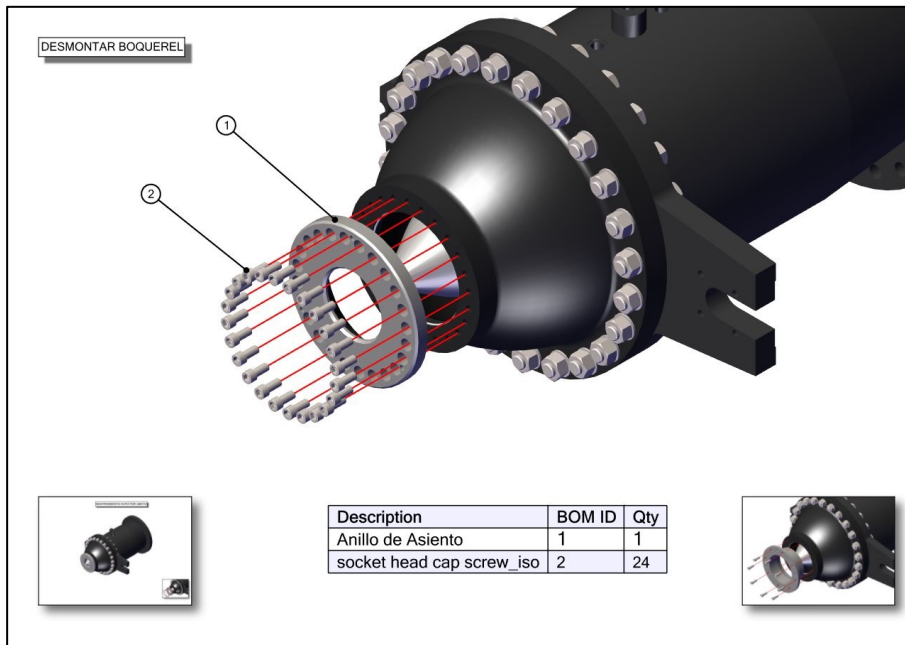
En las siguientes figuras se evidencia el paso a paso de cómo sería la estructura de una guía interactiva para realizar la reparación de un inyector de la central Amoyá.

Figura 4-2 Inicio



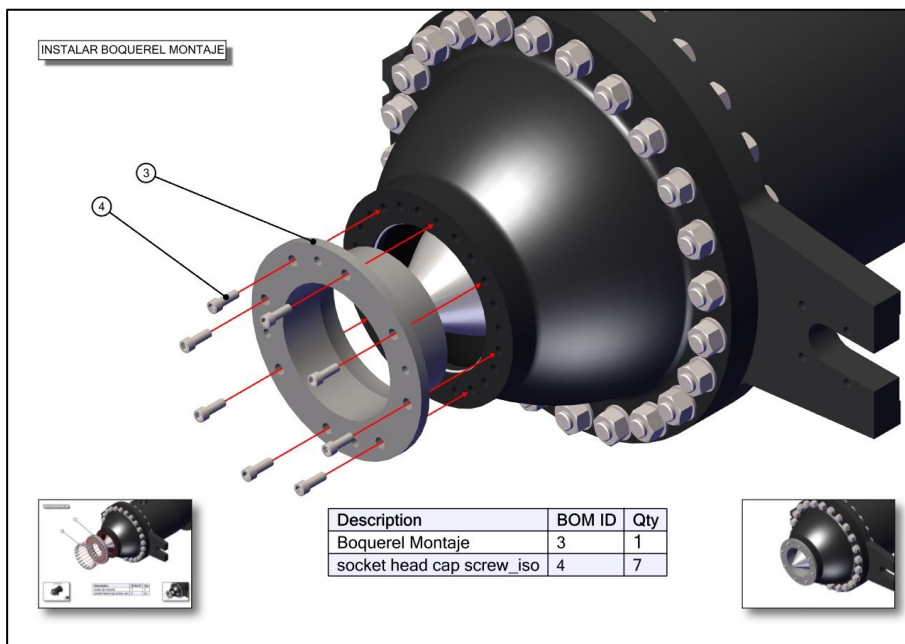
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-3 Desmontar boquerel



Fuente. Elaboración Propia.

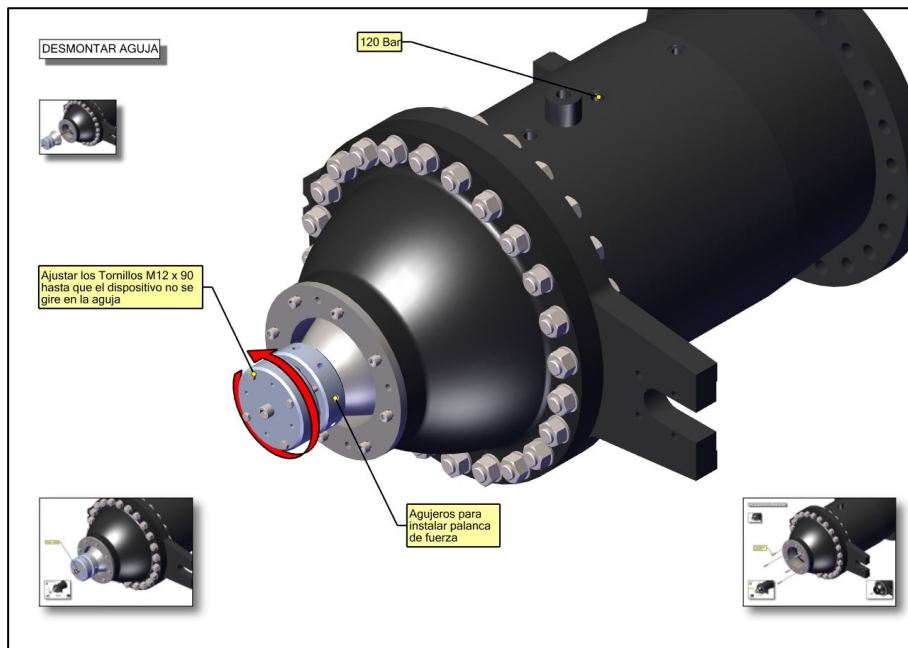
Figura 4-4 instalar boquerel montaje



Fuente. Elaboración Propia.

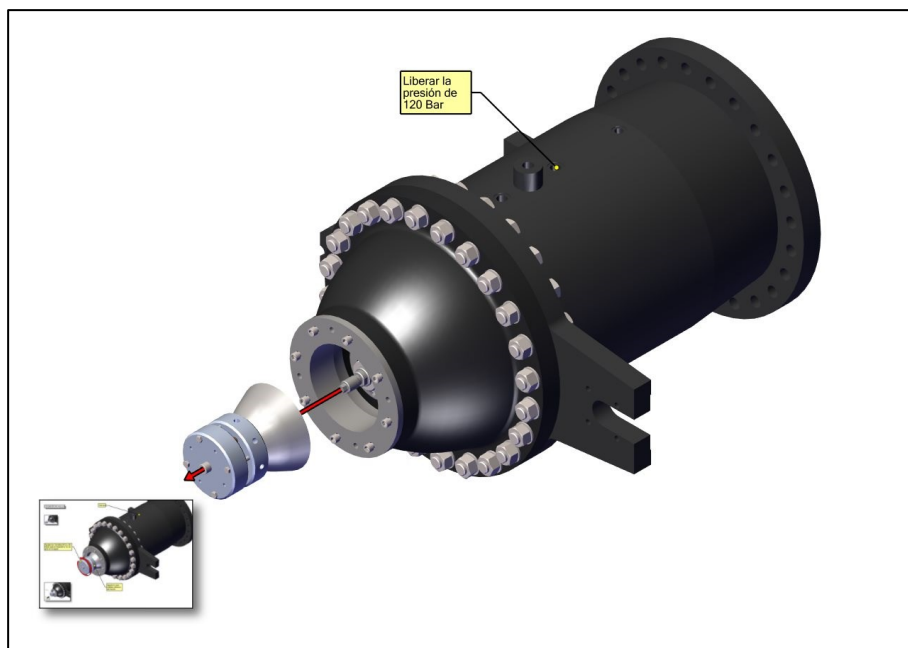


Figura 4-5 Aflojar aguja



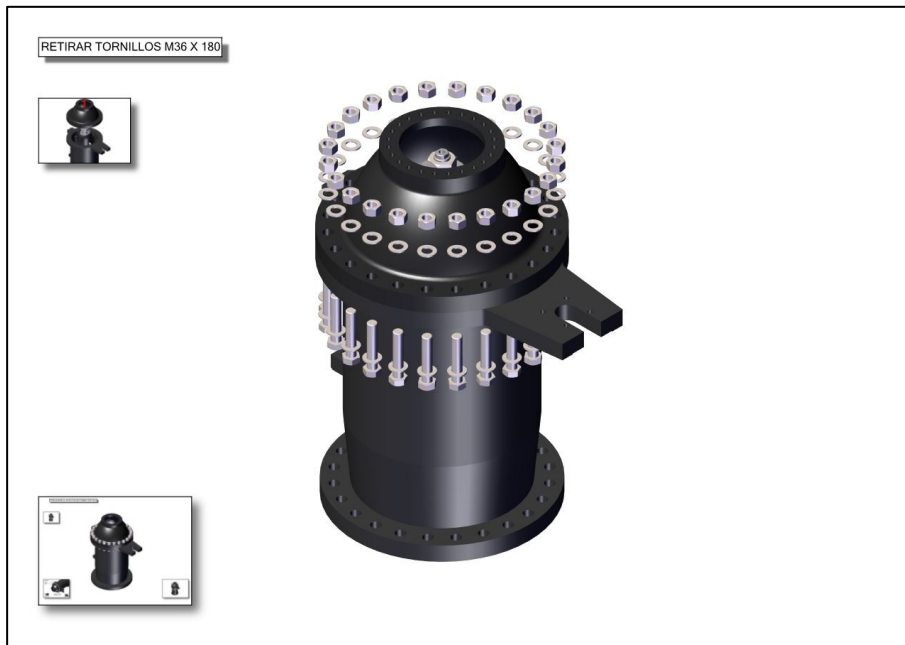
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-6 Desmontar aguja



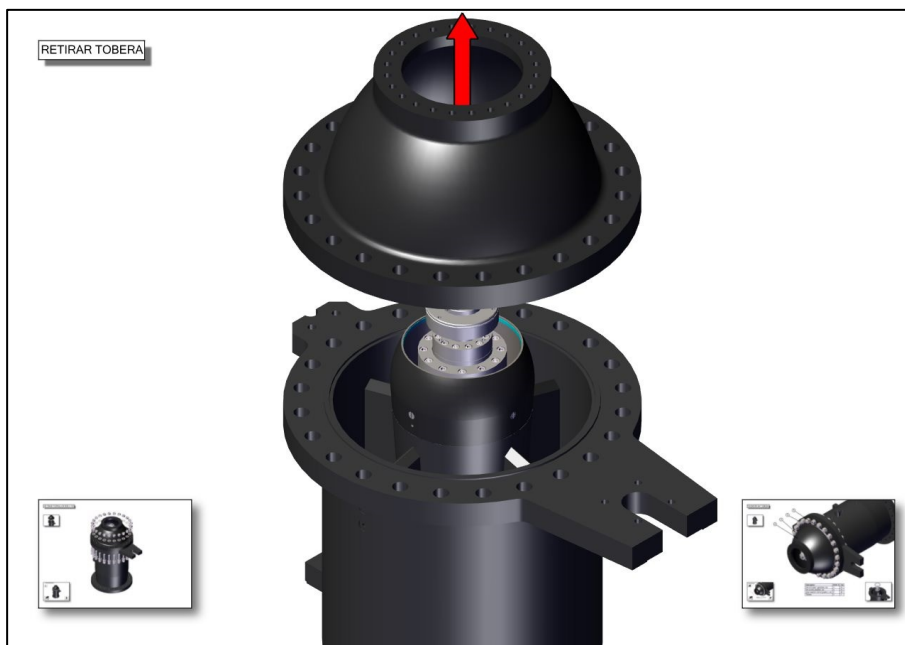
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-7 Desmontar tobera



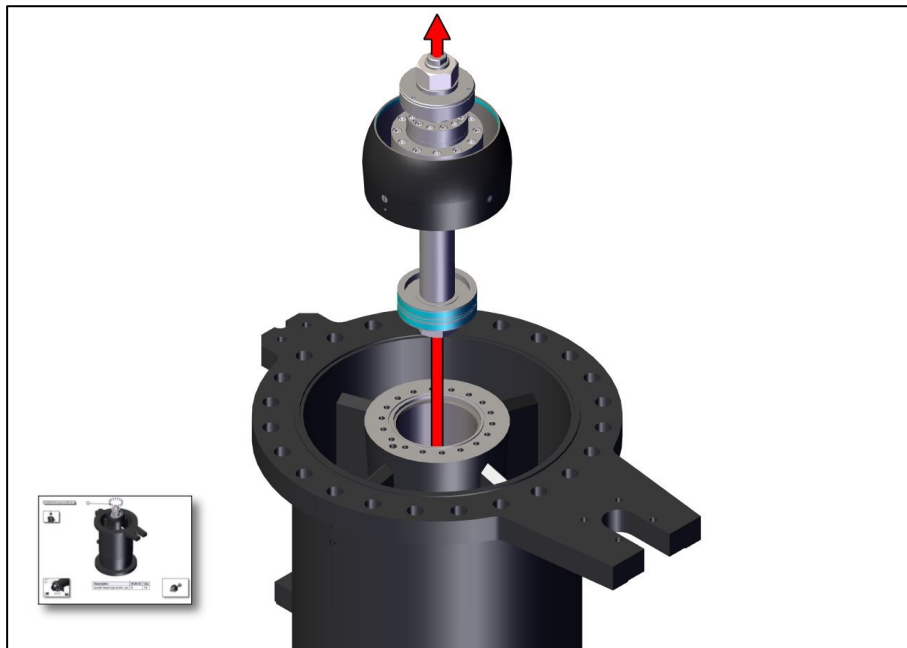
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-8 Retirar tobera



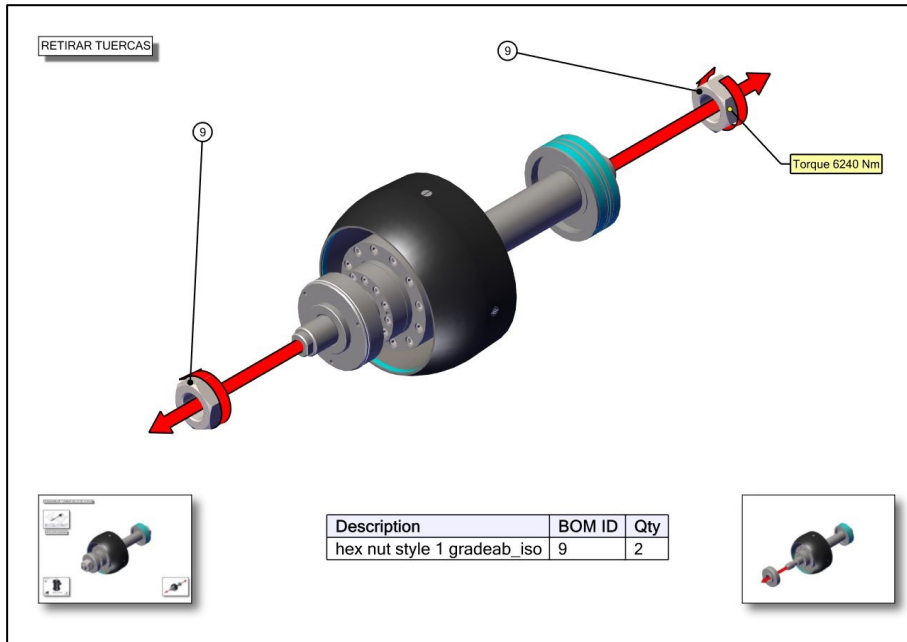
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-9 Desmontar eje



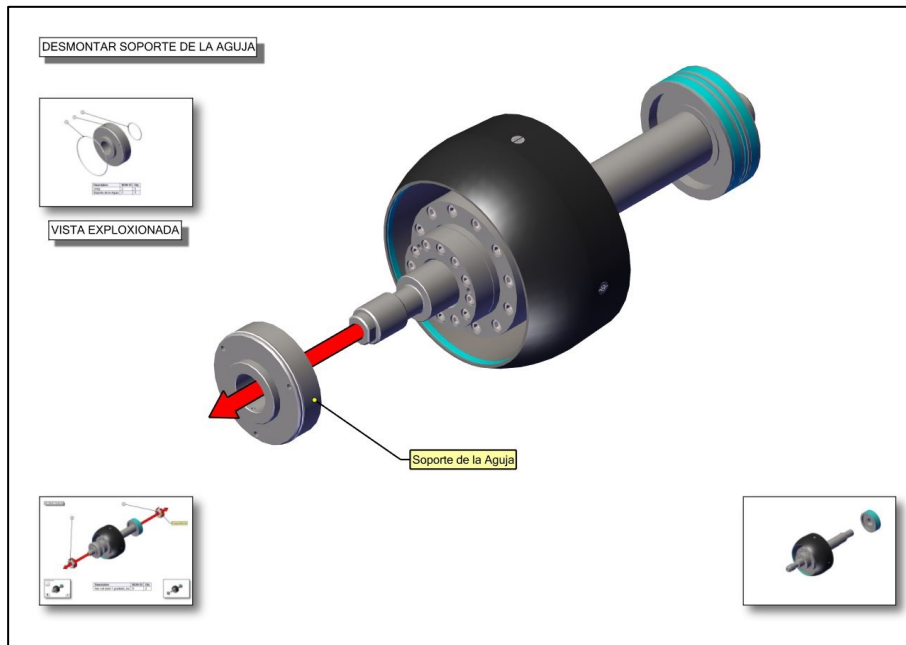
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-10 Retirar tuercas



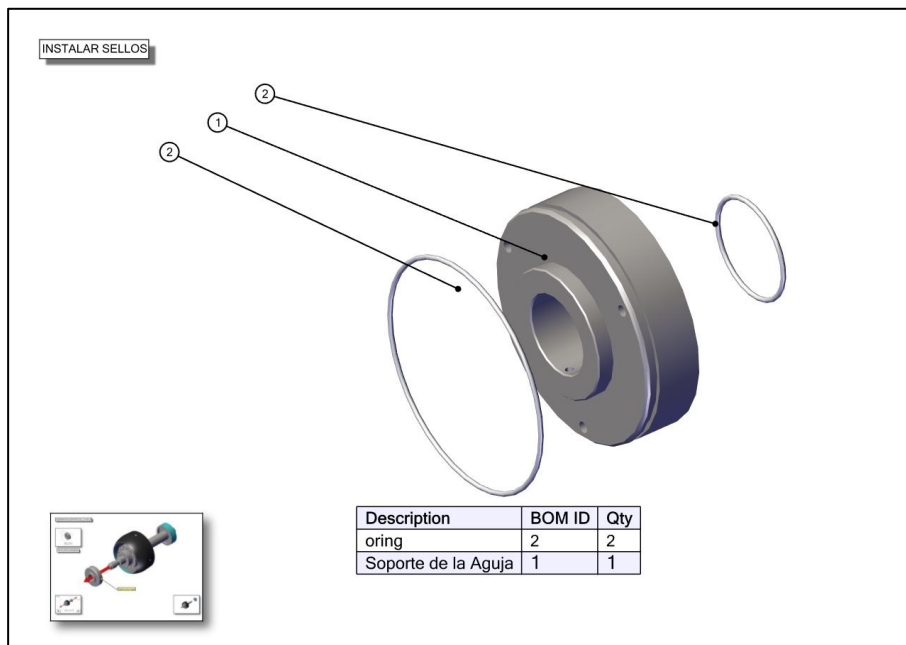
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-11 Desmontar soporte de la aguja



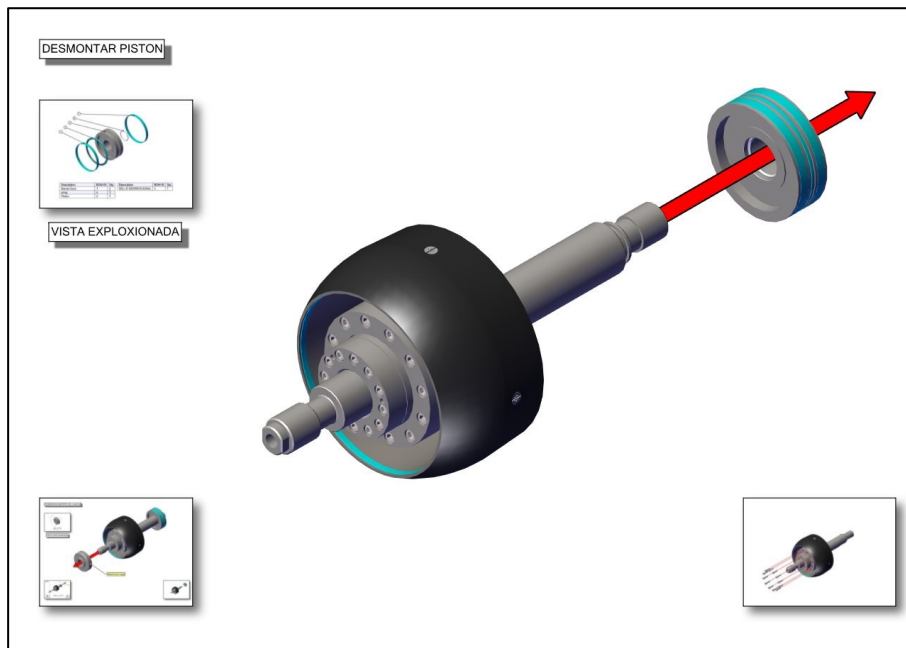
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-12 Cambiar empaques del soporte aguja



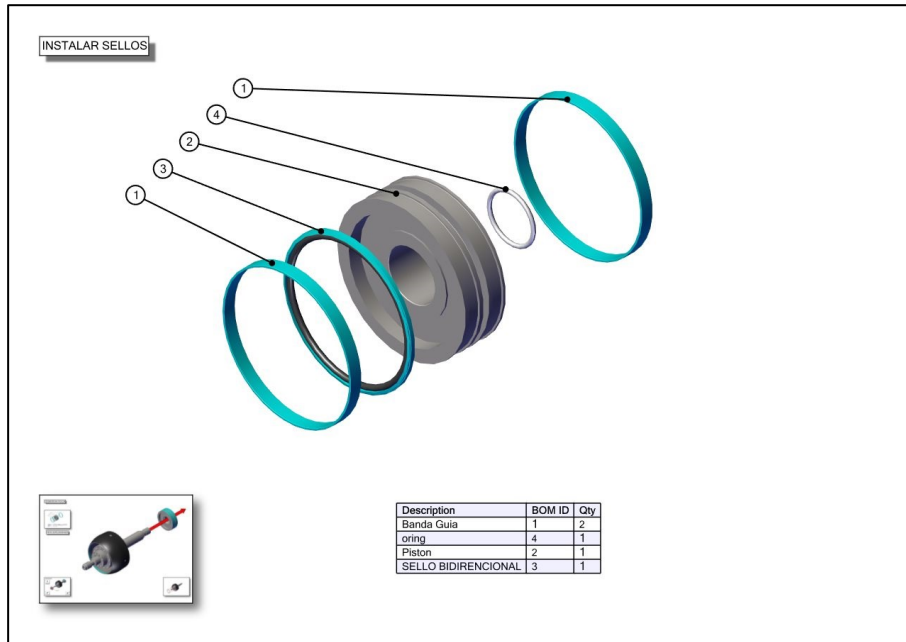
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-13 Desmontar pistón



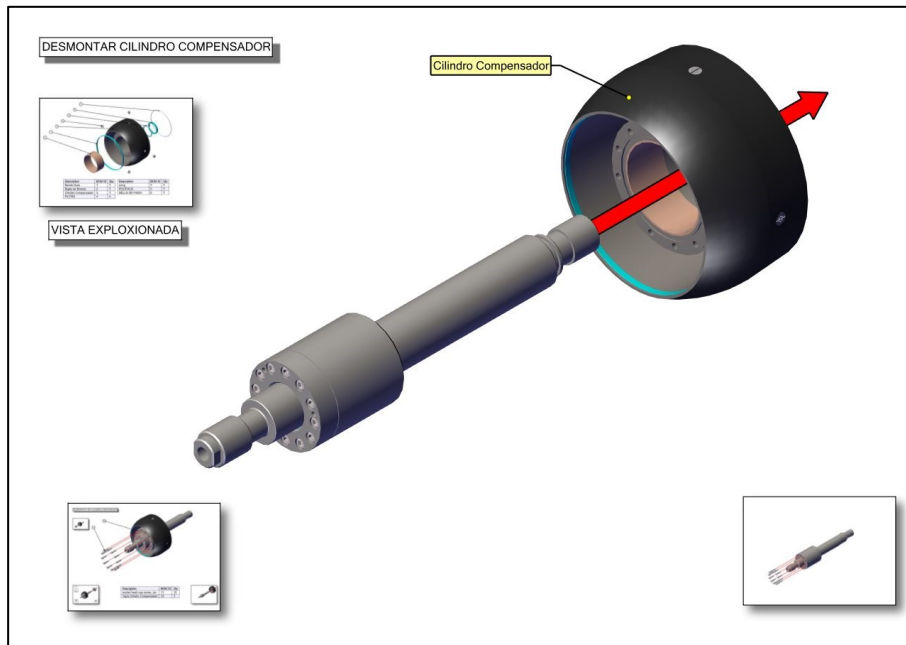
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-14 Cambiar empaques del pistón



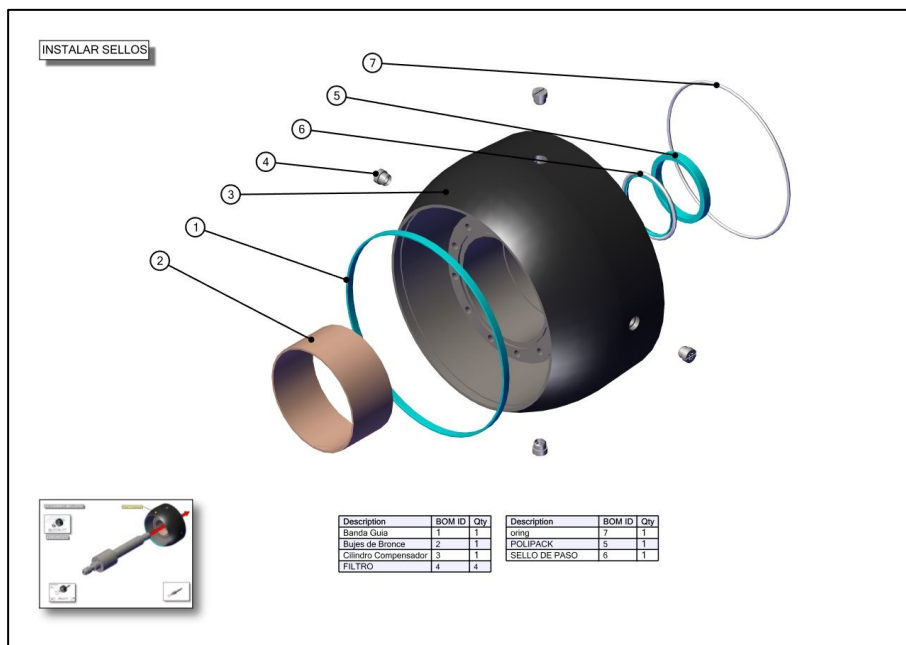
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-15 Desmontar cilindro compensador



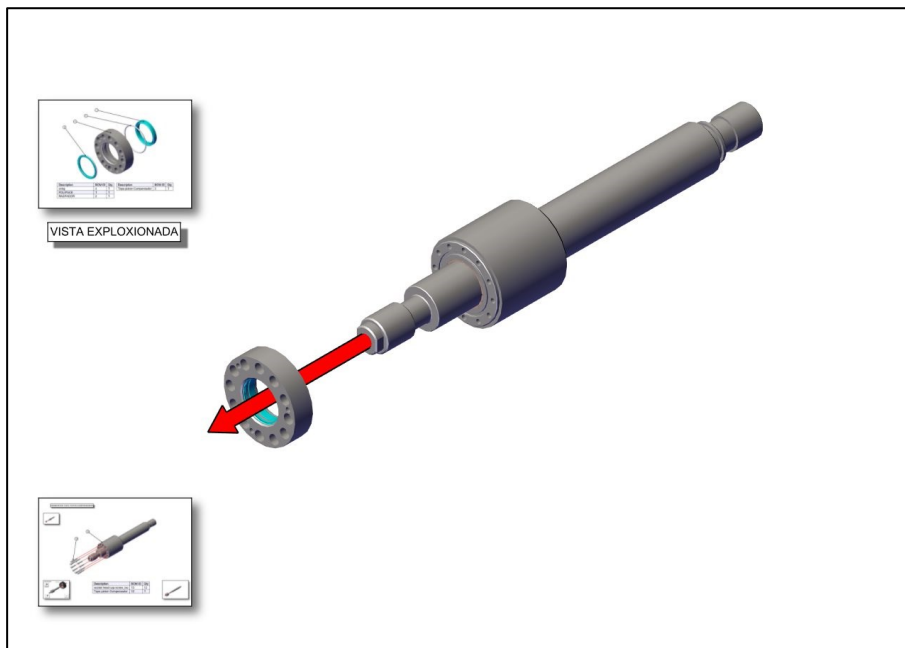
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-16 Cambiar empaques cilindro compensador



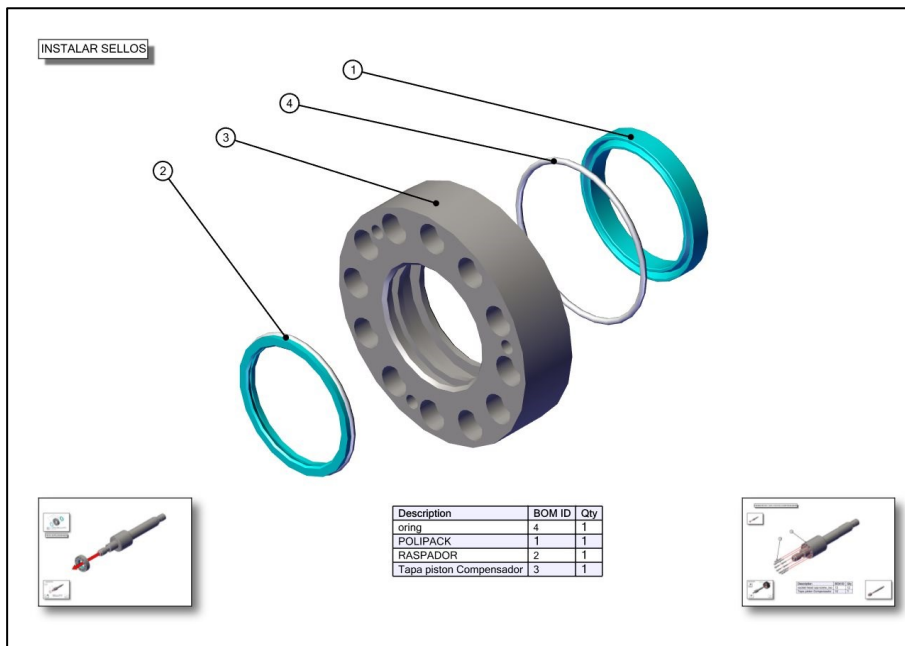
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-17 Desmontar tapa del pistón compensador



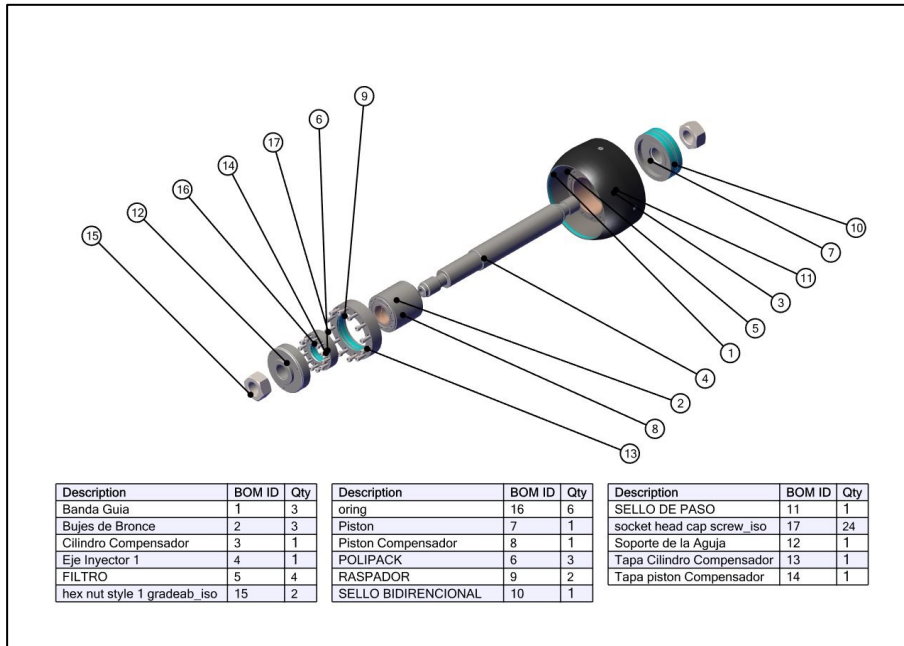
Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-18 Cambiar sellos tapa pistón compensador



Fuente. Elaboración Propia.

Figura 4-19 Vista Explosionada



Fuente. Elaboración Propia.

### 4.3 Mantenimiento Correctivo

Las guías de mantenimiento interactiva en 3D se pueden aplicar al mantenimiento correctivo realizando el análisis de fallas y la identificación de rediseños que nos ayuden a poder prevenir futuras fallas, con los modelos en 3D se pueden hacer simulaciones de comportamientos mecánicos de los equipos lo que hace que sea un insumo muy valioso para el personal de ingeniería poder validar sus procesos de modernización.

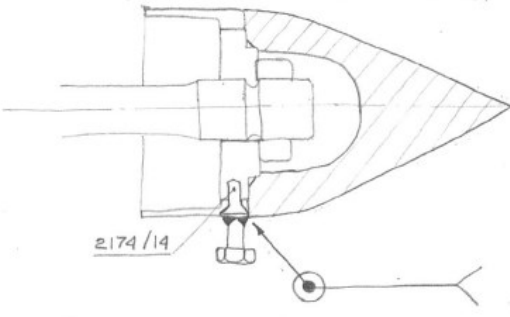
### 4.4 Evaluación de las guías interactivas en 3D.

Como método de evaluación se realizó un comparativo de la evolución de las guías de mantenimiento en el tiempo.

En 1984 el ingeniero Luis Fernando Novoa inicia con la elaboración de las guías de mantenimiento, manuscritos con gráficos hechos a mano donde por medio de textos y dibujos elaborados a mano se describía la actividad que se debía realizar, como se puede observar en la figura 4-20 Guía de mantenimiento en 1984



Figura 4-20 Guía mantenimiento en 1984

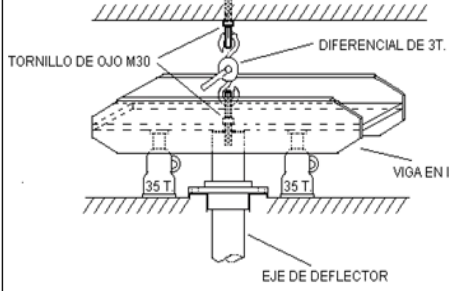
| 16<br>No   | 17<br>COD. ACT.      | 18<br>ACTIVIDADES A SER REALIZADAS   | 19<br>INSTR. GUIA EJEC. |
|--|----------------------|--|-------------------------|
| 10.  |                      | CERRAR LAS AGUJAS AL 0%  |                         |
| 11.  |                      | <p>A LOS 2 TORNILLOS 2171/14, SOLDARLES TORNILLOS FABRICADOS SEGUN PLAN MM _____, MEDIANTE SOLDADURA INOXIDABLE Y SOLTARIOS. EMPUSAR HACIA ATRAS EL CILINDRO DE LA AGUJA 2171/13.</p>  |                         |
|  |                      |   |                         |
| 12.  |                      | <p>COLOCAR LA CANASTILLA DE SOPORTE PARA LAS AGUJAS FABRICADA SEGUN PLAN MM _____ Y TENSIONARLA CON UNA DIFERENCIAL DE 1 1/2 TON.</p>  |                         |
| 13.  |                      | <p>SOLTAR LOS 12 TORNILLOS M 20 DE CABEZA ALLEN Y BAJAR LA AGUJA.</p>  |                         |
| 14.  |                      | <p>PREPARAR LA AGUJA NUEVA, REMOVIENDOLE COMPLETAMENTE LA PINTURA EPOXICA UTILIZANDO EL REMOVEDOR DE PINTURA.</p>  |                         |
| 15.  |                      | <p>COLOCAR LA AGUJA NUEVA SIGUIENDO LA SECUENCIA INVERSA HASTA EL PUNTO 6, TENIENDO EN CUENTA LAS SIGUIENTES PRECAUCIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. TODAS LAS DIERAS QUE SE VAN A MONTAR NUEVAMENTE DEBEN ESTAR LIMPIAS;</li> <li>2. PARA SELLAR, SE DEBEN UTILIZAR EMPAQUES NUEVOS;</li> <li>3. LAS MARCACIONES DE POSICION Y/O DISPOSICION SE DEBEN TENER EN CUENTA.</li> </ol> |                         |
| <p>20 INFORMACION ADICIONAL: CONSIGNAS/REGISTROS</p> |                      |  |                         |
| 21   | 22                   | 23   | 24                      |
| PLANEADO POR / FECHA                                 | REVISADO POR / FECHA | APROBADO POR / FECHA   | 24<br>HOJA No.<br>4 / 5 |

Fuente. Archivo ISAGEN

Entre 1986 y 1988 las guías de mantenimiento se empezaron a digitar con máquina de escribir y más adelante el ingeniero Jaime Sierra inicio con la digitalización de las guías de mantenimiento, ahora el texto podría editarse, pero los gráficos tendrían que realizarse a

mano o utilizando herramientas como Paint, como se observa en la figura 4-21 Guía de mantenimiento en 1988, con el fin de poder tener mayor claridad de la actividad.

Figura 4-21 Guía de mantenimiento en 1988

|      |   |  |  |
|------|---|--|--|
| 1.12 | <p>Despegar y extraer los ejes utilizando la diferencial de tres (3), toneladas y el perfil en "T", adaptado como dispositivo y los gatos mecánicos de 35 toneladas como lo muestra la figura:</p>  <p>TORNILLO DE OJO M30<br/>DIFERENCIAL DE 3T.<br/>35 T<br/>VIGA ENI<br/>EJE DE DEFLECTOR</p> | 1.12.1 Golpeado por o contra, presiones anormales. | 1.12.1.1 Utilizar guantes de vaqueta, utilizar monogafas de seguridad, casco, camisa de seguridad, además se debe asegurar con manilas el dispositivo que extrae los ejes. |
|------|---|--|--|

Fuente. Archivo ISAGEN

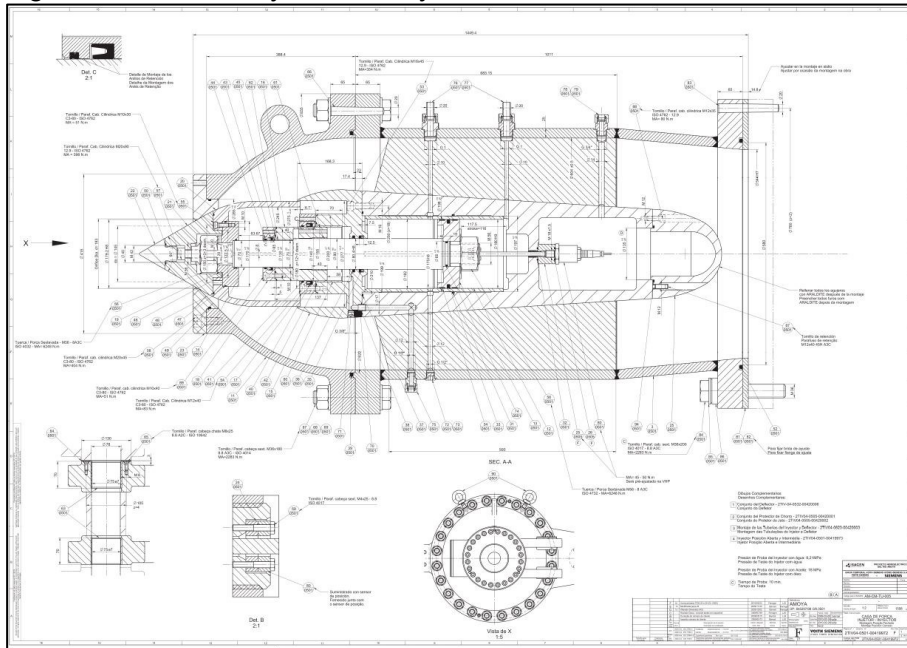
Desde 1988 hasta la fecha las guías de mantenimiento han cambiado sus versiones, se les han realizado modificaciones, se ha adicionado nueva información y se desarrollan en editores de texto que facilitan la inclusión de imágenes, planos y esquemas, pero en esencia se ha mantenido el concepto original como se observa en la figura 4-22 Guía de mantenimiento en 2020.

Figura 4-22 Guía de mantenimiento en 2020

|      |   |                            |  |
|------|---|----------------------------|--|
| 1.11 | <p>Utilizar en el interior los elementos para trabajo en alturas, podrán utilizar la estructura del deflector como punto de anclaje. (Todos los trabajadores que ingresen deben utilizar equipo para trabajo en alturas).</p> <p style="text-align: center;"><b>Fotografías 5</b></p>  | 1.11.1 Trabajo en alturas. | 1.11.1.1 Aplicar el documento normativo No. 0356 "Procedimiento para trabajos en alturas". |
|------|---|----------------------------|--|

Fuente. Archivo ISAGEN

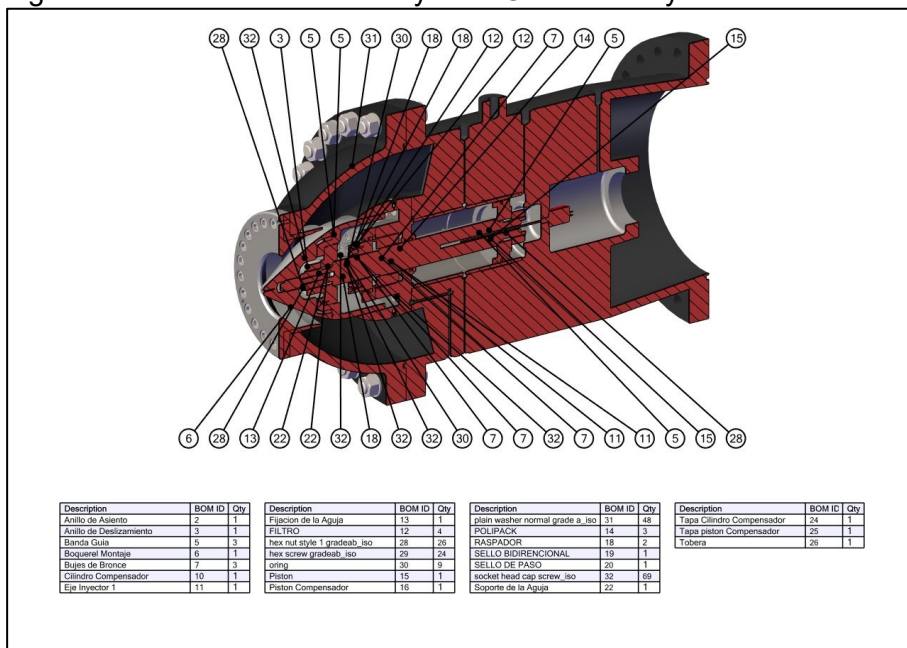
Figura 4-23 Plano Inyector Amoyá



Fuente. Archivo ISAGEN

Con la propuesta de las guías de mantenimiento interactivo en 3D se pretende mejorar la descripción de las actividades a desarrollar, la interpretación de los planos técnicos (ver figura 4.23 Plano Inyector Amoyá) asociados al desarrollo del trabajo y la identificación de cada uno de los componentes de una manera más intuitiva como se evidencia en la figura 4-24 Plano Interactivo Inyector Central Amoyá.

Figura 4-24 Plano Interactivo Inyector Central Amoyá



Fuente. Archivo ISAGEN

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

De acuerdo con literatura consultada se puede ver como el mantenimiento se encuentra en una evolución constante, donde se va adaptando los nuevos desarrollos tecnológicos que van surgiendo, y vemos como las empresas empiezan adoptar la tecnología de la realidad aumentada en sus procesos de capacitación y entrenamiento de los trabajadores. Los archivos 3D serán un complemento para la planeación y ejecución de los programas de mantenimiento gracias a su versatilidad de poder simular entornos de trabajo antes de la ejecución, lo cual permitirá tener personal con mejores competencias laborales lo que representará en la disminución de reprocesos y falta de planeación por lo tanto ayudará a mejorar los indicadores de mantenimiento y los costos asociados.

Con el análisis realizado al mantenimiento en ISAGEN se pudo evidenciar que el programa de mantenimiento preventivo en casa de máquinas y captación se cumple al 100%, pero durante estos 7 años de operación de la central Amoyá, se percibió que el mantenimiento correctivo en casa maquinas represento un 242% en la unidad 1 y un 208% en la unidad 2 y el mantenimiento preventivo fuera de plan, represento un 3392% en la unidad 1 y un 3050% en la unidad 2. En captación el mantenimiento correctivo represento el 65% y el mantenimiento preventivo fuera de plan el 1449%. La mayor cantidad de OM preventivo fuera de plan de casa maquinas se concentran en el sistema de enfriamiento en donde la unidad 1 tienen el 57.94% y en la unidad 2 el 52.87%.

Como se puede observar el capítulo 4 , con la implementación de las guías interactivas en 3D se pueden lograr imágenes que representan de una forma muy visual los elementos que se quieren intervenir con un grado de detalle muy amplio, las guías interactivas en 3D son una herramienta muy efectiva para la transferencia del conocimiento en trabajos tan específicos de las centrales de generación como son los cambios de los polos del rotor, el cambio de un inyector, el cambio de rodete Pelton o Francis o los cambios de algunos de los sellos de las válvulas esféricas. Continuando con la evolución de que han tenido las guías de mantenimiento durante el tiempo, las guías de mantenimiento interactivo en 3D

representan una gran herramienta tecnológica para mejorar la comprensión de las actividades a ejecutar durante el mantenimiento.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda a la central Amoyá hacer un desglose más detallado en la estructura de equipos con respecto a la turbina donde los inyectores puedan hacer parte de los equipos principales y estas fallas o intervenciones no se vean inmersas en otros equipos más generales, esto ayudaría tener una mejor gestión del mantenimiento.

Se recomienda poder hacer un rediseño de las compuertas de descarga 1 y descarga 2 del módulo desarenador 1 debido a que estas son las que más presentan fallas en su mecanismo de elevación.

Se recomienda a la central Amoyá, realizar la implementación de los instructivos interactivos en 3D para los trabajos relacionados en el mantenimiento de los inyectores y los actuadores de la central Amoyá para evitar la contratación de servicios externos con respecto a la reparación.

Se recomienda a la central Amoyá incorporar en sus procesos de capacitación al personal técnico la implementación de los instructivos interactivos en 3D.

Se recomienda hacer uso de los instructivos interactivos en 3D para la planeación del mantenimiento mayor de la central Amoyá



## Bibliografía

- [1] SolidWorks, (2010), Agilizar la documentación del producto en la empresa de fabricación con SOLIDWORKS Composer.  
Recuperado de <https://intelligy.com/archivos/simplifica-documentacion-producto.pdf>
- [2] (Julio – septiembre 2011), Sistema para la capacitación y entrenamiento para el mantenimiento de las líneas de la red de distribución, AIEn3D, En el boletín de la IIE Realidad Virtual presente y futuro, Recuperado de <https://www.ineel.mx/boletin032011/biie-03-2011.pdf#page=5>
- [3] Ortiz, D, Pilatuña,L, (2019), “DISEÑO DE UNA PLANTA VIRTUAL DE TRITURACIÓN DE PIEDRA CALIZA, PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO”, Escuela superior politécnica de chimborazo, Ecuador.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13549/1/25T00369.pdf>
- [4] Salas, J,(2019), Desarrollo De Un Gemelo Digital 3d Para 3 Unidades En La Refinería De Cartagena De Ecopetrol, Recuperado de [https://educacion.aciem.org/CIMGA/2019/Trabajos/19008\\_TRA\\_COL\\_J\\_SALAS\\_CIMGA2019.pdf](https://educacion.aciem.org/CIMGA/2019/Trabajos/19008_TRA_COL_J_SALAS_CIMGA2019.pdf)
- [5] Rojas, A, (2017), Diseño, Construcción e Implementación de un Sistema Interactivo a Escala de una Micro Central Hidroeléctrica con Turbina Pelton (tesis de grado). Universidad Andina Néstor Cáceres Velázquez, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/882>
- [6] SolidWorks, (2018), Thiele Technologies, Inc. Recuperado de [https://www.solidworks.com/sites/default/files/2018-07/Thiele\\_CaseStudy\\_ESP.pdf](https://www.solidworks.com/sites/default/files/2018-07/Thiele_CaseStudy_ESP.pdf).
- [7] Pedro, S., Juan, O., (2014), Confiabilidad en la Práctica, Barraquilla / Medellín Colombia,
- [8] INFAIMON, (5 enero 2018), Programas de diseño 3D: características y aplicaciones [Mensaje en un blog]. [R]evolución artificial, Recuperado de <https://blog.infaimon.com/programas-de-diseno-3d/>
- [9] Partida, A, (12 enero 2015), ¿Cómo se realizará el mantenimiento en el año 2050? [Mensaje en un blog]. Mantenimiento & Mentoring Industrial, Recuperado de <http://mantenimiento-mi.es/2015/como-se-realizara-el-mantenimiento-en-el-ano-2050>