

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LA CENTRAL DE
GENERACIÓN SUEVA II**

**LEONARDO JOSE PAEZ TORRES
PAULO CESAR SALAZAR PINEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2018

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LA CENTRAL DE
GENERACIÓN SUEVA II.**

**LEONARDO JOSÉ PÁEZ TORRES
PAULO CESAR SALAZAR PINEDA**

**Monografía de grado presentada como requisito para obtener el título de
especialista en gerencia de mantenimiento**

**Director:
PILAR VALDERRAMA
Especialista en gerencia de proyectos.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2018

AGRADECIMIENTOS

Los autores dedican este proyecto de monografía a Dios y a nuestros familiares. A Dios porque nos acompañó siempre en cada paso que dimos durante todo el proceso de la especialización y se encargó de no dejarnos desfallecer, a nuestros familiares, quienes han sido el motor a lo largo de nuestra vida y han velado por nuestro bienestar contribuyendo a nuestra educación y dándonos confianza al momento de asumir nuevos retos. A los profesores que de muy buena manera aportaron un poco de su conocimiento para poder aumentar el nuestro, sin ellos sería muy difícil culminar este logro de una manera satisfactoria. Por último y no menos importante a CEMEX ENERGY ESP S.A.S que nos brindó la información y toda su planta física para poder realizar nuestro proyecto a cabalidad.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	16
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1. Objetivo general	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
1.2 MARCO CONTEXTUAL	16
1.2.1 Cemex Energy S.A.S E.S.P.	16
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
2. MARCO CONCEPTUAL	24
2.1 TURBINAS HIDRÁULICAS.....	24
2.1.1 Partes de una turbina.....	24
2.2 TURBINA FRANCIS	25
2.3 GENERADOR.....	26
2.3.1 Alternador síncrono.....	26
2.4 EXCITATRIZ.....	26
2.4.1 Excitatriz estática.	26
2.5 REGULACIÓN DE TENSIÓN Y SINCRONIZACIÓN	27
2.6 CONTROL DE TURBINA.....	27
2.6.1 Regulador de velocidad	27
2.7 MODOS DE FALLA	28
2.7.1 Falla funcional.....	28
2.7.2 Efecto de falla.	29
2.7.3 Consecuencia.	29
2.8 RCM.....	29
3. CONTEXTO OPERACIONAL	30
3.1 FUNCIONAMIENTO	30

3.1.1 Temperatura de devanado del estator.....	30
3.1.2 Cojinetes o rodamientos.	31
3.1.3 Arranque de máquina.	32
3.1.4 Sincronización.....	32
3.1.5 Arranque después de un mantenimiento total o tiempos grandes de paro ...	32
3.1.6 Recomendaciones para tasas de carga.....	33
3.1.7 Parada de máquina.....	34
4. ANALISIS DE MODO DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)	35
4.1 ¿POR QUÉ ANALIZAR Y QUE BENEFICIOS TRAE ANALIZAR LOS MODOS DE FALLA?.....	35
4.2 FRONTERAS.....	36
4.3 DATOS ESTADÍSTICOS DE PARADA.....	40
5. MODELO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO BASADO EN RCM	43
5.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	45
5.1.1 Evaluación de la criticidad.....	46
5.1.2 Matriz de criticidad.	47
5.1.3 Jerarquía de equipos.	48
6. HOJA DE DECISIÓN	49
Tabla 10. Hoja de decisión turbina.....	53
7. CONCLUSIONES	55
BIBLIOGRAFIA.....	57
ANEXOS	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Taxonomía y modos de falla de turbina	43
Tabla 2. Taxonomía y modos de falla sistemas de regulación	44
Tabla 3. Taxonomía y modos de falla del generador	44
Tabla 4. Taxonomía y modos de falla de la celda de media tensión.....	45
Tabla 5. Taxonomía y modos de falla de subestación	45
Tabla 6. Criterios de evaluación.....	47
Tabla 7. Matriz de criticidad	48
Tabla 8. Jerarquía de equipos	48
Tabla 9. Hoja de decisión RCMII estándar	49
Tabla 10. Hoja de decisión sistema de regulación.....	53
Tabla 11. Hoja de decisión regulador	53
Tabla 12. <i>Hoja de decisión celda de media tensión</i>	54
Tabla 13. Hoja de decisión subestación	54

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica	17
Figura 2. Esquemas plantas sueva.....	18
Figura 3. Planta sueva I	19
Figura 4. Planta sueva II	20
Figura 5. Planta sueva II	21
Figura 6. Organigrama Cemex Energy	22
Figura 7. Caracola de presión.....	25
Figura 8. Plano de montaje grupo generación 1	30
Figura 9. Vista superior del regulador	33
Figura 10. Diagrama de proceso.....	36
Figura 11. Turbina.....	38
Figura 12. Generador.....	38
Figura 13. Celdas de control	39
Figura 14. Celdas de media tensión	39
Figura 15. Subestación grupo I.....	40
Figura 16. Diagrama de decisión de RCM II	51

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO1 : BOCATOMA RIO JUQUIN	59
ANEXO 2: TANQUE DESARENADOR RIO JUIQUIN.	59
ANEXO 3: CANAL DE JUIQUIN	60
ANEXO 4: BOCATOMA RIO SUCIO	60
ANEXO 5: BOCATOMA RIO CARPATOS.....	61
ANEXO 6: CANAL DE PANAMA.	61
ANEXO 7: CANAL DE RIOS LETICIA	62
ANEXO 8: CANAL DE RIO LETICIA ABIERTO.....	62
ANEXO 9: DESARENADOR LETICIA.	63
ANEXO 10: DESARENADOR PANAMA.....	63
ANEXO 11: TANQUE DE PRESION PANAMA.	64
ANEXO 12: CANAL DE DESCARGA EN PANAMA.	64
ANEXO 13: CANAL DE DESCARGUE EN NEMOSTEN.....	65
ANEXO 14: TUBERIA DE PRESION EN SUEVA 2.....	65
ANEXO 15: EXCITETRIZ DEL GRUPO 1.	66
ANEXO 16: GENERADOR DEL GRUPO 1.	67
ANEXO 17: TABLEOS DE CONTROL DEL GRUPO 1.	68
ANEXO 18: REGULADOR DE VELOCIDAD DEL GRUPO 1.	69
ANEXO 19: TURBINA DEL GRUPO 1.....	70
ANEXO 20: VALVULA PRINCIPAL DEL GRUPO 1	70
ANEXO 22: TABLERO DE VIBRACIONES.	71
ANEXO 22: SECCIONADOR DE TRANSFORMADOR GRUPO 1.....	72
ANEXO 23: INTERRUPTOR DE POTENCIA DEL GRUPO1.	72
ANEXO 24: SECCIONADOR DE MAQUINA.	73
ANEXO 25: TRANSFORMAFOR DE CORRIENTE CT.....	73

ANEXO 26: TRANSFORMADOR DE POTENCIA DEL G1. 74
ANEXO 27: TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES G1. 74

RESUMEN

TITULO: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LA CENTRAL DE GENERACIÓN SUEVA II.*

AUTORES: PAULO CESAR SALAZAR PINEDA - LEONARDO JOSE PAEZ TORRES**

PALABRAS CLAVE: TURBINA, MANTENIMIENTO, GENERACION, CRITICIDAD, MODO DE FALLA, RCM.

DESCRIPCIÓN

El objetivo principal de esta monografía es formular una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad del grupo de generación de energía perteneciente a la planta sueva II localizada en la vereda el Carmen situada en el municipio de Junín Cundinamarca, la cual tiene como fin aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos para aumentar la productividad y perduración de los mismos.

La necesidad de una metodología de mantenimiento surge debido a la poca confiabilidad que tienen los activos de la planta ya que al momento de realizar los mantenimientos nunca se cumplían con los tiempos estipulados, ocasionando retrasos y generando pérdidas millonarias para la empresa.

El plan de mantenimiento esta soportado en el conocimiento que han adquirido con el pasar de los años el personal de producción y mantenimiento, y en procesos de trabajo junto con inspecciones que se propone como herramientas de control y seguimiento. Durante el desarrollo de la metodología se tiene en cuenta un aspecto importante tal como lo es el estudio técnico de los equipos previos a la implementación del plan de proyecto con el fin de buscar mejoras a los mismos.

Se desea impactar de una manera positiva con esta monografía, buscando un cambio en la planeación, ejecución y seguimiento del mantenimiento que se viene llevando a cabo en la hidroeléctrica sueva II mejorando la disponibilidad y confiabilidad de los activos.

* Trabajado de grado

**Facultad de Ciencias Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Pilar Valderrama. Management Information Systems

ABSTRACT

TITLE: MAINTENANCE PROGRAM BASED ON RCM FOR THE SUEVA II GENERATION PLANT*

AUTHORS: PAULO CESAR SALAZAR PINEDA - LEONARDO JOSE PAEZ TORRES**

KEYWORDS: TURBINE, MAINTENANCE, GENERATION, CRITICALITY, FAILURE MODE, RCM

DESCRIPTION

The main objective of this monograph is to formulate a maintenance methodology focused on reliability of the power generation group belonging to the Sueva II plant located in the village of El Carmen located in the municipality of Junín Cundinamarca, which aims to increase the availability and Reliability of the equipment to increase the productivity and durability of the same.

The need for a maintenance methodology arises due to the unreliability of the assets of the plant because at the time of carrying out the maintenance, the stipulated times were never met, causing delays and generating millions of losses for the company.

The maintenance plan is supported by the knowledge acquired by the production and maintenance personnel over the years, and in work processes together with inspections that are proposed as control and monitoring tools. During the development of the methodology, an important aspect is taken into account, such as the technical study of the teams prior to the implementation of the project plan in order to seek improvements to them.

It is desired to have a positive impact with this monograph, looking for a change in the planning, execution and monitoring of the maintenance that has been carried out in the Sueva II hydroelectric plant, improving the availability and reliability of the assets.

* Degree thesis

** School of Mechanical Engineering. Director: Pilar Valderrama. Management Information Systems

INTRODUCCIÓN

La energía es un factor importante para la operación de la compañía que maneja grandes volúmenes de producción, en cual la empresa prestadora del servicio suministra a ciertas tarifas que varían de acuerdo a la temporada, influyendo en los costos y utilidades.

CEMEX Colombia en su planta santa rosa ubicada en la Calera, Cundinamarca, consume grandes cantidades de energía en el proceso de molienda para la fabricación de cemento, la compañía creó una unidad de negocio llamada CEMEX ENERGY S.A.S E.S.P para su abastecimiento con su planta SUEVA I, la planta SUEVA II suministra a la red nacional para que llegue a las demás operaciones.

La planta SUEVA II tiene tres grupos de generación de 2.4 MW con 70 años aproximadamente de operación, en los últimos tres años se ha presentado muchos inconvenientes por paradas por fallas, se ha recurrido a mantenimientos correctivos de emergencia cuyos costos son muy elevados.

Con este proyecto busca aumentar la vida útil de los equipos, confiabilidad, eficiencia operacional, disminuir los tiempos de parada por averías imprevistas aumentar la disponibilidad que impidan la producción de energía y utilidades para una pronta modernización.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVOS.

Los objetivos propuestos para esta monografía son:

1.1.1. Objetivo general. Proponer Elaborar un plan de mantenimiento basado en RCM, para aumentar la disponibilidad y confiabilidad del grupo 1 de generación de la hidroeléctrica Sueva II.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis del modo de efecto de falla, del grupo generador 1 de la hidroeléctrica Sueva II.
- Identificar componentes críticos dentro del grupo 1, turbogenerador (turbina, generador, gobernador, excitatriz, celdas de media tensión, subestación eléctrica) para priorizar las actividades de mantenimiento.
- Especificar el tipo de mantenimiento que se debe aplicar al equipo según su criticidad.
- Elaborar tabla de decisión para asignar las tareas de mantenimiento para la mejora de los actuales indicadores de mantenimiento.

1.2 MARCO CONTEXTUAL

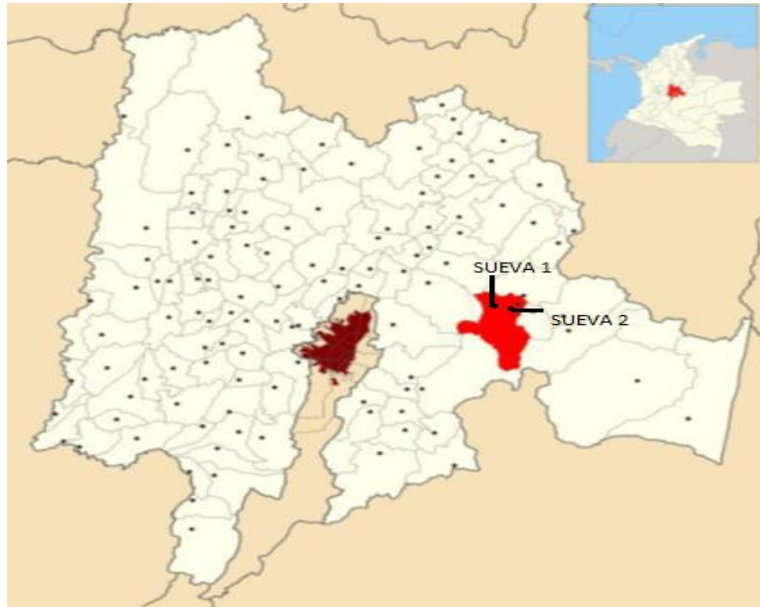
1.2.1 Cemex Energy S.A.S E.S.P.

CEMEX COLOMBIA S.A tiene sus unidades de negocio en el 2014 apareció, CEMEX ENERGY S.A.S E.S.P fue creada para la comercialización y distribución de energía eléctrica e hidrocarburos, cuenta con planta SUEVA I, SUEVA II y Bucaramanga.

- **Ubicación**

La hidroeléctrica de SUEVA se compone en dos plantas, SUEVA I ubicada en la vereda el Carmen y SUEVA II en la vereda Nemusten del municipio de Junín Cundinamarca.

Figura 1. Ubicación geográfica



Fuente: Google Maps

- **Descripción de la planta sueva.**

Sueva I y Sueva II son conocidas como plantas de generación de energía de acuerdo a su orden cronológico de construcción, son plantas al filo de agua donde se aprovecha el caudal medio que pasa por los ríos durante una gran parte del año¹

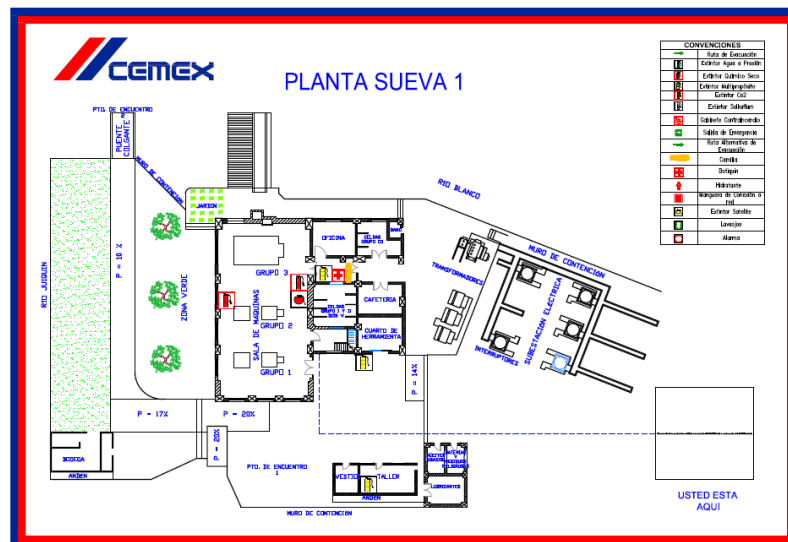
Las plantas forman una configuración en cascada, es decir el agua turbinada de planta Sueva I, es utilizada posteriormente por la planta Sueva II junto a una captación adicional, por tanto si la planta Sueva I reduce su capacidad de

¹ GASPAR, L. A. (2013). ELABORACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDRAULICAS SUEVA I Y SUEVA II. Bogota: Especializacion en gerencia de mantenimiento.

Planta Sueva I figura 3, está catalogada como una planta autogeradora, es decir la energía producida es utilizada por una persona particular o ente privado, en este caso se utiliza en el proceso de molienda de cemento de la planta Santa Rosa de Cemex Colombia ubicada en el municipio de La Calera, a 30 kilómetros en línea recta de la ubicación de la planta de generación Sueva I.³

La planta está conectada a través al sistema interconectado nacional a través de la subestación de la planta Santa Rosa, y en caso de no generar la energía que requiera la planta Santa Rosa es comprada parcial o totalmente al sistema interconectado nacional. De igual manera en caso de no requerir toda la energía generada por la planta Sueva I, los excedentes son entregados sin valor alguno al sistema interconectado nacional.

Figura 3. Planta sueva I



Fuente: Biblioteca CEMEX ENERGY SAS.

³ Ibid., p. 17

- **Planta sueva II.**

Es una pequeña central hidroeléctrica de generación de energía que utiliza como materia prima el agua, 5,4 m³/s requerida del agua turbinada de la planta Sueva I y del caudal captado en su única bocatoma (Río Blanco) y una caída de 183 metros puede generar 7200 KW/hr que es su capacidad instalada, y un promedio medio anual de 32 GW. ⁴

Esta planta Sueva II figura 4 y figura 5, está catalogada como una planta menor ante el ASIC (Administrador del sistema de intercambios comerciales), y por tanto la energía producida es inyectada al sistema interconectado nacional a través de la subestación de La Calera, a 30 km kilómetros en línea recta de la ubicación de la planta de generación Sueva II y vendida por medio de un contrato a Emgesa⁵ a la subestación Gacheta.

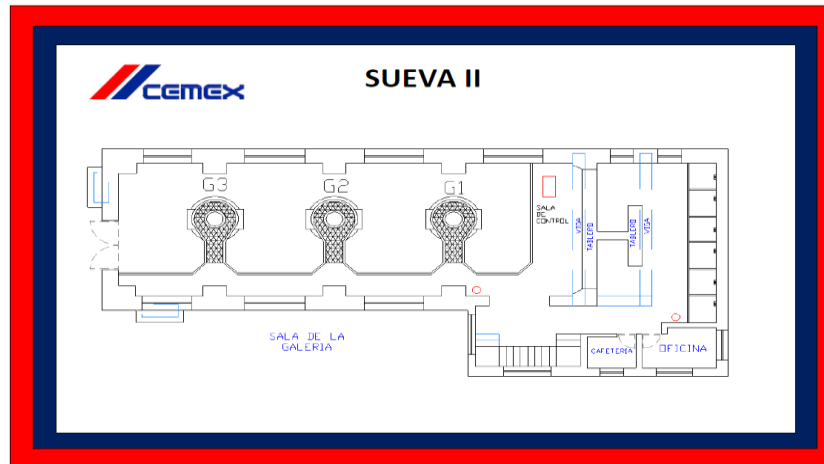
Figura 4. Planta sueva II



⁴ Ibid., p. 17

⁵ Ibid., p. 17

Figura 5. Planta sueva II



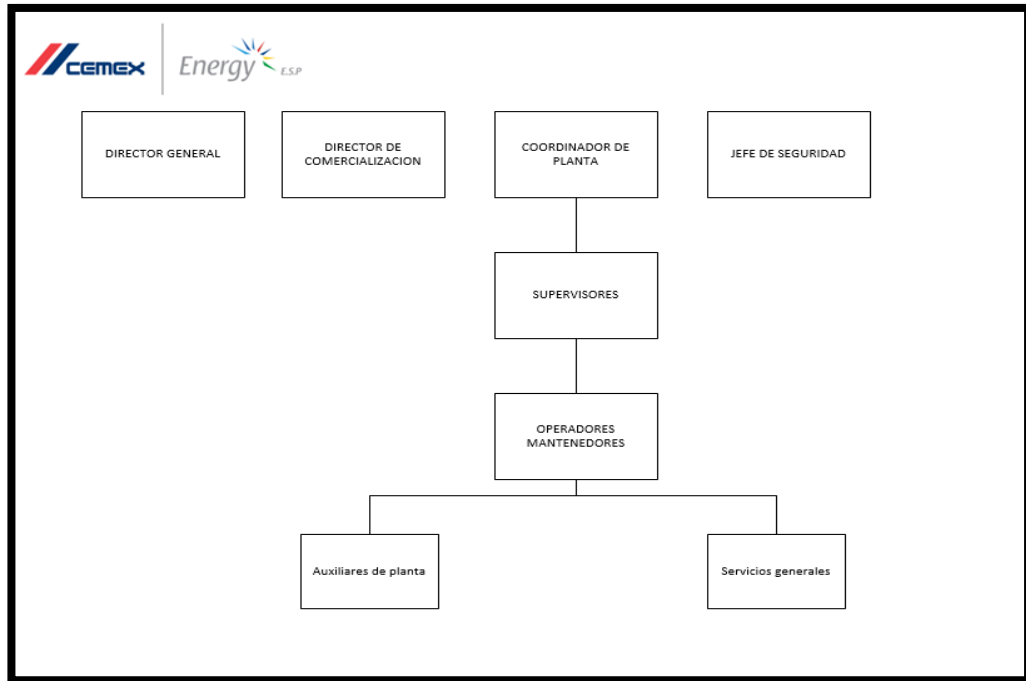
Fuente: Biblioteca CEMEX ENERGY SAS.

- **Organigrama**

En la hidroeléctrica de sueva el personal está conformado por un coordinador de planta, 2 supervisores, 9 operadores mantenedores y 15 auxiliares de mantenimiento. La mayoría del personal un 90% es de la región y el resto de otros departamentos, que son acompañados por el jefe de seguridad, talento humano, trabajadores sociales para el apoyo en el área de influencia y con la comunidad.

La operación es 24/7 en dos turnos de 12 horas, laborando 8 días y descansa 5 para los operadores, los auxiliares son turnos de 8 horas de lunes a sábado algunas veces los domingos según la programación para la limpieza de las bocatomas, los supervisores trabajan 8/7 en turnos de 10 horas con disponibilidad de remplazar a los operadores en caso que se requiera, el personal técnico de hidrosueva está disponible para apoyar trabajos en planta Bucaramanga. En la figura 6 se muestra como esta las jerarquías dentro de la organización.

Figura 6. Organigrama Cemex Energy



1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cemex es un grupo empresarial con varias sedes en todo el país, con una diversidad de ramas operacionales como: cemento, agregados, logística y energía, su principal producto es el cemento que se encuentra certificado con estándares internacionales.

De las 33 plantas, 6 son de cemento, 15 de concreto, 5 centrales de generación y el resto mezclas y agregados. Lo más costoso de la operación es la puesta en servicio del molino y los hornos de las cementeras por sus grandes consumos de energía eléctrica.

El grupo 1 consta un generador sincrónico vertical marca ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON, modelo SGV 220 – 104 con una potencia de 2400 KW, una turbina Francis marca VEVEY, potencia de 3100 HP, una excitatriz de marca ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON, potencia 25 KW, con celdas

de control, media tensión, subestación; el cual tiene un costo estimado de 1.000.000 de dólares, con operación 24/7.

Ahora bien, el departamento de mantenimiento está conformado actualmente por un coordinador de planta, 2 supervisores, 10 operadores y 25 auxiliares; los cuales se encargan de las tareas de operación según la programación las 24 horas del día. Los turnos asignados son de 8 y 12 horas según el cargo, esto garantiza el buen funcionamiento de toda la hidroeléctrica.

El histórico de mantenimiento del último año arroja las siguientes cifras: confiabilidad 65%, disponibilidad 57 %, mantenibilidad 40%; en años anteriores las cifras son muy similares. En este orden de ideas es prioritario realizar una actualización del plan de mantenimiento actual que mejore los indicadores.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 TURBINAS HIDRÁULICAS

Es una máquina roto-dinámica o turbo-máquina donde aprovechan las variaciones de la energía cinética que el fluido experimenta a su paso por la máquina. El trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimiento del agua al fluir a través de un sistema de alabes rotativos.

En este sistema, denominado rodete, puede ocurrir una simple desviación del flujo de agua o, en otros casos, una desviación y una aceleración de este flujo.⁶

2.1.1 Partes de una turbina. Los elementos fundamentales de una turbina hidráulica son:

a) Distribuidor: elemento estático, no posee velocidad angular y sus funciones son:

- Dirigir el agua hacia el rodete, siguiendo la dirección adecuada
- Actúa como un órgano regulador de caudal
- Acelerar el flujo de agua al transformar parcialmente la energía potencial del agua en energía cinética.

b) Rodete: es un disco provisto de un sistema de alabes, paletas o cucharas, que actúa por una cierta velocidad angular. La transformación de la energía hidráulica del salto en energía mecánica se produce en el rodete, mediante la aceleración y desviación del flujo de agua a su paso por los alabes.

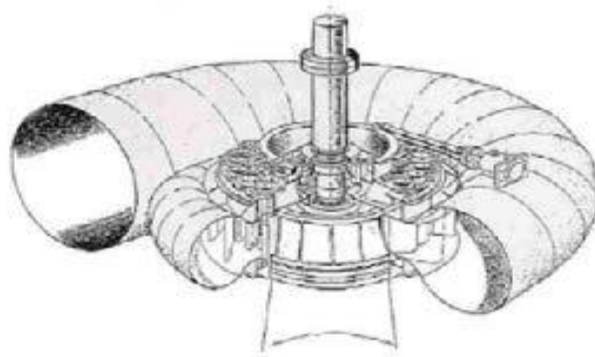
⁶ Federico Coz, T. S. (1995). MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRAULICAS: una guía para el desarrollo de proyectos. Lima,; ITDG.

2.2 TURBINA FRANCIS

Es una turbina de reacción de flujo radial y admisión total, muy utilizados para caídas de agua (entre 25 m y 350 m) de altura, equipadas con un distribuidor de alabes regulables y un rodete de alabes fijos. En las turbinas Francis la admisión es radial y la salida es axial, generalmente están en una cámara espiral como caracola de presión como se ve en la Figura 7, diseñada para que la velocidad tangencial del agua sea constante. El distribuidor tiene unos alabes directrices móviles, cuya función es regular el caudal que entra al rodete y el ángulo que el agua que incide en los alabes.

Los alabes distribuidores giran sobre su eje, mediante bielas conectadas a un gran anillo exterior que sincroniza el movimiento de todo ellos. Estos alabes pueden utilizarse para cerrar la entrada del agua en caso de una emergencia. Por esta razón es necesario tener una válvula mariposa para evitar la entrada de más agua a la espiral. El rodete transforma la energía hidráulica en energía mecánica y el agua es devuelta por el cono difusor.⁷

Figura 7. Caracola de presión



Fuente: Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica ESHA – 2006.
p 176.

⁷ European Small Hydropower Association. (s.f.). Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica. ESHA - 2006.

2.3 GENERADOR

El generador tiene como función transformar en energía eléctrica la energía mecánica que proviene de la turbina. Consta de un rotor o campo magnético acoplado al eje de la turbina que gira en el estator, posee un alternador trifásico de corriente alterna.

2.3.1 Alternador síncrono. Son equipados con un sistema de excitación asociado con un regulador de tensión para que antes de entrar en la red, genere energía eléctrica con el mismo voltaje, frecuencia y ángulo de desfase, así como la energía reactiva requerida por el sistema una vez conectado⁸.

2.4 EXCITATRIZ

Para proporcionar excitación a un generador síncrono se hace circular una corriente continua por el circuito de los polos inductores, lo que representa entre el 0,5% al 1% de la potencia útil del generador. Aunque la tendencia es a utilizar excitatrices estáticas.

2.4.1 Excitatriz estática. La corriente de la excitación se extrae de los terminales del generador principal mediante un transformador. Esta corriente se rectifica mediante un equipo electrónico y se inyecta en el bobinado de excitación rotórica del generador, gracias a un sistema de escobillas y anillos rasantes. Cuando el generador arranca no hay tensión en bornes y por lo tanto no se dispone de corriente de excitación. Los magnetismos remanentes, ayudados si es necesario por una batería, permiten iniciar el funcionamiento, que se normaliza inmediatamente en cuanto la tensión en bornes alcanza un valor modesto.

⁸ *Ibíd.*, p. 10.

Estos equipos exigen menos mantenimientos, tienen buen rendimiento y la velocidad de respuesta del generador, ante las oscilaciones de tensión, es muy buena.

2.5 REGULACIÓN DE TENSIÓN Y SINCRONIZACIÓN

El generador arranca en vacío esperando que la velocidad de la turbina aumentará gradualmente. El generador se sincroniza con la red igualando con la red las tensiones eficaces, frecuencias, desfases y sentido de rotación. Cuando el generador alcanza la velocidad máxima de operación, se arranca la excitación hasta igualar la tensión entre barras.

2.6 CONTROL DE TURBINA

Las turbinas se diseñan a ciertos parámetros como altura y caudal. Cualquier variación debe ser compensado con las maniobras de ciertos componentes como los álabes, válvulas y compuertas, para mantener un caudal contante.

El parámetro a controlar es la velocidad del rodete, relacionando directamente con la frecuencia existen dos enfoques para regular la velocidad: variar el caudal de entrada a la turbina o disipar el exceso de potencia eléctrica en bancos de resistencias⁹.

2.6.1 Regulador de velocidad. Un regulador de velocidad consta en esencia de un sensor que detecta cualquier desviación de la velocidad con respecto al punto de consigna y un dispositivo que amplifica la señal transmitida por el sensor, para que ordene a un servomotor que accione los mecanismos que controlan el paso del agua a la turbina, manteniendo constante la velocidad y por tanto la frecuencia.

⁹ *Ibíd.*, p. 11.

En una turbina Francis, en la que se puede cortar el paso del agua cerrando los alabes del distribuidor, los mecanismos del servomotor tienen que ser muy robustos, para poder vencer la reacción del agua y los rozamientos mecánicos en los ejes, y para mantener cerrados los alabes del distribuidor¹⁰.

2.7 MODOS DE FALLA

El objetivo del análisis de falla es identificar las funciones o para que fue diseñado cada componente y propósito, modos de fallas potenciales a que producto o proceso afecta, los modos de fallas se pueden enumerar:

- Falla oculta
- Falla funcional
- Falla catastrófica
- Aleatorias
- Desgaste
- Falla por diseño.

Según SAE JA 1012 se define función como “lo que el usuario desea que realice un activo físico o sistema”¹¹. Los activos pueden tener dos tipos de funciones como:

- Función primaria: la razón por la cual la compañía adquirió el activo.
- Función secundaria: otras funciones que desarrolle el activo.

2.7.1 Falla funcional. Es cuando un activo está inhabilitado para ejecutar su funcionamiento estándar o que opera en un rango no deseado.

¹⁰ Ibid., p. 12.

¹¹ (Kevin Riaño Molina, L. D. (2017). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM PARA EL SISTEMA DE AIRE Y GASES DE CALDERA DE LA CENTRAL TERMOGUAJIRA, GECELCA SA E.S.P. Bucaramanga: Especialización en gerencia de mantenimiento.

2.7.2 Efecto de falla. Según SAE JA 1012 se define como “es lo que ocurre cuando ocurre la falla” es el resultado cuando ocurre la falla, como se evidencia y experimenta el activo.

2.7.3 Consecuencia. Según SAE JA 1012 lo define como “efectos que puede provocar un modo de falla o falla múltiple” se puede clasificar de la siguiente manera:

- Consecuencias de las fallas ocultas.
- Consecuencias ambientales y para la seguridad.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.¹²

2.8 RCM

El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.¹³

2.8.1 Las siete preguntas básicas del RCM

El RCM está conformado por las siguientes preguntas:

- Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional
- De qué manera falla en satisfacer dichas funciones
- Cuál es la causa de cada falla funcional
- Que sucede cuando ocurre cada falla
- En qué sentido es importante cada falla
- Que puede hacerse para prevenir o predecir cada falla
- Que debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada¹⁴

¹² *Ibíd.*, p. 10.

¹³ MOUBRAY J. (2004) MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM II.

¹⁴ *Ibíd.*, p. 305.

temperaturas de la unidad. Cualquier tendencia al cambio de temperatura debe ser objeto de estudio.

Las temperaturas del estator deben ser calibradas por instrumentos de medición, registros, conectado a un sistema SCADA con anunciador de alarmas. Tener conocimiento cual es el parámetro de excitación y cuál es la temperatura optima de operación.

3.1.2 Cojinetes o rodamientos. Los rodamientos son un factor determinante para la operación del hidrogenerador, es donde tiene ensamblado el sistema de transmisión y otros equipos mecánicos.

Con los Cojinetes de empuje se debe tener en cuenta las recomendaciones del fabricante junto con otros equipos mecánicos, para el caso de los hidrogeneradores verticales posee unos patines pivotados apoyado con unos resortes porque estos cojinetes deben soportar el peso y esfuerzo de la rotación para una buena práctica de operación se debe tener en cuenta:

- Nivel de aceite.
- Verificar el flujo para la refrigeración.
- Monitorear las temperaturas.
- Mantener el aceite limpio.

La mayoría de los hidrogeneradores verticales están equipados con niveles de aceites alto y bajo, equipado para dar alarma y apagar en caso de una sobretemperatura.

Después del arranque de la máquina, el cojinete funciona a una temperatura constante en cualquier variación significa que hay un contacto metal-metal.

3.1.3 Arranque de máquina. Antes de la apertura de la compuerta donde entra el agua a la turbina se deben encender los equipos donde se bombea la lubricación a alta presión, donde lleva el flujo de aceite a los cojinetes de empuje la mayoría tiene un sistema de bombeo, liberar la máquina del freno mecánico.

Cuando el grupo este en servicio seguir los pasos recomendados, generalmente luego de dar la apertura de la válvula principal, se da el arranque par que el aceite llegue a los componentes a lubricar. Al llegar a las rpm nominal se excita y verificar las temperaturas de los cojines.

3.1.4 Sincronización. El proceso de sincronización no tiene norma específica, pero los generadores están diseñados para resistir las corrientes, fuerzas mecánicas. En el momento de iniciar la sincronización se debe tener en cuenta el ángulo de desfase, voltaje y frecuencia. Para luego dar cierre al interruptor de salida o de máquina.

Para dar el cierre del interruptor se debe tener en cuenta un tiempo considerable para que para que el generador se sincronice con los tres parámetros mencionados.

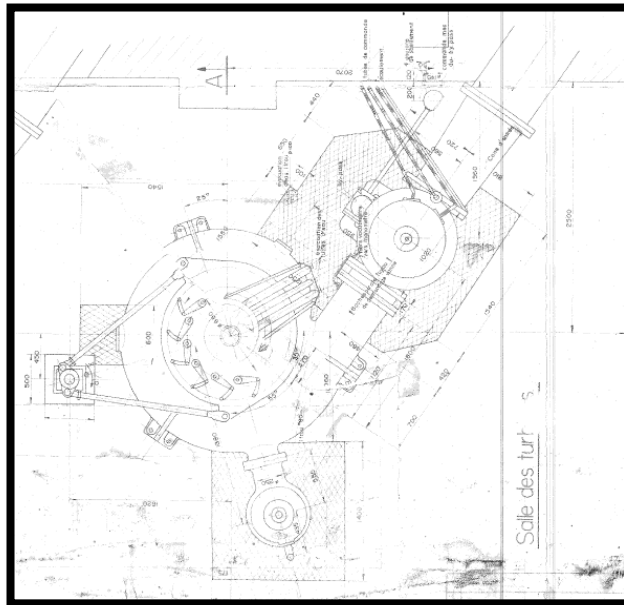
3.1.5 Arranque después de un mantenimiento total o tiempos grandes de paro. Después de terminar un mantenimiento total u overhaul para dar el arranque se debe hacer una revisión minuciosa de la máquina y equipos asociados. Verificar lo mantenimiento preventivos, verificar los equipos auxiliares como interruptores, relés de protección, disparos, válvulas de control para devolver el generador en un estado confiable.

Se debe probar las resistencias de aislamiento de los bobinados del rotor antes de energizar la máquina, esta prueba se debe guardar para tener un histórico. Los procedimientos para la realización de las pruebas de aislamiento se encuentran en IEEE Std 43-1961 y la NEMA MG5.2-1972 instalación de generadores hidráulicos o

sistemas de bombeo, guía para el mantenimiento del aislamiento para grandes maquinarias rotatoria es ANSI c 50.25-1972.

3.1.6 Recomendaciones para tasas de carga. Los hidrogeneradores tienen una facilidad de incrementar y ajustar carga, cuando es necesario satisfacer la demanda del sistema solo por la acción del gobernador y la cantidad de agua en los embalses y ríos.

Figura 9. Vista superior del regulador



Fuente: Planoteca hidrosueva

La primera consideración es la temperatura del bobinado del estator al aumento de carga. Un método conservador para el aumento de carga es dar pequeños incrementos de carga hasta llegar a la nominal en un tiempo de 45 a 60 minutos, para calentar las piezas del generador y evitar el choque térmico y aumentar la vida útil de los bobinados.

3.1.7 Parada de máquina. Las condiciones de parada son muy similares al de arranque se debe tener unas consideraciones.

- **Parada normal:** la primera secuencia es bajarle la carga gradualmente del generador luego desconectarlo del sistema abriendo el interruptor de salida, cerrar la válvula de entrada o principal para así el generador desacelera un 20 a 50%.

Mantener el sistema de regulación y lubricación encendidas para que el generador siga frenando, cerrando la válvula de BY-PASS y verificando que la válvula de alivio esté actuando.

- **Parada de emergencia:** la parada de emergencia se inicia cuando hay un rechazo de carga o una anomalía detectada en la operación, actúan unas protecciones que cierran automáticamente la válvula principal y accionando la protección de sobre-velocidad mecánica, enviando una orden para la apertura de la válvula de alivio.

4. ANALISIS DE MODO DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)

Modo de falla se define como cualquier eventualidad que pueda ocasionar una falla a un equipo, componente o sistema. Una manera de ilustrar es hacer un listado donde se muestra una taxonomía de los equipos, modos de falla que pueda causar, falla funcional y la consecuencia.

4.1 ¿POR QUÉ ANALIZAR Y QUE BENEFICIOS TRAE ANALIZAR LOS MODOS DE FALLA?

Las máquinas tienden a fallar muchas veces: un sistema, un grupo de máquinas o las líneas de producción pueden ocasionar interrupciones o accidentes laborales, que llevan al paro de la planta completa. Las pérdidas económicas pueden ser muy elevadas.

Muchos profesionales del mantenimiento no se sienten cómodos por que dedican mucho tiempo y esfuerzo a algo que creen no se ve reflejado. Los análisis de modo de falla para el personal de mantenimiento es un esfuerzo adicional que quita mucho tiempo y por tanto no terminan llevándolo a cabo.

Pero que beneficios trae AMFE:

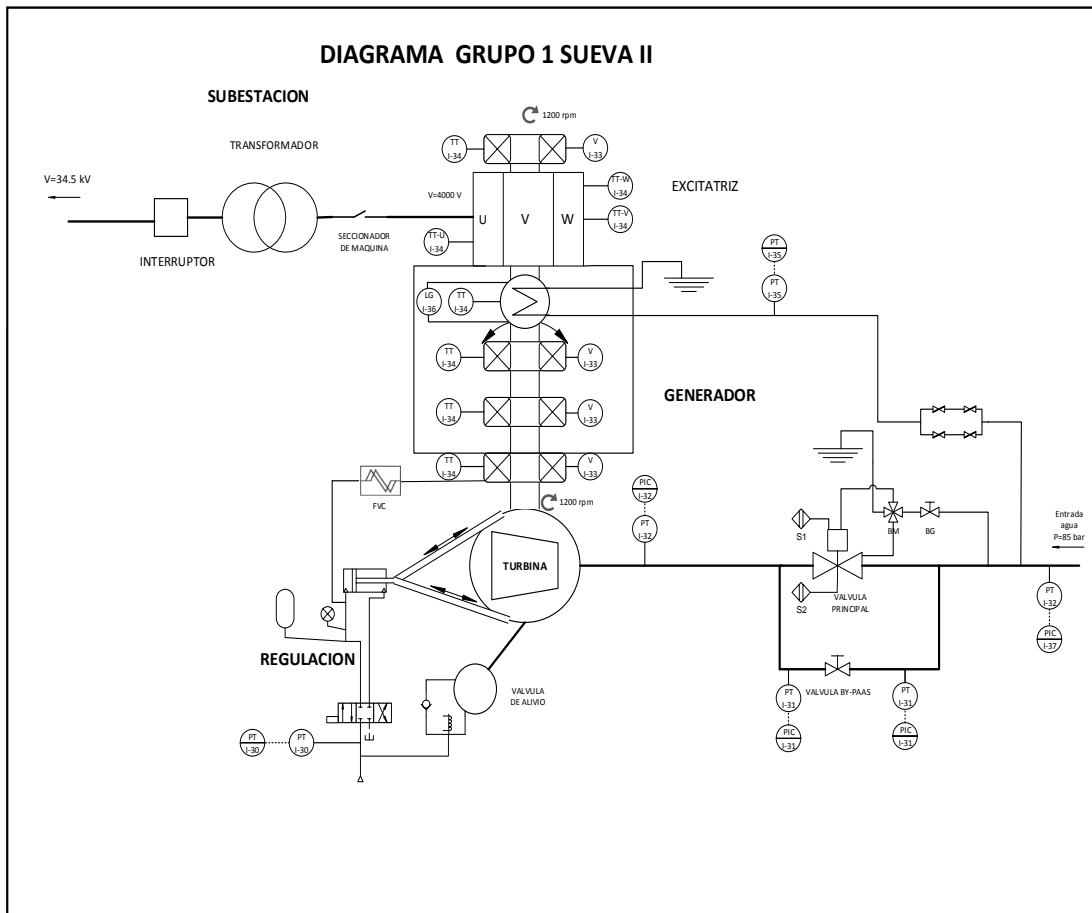
- Ayuda a consolidar un rediseño el equipo, algunas veces las máquinas fallan por el diseño que se acopla al sistema que esté operando.
- Reduce los tiempos muertos de los equipos por fallas, ayuda a detectar posibles eventos o situaciones donde afecta el activo.

- Reduce costos por pérdidas en las líneas de producción, el paro de la maquinaria afecta el servicio o producto de la compañía que lo deja en desventaja con la competencia.
- Mejora los procedimientos de montaje y operación de la maquinaria.

4.2 FRONTERAS

La definición de la frontera se refiere a ¿de dónde? y ¿hasta dónde? Se cubrirá la metodología del RCM, en el GRUPO I de SUEVA II está representado como se ve en la figura 10.

Figura 10. Diagrama de proceso



Turbogenerador, sus principales componentes son:

- Tubo de presión
- Válvula principal
- Válvula BY-PASS
- Caracola de presión
- Válvula de alivio
- Sistema de regulación
- Rodete
- Rotor
- Generador
- Excitatriz
- Estator
- Celdas de control
- Celdas de media tensión
- Transformador de auxiliares
- Transformador de carga
- Interruptor
- Seccionador de barraje

En las siguientes figuras encontrará la delimitación de la máquina, el sistema no es compacto, varios componentes están ubicados en otros sectores de la planta.

Figura 11. Turbina



En la figura 11 se muestra la turbina ubicada en el sótano de la planta que puede visualizar la válvula principal, válvula de alivio regulador y el rotor.

Figura 12. Generador



En la figura 12 se muestra el generador que contiene el estator y la excitatriz.

Figura 13. Celdas de control



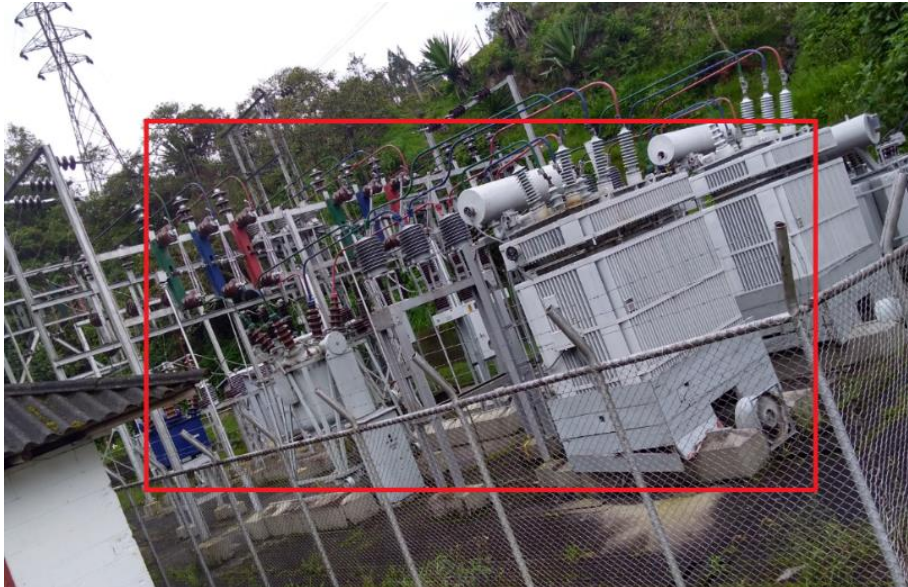
La figura 13 muestra las celdas de control, donde se visualiza la celda TRI-SEN, el sincronoscopio y la celda de control del grupo.

Figura 14. Celdas de media tensión



La figura 14 Muestra la celda de media tensión donde se visualiza la cuchilla, los fusibles y los transformadores de tensión (PT'S).

Figura 15. Subestación grupo I

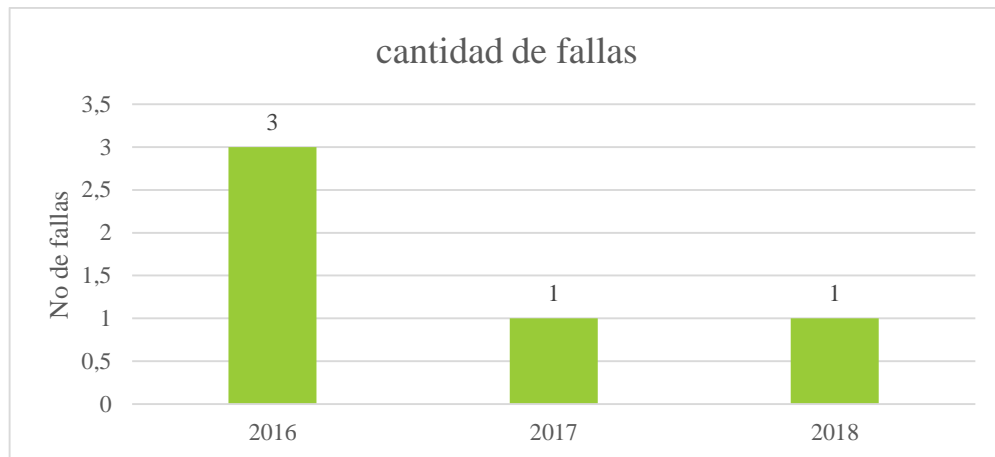


La figura 15 Es la subestación del Grupo 1 donde se encuentra el transformador, CT'S, PT'S, interruptor, seccionador de barra.

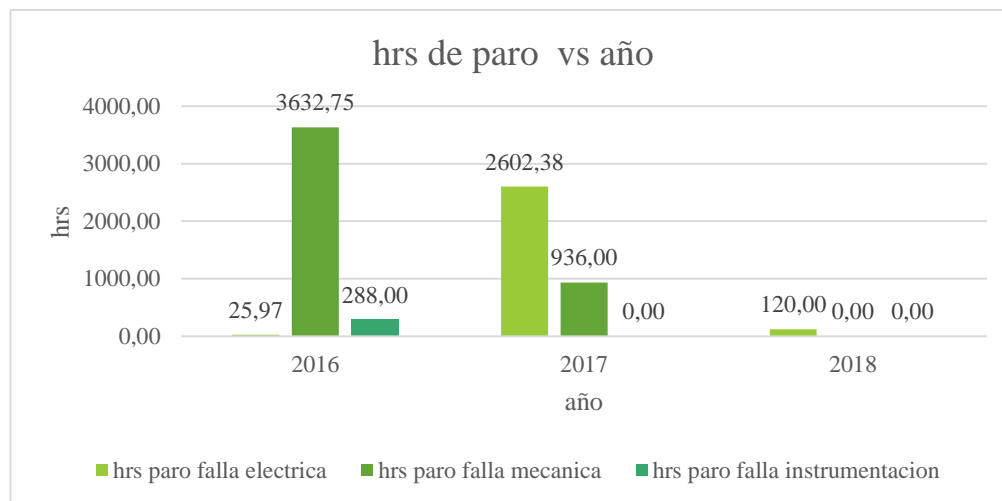
4.3 DATOS ESTADÍSTICOS DE PARADA

Estos datos son tomados de los archivos históricos de la planta de los últimos tres años, los mayores daños o fallas de los grupos de generación se presentan en los cojinetes de empuje por: desalineación, fallas en los sistemas de lubricación. Otros tipos de fallas común es polo a tierra por degradación de del aislamiento.

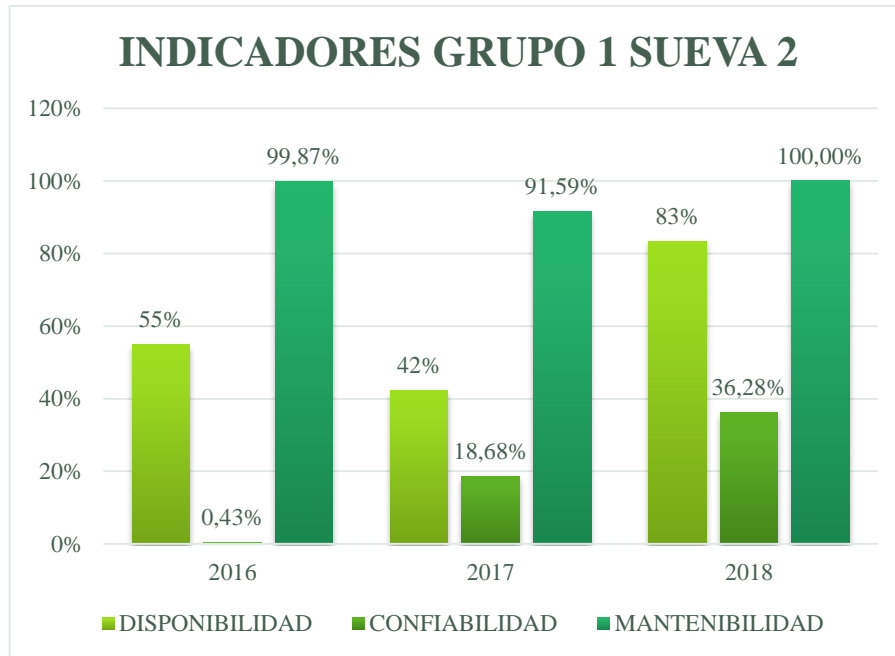
Gráfica 1. Cantidad de fallas



Gráfica 2. Horas de paro por año



Gráfica 3. Indicadores de mantenimiento



5. MODELO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO BASADO EN RCM

En la siguiente tabla encontrará la taxonomía, función y fallas funcionales del grupo de generación.

Tabla 1. Taxonomía y modos de falla de turbina


		SISTEMA: GRUPO 1 DE GENERACION			SUBSISTEMA: TURBINA	
		PLANTA: SUEVA 2			FECHA DE ACTUALIZACION:	
COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN	PARAMETRO	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)
valvula principal VP	sello fijo sello movil empaquetadura del embolo valvula de mando	permitir o restringir el total paso del agua del tubo de presion a la caracola	P= 18,5 Bar	1 no dar apertura y/o cierre total para el paso del agua	a falla en valvula de mando b desgaste en los sellos	a cierre o apertura parcial del agua b fugas internas de agua
valvula BY-PASS VBP	embolo sello movil motor sello fijo volante de operación	permite el paso de agua del tubo de presion a la caracola perpendicularmente	P= 18,5 Bar	1 no dar apertura y/o cierre total para el paso del agua	a falla del embrague b falla del volante c falla en el indicador de apertura y cierre d desgaste de los sellos	a no permite la operación del equipo b no presuriza la caracola c lectura erronea mala operación d vaciado de tuberia de presion
caracola o espiral de presion CEP	sello de agua uniones soldadas presostato	distribuye el agua proveniente del BY-PASS y de la valvula principal al rodete	P= 18,5 Bar	1 no canaliza el agua proveniente de la valvula principal y BY-PASS	a corrosion b desgaste por cavitacion c erosion abrasiva d descalibracion del presostato	a fugas de agua en sala de maquinas b daño en el rodete, por choque con las tapa superior c lectura erronea mala operación
valvula de alivio VA	campana sello fijo sello movil eje piston	permite el paso del agua de la caracola al canal de descarga en caso de parada de emergencia	P-> 18,5 bar	1 no da apertura cuando hay parada de emergencia	a ruptura del empaque b falla en el solenoide	a sobrevelocidad en el rodete y daños en el rotor b el skid hidraulico no trabaja a la presion requerida
transmision TR	rodete eje turbina espejos cojinete turbina	convertir la energia hidraulica en energia mecanica	n=1200 rpm	1 no gira a las rpm indicadas	a desalineacion b vibraciones	a daños en el cojinete de turbina b daños en el rodete
lubricacion LB	cuba dinamica intercambiador de calor	lubricar y mantener a temperatura de operación el cojinete de turbina	Tmax= 52 C	1 no lubrica y refrigera 2 no distribuye aceite al cojinete	a suciedad en el aceite b fugas por desajustes en la cuba	a desgaste en el babi del cojinete de turbina

Tabla 2. Taxonomía y modos de falla sistemas de regulación


		SISTEMA: GRUPO 1 DE GENERACION			SUBSISTEMA: REGULACION	
		PLANTA: SUEVA 2			FECHA DE ACTUALIZACION:	
COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FUNCION	PARAMETRO	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)
centralita (SKID-HIDRAULICO) CSH	motor electrico valvula solenoide de control	bombea aceite al sistema de lubricacion, actuador, valvula de alivio, disparo de sobrevelocidad.	Palta= 1400 PSI Pbaja= 300 PSI V=220 V Pacumulador= 1300 PSI	1 no bombea aceite a la valvula de alivio, proteccion de sobrevelocidad, sistema de lubricacion, actuador.	a falla en el motor electrico b falla en la bomba c daño en el spool de alta presion d daño en el spool de baja presion e despresurizacion del acumulador	a perdida del cojinete de turbina sobrevelocidad del rotor por no abrir la valvula de alivio y activar la proteccion de sobrevelocidad
	spool de presion de alta acumulador spool de presion de baja filtro de aceite manometro de baja guardamotor pulsadores disparo mecanico					
actuador ACT	cilindro valvula 3/4 doblebiela acople alabes móviles pedestal brazos regulables anillo de distribucion bioletas sellos biela fusibles tapas	dar movimiento al anillo de distribucion para el apertura y cierre de los alabes móviles que permiten el paso del agua proveniente de la caracola al rodete.		1 no da el movimiento para el apertura y cierre de los alabes móviles	a falla del cilindro b falla de la vlvula 3/4 c ruptura de la biela fusible d descalibracion de los alabes e cavitacion f corrosion g descalibracion de la curva de regulacion	a no regula la velocidad del rotor perdida de la capacidad operacional

Tabla 3. Taxonomía y modos de falla del generador


		SISTEMA: GRUPO 1 DE GENERACION			SUBSISTEMA: GENERADOR	
		PLANTA: SUEVA 2			FECHA DE ACTUALIZACION:	
COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FUNCION	PARAMETRO	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)
rotor ROT	bobinado eje intermedio cojinete intermedio cojinete superior cuba dinamica superior cuba dinamica inferior volantes	genera el campo magnetico	n=1200 rpm Tmaxcoint= 58 C Tmaxcosup= 50 C	1 rotor-tierra	a polo a tierra por degradacion del aislamiento	a paro total de la maquina
lubricacion LUB	valvulas de paso serpentin tuberia pads muñon Intercambiador de calor tanque de aceite inferior	lubricar y mantener a temperatura de operación el cojinete intermedio y superior.	Tmaxcoint= 58 C Tmaxcosup= 50 C	1 no lubrica y refrigera	a degradacion del babi de los cojinetes intermedio y superior b impuresas en el intercambiador de calor	a daño en el cojinete intermedio y superior
excitatriz EXT	aisladores cables de potencia escobillas colectores	alimenta al rotor del generador de corriente continua y controla la potencia activa.	V= 4000 V I=138 A	1	a escobillas en mal estado b degradacion del bobinado	a el grupo no entra en operación
estator EST	menzula superior bobinado sello superior sello inferior menzula inferior	convertir la energia electromagnetica en energia electrica trifasica	0 - 4000 V	1 no convierte la energia electromagnetica en energia electrica trifasica	a estator a tierra por falla en aislamiento en las bobinas, humedad, inereso de aceite. b falta de voltaje proveniente del sistema de excitación c falta de voltaje por falla en sistema de auxiliares	a generador sale de servicio b degrada el aislamiento y generador sale de servicio c no hay campo magnetico de induccion d no hay tension inicial para el proceso de excitación e generador fuera de servicio

Tabla 4. Taxonomía y modos de falla de la celda de media tensión



		SISTEMA: GRUPO 1 DE GENERACION			SUBSISTEMA: CELDAS DE MEDIA TENSION	
		PLANTA: SUEVA 2			FECHA DE ACTUALIZACION:	
COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN	PARAMETRO	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)
celda de control CC	sincronoscopio rele G30 control de excitacion	dar señales para la paertura y cierre de la valvula principal, excitar y meterla en el sistema.	V=220 V	1 no indica señales 2 no anuncia l armas, no dar señal para operar	a cables sueltos b equipo desprogramado	a el grupo no entra en operación
TRI-SEN TS	tarjeta electronica display	dar señal de arranque y parada de maquina y regula la potencia.	V=220 V	1 no regula carga no da arranque y parada del grupo	a cables sueltos, cables sulfatados. b fusibles quemados d descalibracion	a el grupo no entra en operación
cuarto de baterias CB	baterias cargador de baterias	alimenta los mandos en DC de las celdas de control, 24 hras los 365 dias del año.	V=30 Vdc cargador V=220 Vac	1 no mantiene la tension de alimentacion a los equipos de control y proteccion en caso de ausencia de tension de auxiliares por 8 hrs	a no hay tension de salida y de corriente, baterias descargadas. c altas temperaturas en las baterias	a El equipo se queda sin protecciones electricas, mandos de control en caso de ausencia de tension en la planta.
transformador de auxiliares TA	bujes seccionador de maqui devanados PT'S fisibles	transforma y mide el voltaje de salida, proteje a la sobretension	4000-220 V	1 no transforma a la relacion establecida	a fugas de aceite b porcelanans en mal estado, mal contacto en los conectores	a no alimenta al cargador de baterias y a las instalaciones de 110 V,220 V, 440 V

Tabla 5. Taxonomía y modos de falla de subestación

		SISTEMA: GRUPO 1 DE GENERACION			SUBSISTEMA: SUBESTACION	
		PLANTA: SUEVA 2			FECHA DE ACTUALIZACION:	
COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN	PARAMETRO	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)
interruptor INT	resorte motor electrico mandos electromecan	permite el paso de la energia del transformador del seccionador y viceversa.	34500 V	1 no da la apertura y cierre	a resorte mal cargado falla en los mandos electromecanicos	a no permite la operatividad del equipo
seccionador de barra SECB	contactos eje conexión puesta tierra puntos de conexión	transmite la potencia eléctrica, que su contacto sea en forma visual.	34500 V	1 no hace contacto visual	a falla mecanica en el mecanismo de operación b falla mecanica en el varillaje c suciedad en los contactos d corrosion en la estructura	a el equipo GRUPO 1 no puede operar b sobretensiones
transformador TRA	ventilador bucholds tanque de expansion devanados rele de sobretemperatura bujes de alta bujes de baja proteccion de sobretemperatura	transforma la energia proveniente del generador al interruptor y viceversa.	4000 - 34500 V	1 no realiza la transformacion de voltaje al parametro establecido	a falla en las protecciones mecanicas b falla en las proteccion electricas c falla en la ventilacion mecanica d degradacion en el aceite dielectrico e bujes en mal estado f fugas de aceite g corrosion de la estructura h factor de potencia fuera de lo norm i mal estado de los equipos de descarga	a explosion b equipo fuera de servicio c disparo por sobretemperatura d disparo por sobretemperatura e conato de incendio por arco electrico f ingreso de humedad g equipo fuera de servicio h conato de incendio por arco electrico i disparo por sobretension conato de incendio

5.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es un método cuantitativo donde se jerarquiza los componentes del sistema para la toma de decisiones más acertadas y el

direccionamiento de los recursos y esfuerzos del grupo de mantenimiento que contribuye la mejora de los indicadores, la criticidad se define por la siguiente fórmula matemática.

$$\textit{Criticidad} = \textit{frecuencia} * \textit{consecuencia}$$

Ecuación 1: Criticidad

Esta ecuación va asociada a la frecuencia de las fallas presentada en el sistema con la consecuencia o impacto que repercute como: impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento, impacto a la seguridad del ambiente e higiene, tiempos de reparación.

5.1.1 Evaluación de la criticidad. En la tabla 6 se ilustrará los de evaluación:

- Frecuencia de las fallas: cantidad de veces han fallado los componentes.
- Impacto operacional: en qué nivel se puede afectar la operación y producción del sistema.
- Flexibilidad operacional: si hay repuestos disponibles en el almacén de la compañía.
- Costos de mantenimiento: valor por la ocurrencia de cada falla.
- Impacto en seguridad en el ambiente e higiene: si afecta al entorno como contaminación de ríos, lagos, bosque y/o cuanto puede afectar a la integridad física de la planta y personal.
- Tiempo de reparación: tiempo que dura en la reparación de la falla.

Tabla 6. Criterios de evaluación

frecuencia de fallas		costo de mantenimiento	
mayor a 5 fallas/ año	4	mayor a \$ 50.000.000	4
entre 5-3 fallas/año	3	entre \$50.000.000 - 10.000.000	3
entre 3-1 fallas/año	2	menor de \$10.000.000	1
menos 1 falla /año	1		
		impacto en seguridad ambiente higiene	
impacto operacional		afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificacion a entes externos a la organización	4
pérdida total de generación parada del sistema o subsistema y tiene repercucion en otros sistemas	4 3	afecta el ambiente / instalaciones	3
impacta en niveles de generacion y operación	2	afecta las instalaciones causando daños severos	2
no genera ningún efecto significativo sobre operaciones y generacion	1	no provoca ningun tipo de daños a personas, instalaciones o el ambiente	1
flexibilidad operacional		tiempo de reparacion	
no existe opcion de generacion y no hay repuesto	4	mayor a 30 dias	5
hay opción de repuestos compartido/ almacen	3	entre 30 a 20 dias	4
repuesto disponible	1	entre 20 a 10 dias	3
		entre 10 a 5 dias	2
		entre 5 a 1 dia	1

5.1.2 Matriz de criticidad. En la siguiente tabla se evidencia la matriz de criticidad donde muestra una cuantificación para jerarquizar los componentes del sistema.

Tabla 7. Matriz de criticidad

FRECUE NCIA	4	32	80	128	168	220	260	300	360	480	1400
	3	24	60	96	126	165	195	225	270	360	1050
	2	16	40	64	84	110	130	150	180	240	700
	1	8	20	32	42	55	65	75	90	120	350
		8	20	32	42	55	65	75	90	120	350
CONSECUENCIA											
CRITICO											
CRITICIDAD MEDIA											
NO CRITICO											

5.1.3 Jerarquía de equipos. Con la matriz de criticidad se evalúan los componentes del turbogenerador y mediante la ecuación 2 se obtienen los resultados que se muestra en la tabla 8.

$$Consecuencia = FF * IO * FO * CM * IAH * TR$$

Ecuación 2: Consecuencia

- FF= frecuencia de falla.
- IO= impacto operacional.
- FO= flexibilidad operacional.
- CM=costo de mantenimiento.
- IAH= impacto ambiental HSE.
- TR= tiempo de reparación.

Tabla 8. Jerarquía de equipos

No	codigo	subsistema	componente	frecuencia de falla	impacto operacional	flexibilidad operacional	costo de mantenimiento	impacto ambiental HSE	tiempo de reparacion	CONSECUENCIA
1		turbina	valvula principal	1	4	4	3	1	4	192
2			valvula BY-pass	1	2	4	1	1	2	16
3			caracola o espiral de presion	1	4	4	3	3	4	576
4			valvula de alivio	2	2	3	1	1	3	36
5			trasmision	1	4	4	3	3	5	720
6			lubricacion	1	4	4	3	3	5	720
7		regulacion	centralita o SKID - hidraulico	1	4	3	1	1	3	36
8			actuador	1	2	3	3	1	4	72
9		generador	rotor	1	4	4	3	4	5	960
10			lubricacion	1	4	4	3	2	4	384
11			excitatriz	1	4	4	3	2	4	384
12			estator	1	4	4	5	2	5	800
13		celdas de media tension	celda de control	1	3	3	1	1	2	18
14			TRI-SEN	1	4	3	1	1	2	24
15			cuarto de baterias	2	3	3	1	1	1	18
16		subestacion	transformador de auxiliares	1	2	3	1	1	3	18
17			interruptor	1	4	4	3	2	4	384
18			seccionador de barra	1	4	4	3	3	4	576
19			transformador	1	4	4	4	4	5	1280

6. HOJA DE DECISIÓN

La hoja de decisión se usa para hacer una integración entre las consecuencias y tareas a realizar, tipos de mantenimientos, con qué frecuencia, el encargado de realizarlo y cuáles fallas son lo suficiente impactantes para hacer un rediseño y cuales componentes son más factibles llevarlos a la falla.

Tabla 9. Hoja de decisión RCMII estándar

referencia de información		evaluación de la consecuencia				H15		H25		Acción falta de			Tareas propuestas	intervalo inicial	realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4			

Fuente: Adaptada de libro: RCM II John Moubray página 203

La hoja de decisión está dividida en varias columnas donde a continuación se explicará que significa cada una:

- F: función
- FF: falla funcional
- FM: modo de falla

Las columnas H, S, E, O y N son registradas para registrar las respuestas respecto a las preguntas concernientes al modo de falla.

H1, H2 y H3 registra si ha sido seleccionada una tarea proactiva y que tipo de tarea, si hace necesario responder a la pregunta ¿a falta de? En las columnas H4 y H5, o la S4 son las que permite registrar esas respuestas.

Las últimas tres columnas registran la tarea seleccionada (si aplica), la frecuencia que se debe hacer, la columna de tarea propuesta es si se debe hacer un rediseño o si el modo de falla no necesita un mantenimiento programado.

La columna H1/S1/O1/N1 se usa para saber si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar al modo de falla a tiempo para evitar las consecuencias.¹⁵

La columna H2/S2/O2/N2 se usa para saber si se logró encontrar una tarea de reacondicionamiento programado para la prevención de fallas.

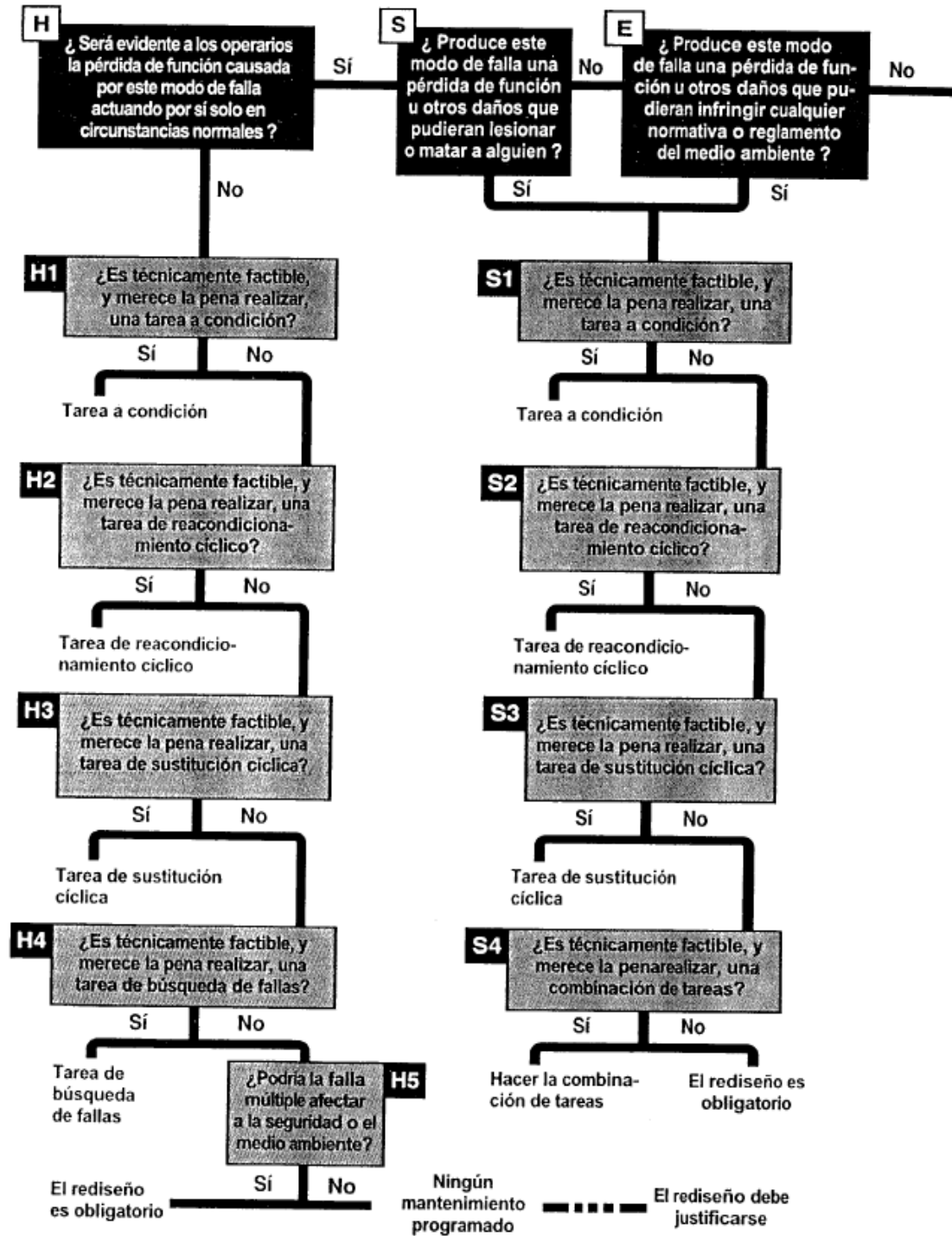
La columna H3/S3/O3/N3 se una si aplico y logro una tarea de sustitución cíclica para la prevención de fallas.

Las columnas H4, H5 y S4 se usa para responder la pregunta ¿a falta de?, solo se preguntan si todas las respuestas de las preguntas previas fueron NO.¹⁶

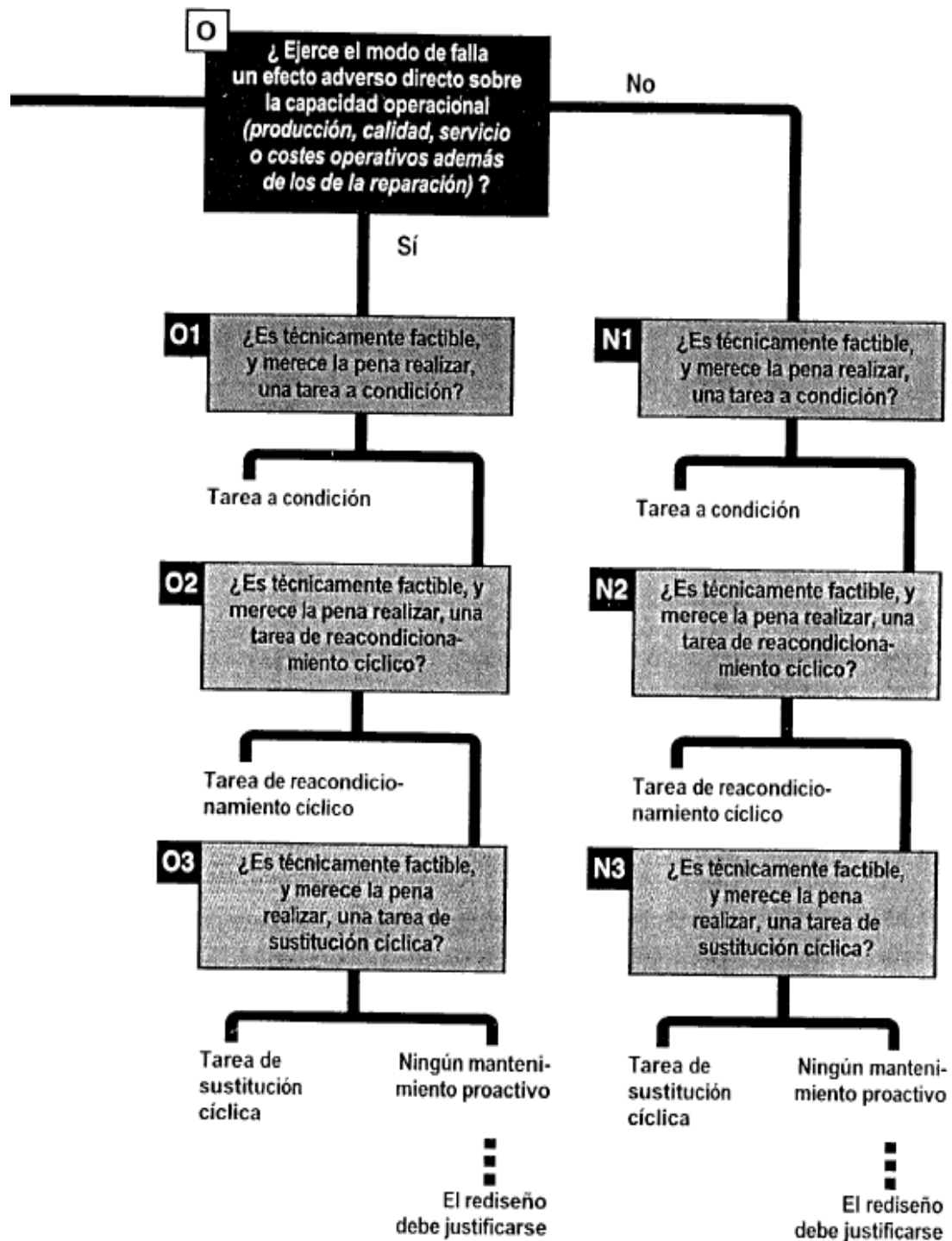
¹⁵ *Ibíd.*, p. 318.

¹⁶ *Ibíd.*, p. 320.

Figura 16. Diagrama de decisión de RCM II



Fuente: Libro Jhon Moubray, Pág. 204-205



Fuente: Libro Jhon Moubray, Pág. 204-205

Tabla 10. Hoja de decisión turbina

		SISTEMA: GRUPO 1 DE GENERACION											FACILITADOR:	FECHA:	HOJA:		
		SUBSISTEMA: TURBINA											Auditor:	FECHA:	de:		
HOJA DE DECISION RCM II																	
EQ	referencia de informacion			evaluacion de la consecuencia				H1S10	H2S20	H3S30	Accion falta de			Tareas propuestas	intervalo inicial	realizarse por	tipo de mantenimiento
	F	FF	FM	H	S	E	O	1N1	2N2	3N3	H4	H5	S4				
VP	1	1	a	S	N	N	S	S						inspeccionar si hay obstruccion en la tuberia y mandos electricos cambio de sellos y tratamiento anticorrosivo en la tuberia	semanal cada 5 años	operador mantenedor mto mecanico	ninguno condicion
	1	1	b	N				N	S								
VBP	1	1	a	S	N	N	S	S						inspeccionar el nivel de aceite lubricar tornillo sinfin inspeccionar el sistema de piñones	semanal semanal semestral	mto mecanico mto mecanico mto mecanico	ninguno preventivo ninguno
	1	1	b	S	N	N	S	S									
	1	1	c	S	N	N	S	S									
	1	1	d	N													
CEP	1	1	a	S	S			S						cambio de sellos y tratamiento anticorrosivo en la tuberia aplicación de recubrimiento anticorrosivo interno y externo aplicación de recubrimiento e inspeccion de espesores aplicación de pinturas en las superficies	semestral anual 2 años anual	mto mecanico mto mecanico mto mecanico	condicion preventivo preventivo
	1	1	b	N				S									
	1	1	c	S				S									
	1	1	d	S	N	N	S	S									
VA	1	1	a	N				S						monitoreo del equipo para el cambio verificar las presiones si estan en los parametros	diario	operador mantenedor	ninguno
	1	1	b	S	N	N	S	N	N	S							
TR	1	1	a	N				S						control metrologico de la alineacion monitoreo de alineacion y balanceo del rodete	anual anual	mto mecanico mto mecanico	condicion preventivo
	1	1	b	N				S									
LB	1	1	a	N				S						realizar el analisis de aceite y eliminar focos de suciedad verificar si hay obstruccion en las tuberias de lubricacion	trimestral diario	mto mecanico mto mecanico	preventivo ninguno
	1	1	b	N				S									

Tabla 10. Hoja de decisión sistema de regulación

		SISTEMA: GRUPO 1 DE GENERACION											FACILITADOR:	FECHA:	HOJA:		
		SUBSISTEMA: REGULACION											Auditor:	FECHA:	de:		
HOJA DE DECISION RCM II																	
EQ	referencia de informacion			evaluacion de la consecuencia				H1S10	H2S20	H3S30	Accion falta de			Tareas propuestas	intervalo inicial	realizarse por	tipo de mantenimiento
	F	FF	FM	H	S	E	O	1N1	2N2	3N3	H4	H5	S4				
CSH	1	1	a	S	N	N	S	S						monitorear temperaturas, analisis de termografia analisis de aceite, monitorear temperaturas, analisis termografica cambio del componente en cada mantenimiento total cambio del componente en cada mantenimiento total revision de presiones	3 meses 3 meses anual anual anual	operador mantenedor operador mantenedor mto mecanico mto mecanico contratista	preventivo preventivo preventivo preventivo ninguno
	1	1	b	S	N	N	S	S									
	1	1	c	N				N	N	S							
	1	1	d	N				N	N	S							
	1	1	e	N				N	S								
ACT	1	1	a	N				S						monitorear si hay presencia de fugas analisis de aceite, monitorear presencia de fugas. tener una biela de repuesto cuando falle aplicar grasa periodicamente monitoreo de desgaste de alabes para la reparacion aplicación de recubrimientos calibracion de curva de disparo en tarjeta electronica	diario 3 meses fallo mensual anual anual semestral	operador mantenedor operador mantenedor operador mantenedor mto mecanico mto mecanico contratista mto electronico	ninguno preventivo correctivo preventivo condicion preventivo condicion
	1	1	b	S				S									
	1	1	c	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N				
	1	1	d	S	N	N	S	S									
	1	1	e	S				S									
	1	1	f	S	N	N	S	S									
	1	1	g	N				S									

Tabla 11. Hoja de decisión regulador

		SISTEMA: GRUPO 1 DE GENERACION											FACILITADOR:	FECHA:	HOJA:		
		SUBSISTEMA: GENERADOR											Auditor:	FECHA:	de:		
HOJA DE DECISION RCM II																	
EQ	referencia de informacion			evaluacion de la consecuencia				H1S10	H2S20	H3S30	Accion falta de			Tareas propuestas	intervalo inicial	realizarse por	tipo de mantenimiento
	F	FF	FM	H	S	E	O	1N1	2N2	3N3	H4	H5	S4				
ROT	1	1	a	N				N	S					aplicación de pintura, cambio de aislamiento	3 años	contratista	programado
LUB	1	1	a	N				S						monitorear ruta de lubricacion y niveles de aceite analisis de aceite	diario 3 meses	operador mantenedor contratista	ninguno preventivo
	1	1	b	N				S									
EXT	1	1	a	S	S			S						monitorear desgaste para el cambio de escobillas. limpieza y pintura al bobinado	diario anual	operador mantenedor operador mantenedor	condicion preventivo
	1	1	b	N				S									
EST	1	1	a	S	N	N	S	S						inspeccionar la presencia de fugas de aceite proveniente del cater, intalar calefactores antes del arranque cuando la maquina lleve 8 dias de parada. limpieza de los puntos de conecion del transformador de auxiliares y medir la resistencia de aislamiento de los cables de potencia	semanal semestral	operador mantenedor	ninguno preventivo
	1	1	b	S	N	N	S	S									

Tabla 12. Hoja de decisión celda de media tensión



		SISTEMA: GRUPO 1 DE GENERACION											FACILITADOR:	FECHA:	HOJA:	
		SUBSISTEMA: CELDAS DE MEDIA TENSION											Auditor:	FECHA:	de:	
HOJA DE DECISION RCM II													intervalo inicial	realizarse por	tipo de mantenimiento	
EQ	referencia de informacion			evaluacion de la consecuencia				H1S10 1N1	H2S20 2N2	H3S30 3N3	Accion falta de					
	F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4	Tareas propuestas					
CC	1	1	a	S	N	N	S	S					inspeccion de cables monitorear el inspeccional programacion de los equipos de proteccion.	diario	operador mantenedor	ninguno
	1	2	b	S	N	N	S	S						trimestral	mtto electronico	preventivo
TS	1	1	a	S	N	N	S	S					inspeccion de cables revisar estado del fusible antes del arranque	diario	operador mantenedor	ninguno
	1	1	b	S	N	N	S	S						diario	operador mantenedor	ninguno
CB	1	1	a	S	N	N	S	S					revisar el nivel del agua en las baterias. analisis termografico	mensual	operador mantenedor	ninguno
	1	1	b	S	N	N	S	S						trimestral	mtto electrico	preventivo
TA	1	1	a	S	N	N	S	S					inspeccion visual cambio de porcelanas en los mantenimientos totales	semanal	operador mantenedor	ninguno
	1	1	b	S	N	N	S	S						anual	operador mantenedor	ciclica

Tabla 23. Hoja de decisión subestación

		SISTEMA: GRUPO 1 DE GENERACION											FACILITADOR:	FECHA:	HOJA:	
		SUBSISTEMA: SUBESTACION											Auditor:	FECHA:	de:	
HOJA DE DECISION RCM II													intervalo inicial	realizarse por	tipo de mantenimiento	
EQ	referencia de informacion			evaluacion de la consecuencia				H1S10 1N1	H2S20 2N2	H3S30 3N3	Accion falta de					
	F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4	Tareas propuestas					
INT	1	1	a	N				N	N	S			calibracion o cambio de resorte	5 años	contratista	sustitucion ciclica
SECB	1	1	a	N				N	S				lubricacion de los rodamientos	semestral	mtto electrico	preventivo
	1	1	b	N	N	N	S	S					inspeccionar el estado del varillaje para el cambio	semestral	mtto electrico	ninguno
	1	1	c	S	N	N	S	S					limpiza y ajuste en los contactos	semestral	mtto electrico	a condicion
	1	1	d	S	N	N	S	S					aplicación de pintura anticorrosiva	anual	mtto electrico	preventivo
TRA	1	1	a	N				N	S				calibracion de instrumentos y en celdas de control	anual	mtto electronico	preventivo
	1	1	b	N				N	S				calibracion de instrumentos y en celdas de control	anual	mtto electronico	preventivo
	1	1	c	N				N	S				inspeccion de instrumentos en las celdas de control	semestral	mtto electronico	preventivo
	1	1	d	N				N	S				analisis de aceite para el cambio o filtro prensado	semestral	contratista	condicion
	1	1	e	S	S			S					limpieza y/o cambio de porcelanas	semestral	mtto electrico	condicion
	1	1	f	S	S			N	S				adicion de teflon o sellantes	semestral	mtto electrico	preventivo
	1	1	g	S	S			N	S				aplicación de pintura anticorrosiva	anual	mtto electronico	preventivo
1	1	h	N				N	S				calibracion de instrumentos y en celdas de control	anual	mtto electrico	preventivo	
1	1	i	N				N	S				medicion de resistencia e inspeccion visual	anual	mtto electrico	preventivo	

7. CONCLUSIONES

Para lograr una implementación del RCM satisfactoria, se debe realizar una transición donde se brinden capacitaciones al personal de planta para la recolección de los datos de falla pertenecientes a los activos y así obtener una mejor adaptación al plan de mantenimiento.

El método AMFE (análisis de modo de falla y sus efectos), fue una técnica útil para actualizar la información del grupo de generación ya que en la planta las hojas de vida de los equipos están desactualizadas y logra de esta manera mejorar el plan existente.

Según el análisis de criticidad, cualquier falla en alguno de los componentes del grupo 1 de generación compromete la operación y se ve reflejado en los indicadores de mantenimiento, ya que los tiempos de parada son muy prolongados.

La aplicación del RCM deja abierta la posibilidad a la implementación de otra metodología de mantenimiento como TPM, donde se interactúa todas las dependencias de la compañía y áreas de conocimiento.

Con el diagrama de decisión se pudo identificar el resultado más deseable asignando tareas de mantenimiento a las personas adecuadas las cuales deben tomar la decisión indicada acorde el factor humano es el más involucrado, ya que tiene la responsabilidad en la recolección de la información de los modos de falla, inspección, monitoreo del activo y mantenimiento preventivo para así reducir las posibilidades de fallas inesperadas.

Con el diagrama de decisión se logra integrar las consecuencias con las tareas a realizar, asignando así un encargado idóneo para llevar a cabo un mantenimiento específico con cierta frecuencia, que a su vez es el responsable de tomar la decisión de realizar un rediseño o llevar el equipo a la falla.

BIBLIOGRAFIA

CEMEX, C. (1 de 10 de 2017). *NUUESTRA COMPAÑIA*. Obtenido de CEMEXCOLOMBIA: <http://www.cemexcolombia.com/NuestraEmpresa/NuestroEnfoque.aspx>

European Small Hydropower Association. (s.f.). *Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica*. ESHA - 2006.

Federico Coz, T. S. (1995). *MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRAULICAS: una guía para el desarrollo de proyectos*. Lima,: ITDG.

GASPAR, L. A. (2013). *ELABORACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDRAULICAS SUEVA I Y SUEVA II*. Bogota: Especializacion en gerencia de mantenimiento.

IEC 1116. (1992). *Electromechanical equipment guide for small hydroelectric installations*.

IEE 492-1974. (1981). *GUIDE FOR OPERATION AND MAINTENANCE OF HYDRO-GENERATORS*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Kevin Riaño Molina, L. D. (2017). *DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM PARA EL SISTEMA DE AIRE Y GASES DE CALDERA DE LA CENTRAL TERMOGUAJIRA, GECELCA SA E.S.P.* Bucaramanga: Especializacion en gerencia de mantenimiento.

MOUBRAY J. (2004) *MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD*
RCM II.

ANEXOS


FICHAS TECNICAS DE EQUIPOS DE CENTRAL GENERADORA SUEVA II.

ANEXO1 : BOCATOMA RIO JUQUIN.



S1-01

BOCATOMA DE RÍO JUIQUIN			
Descripción:	BOCATOMA DE CAPTACIÓN	Capacidad:	2.5 m3/sg
Id. Equipo:		Ancho de la rejilla:	1.4 mts
Fabricante:	DESCONOCIDO	Longitud de la rejilla:	15 mts
Tipo:	A FILO DE AGUA	Separación en la rejilla:	2 cm
Sección:	CAPTACIÓN RÍO JUIQUIN	Profundidad del canal:	0.8 mts - 1.25 mts
Ubicación:	ZONA DE JUIQUIN	# de compuertas:	1




Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 2: TANQUE DESARENADOR RIO JUIQUIN.



S1-02


TANQUE DESARENADOR DE RÍO JUIQUÍN			
Descripción:	DESARENADOR CON BY PASS	Capacidad:	3 m3/sg
Id. Equipo:		Diámetro partículas desarenadas:	0.30 mm
Fabricante:	DESCONOCIDO	Ancho del desarenador:	4.71 mts
Tipo:	FLUJO HORIZONTAL	Profundidad del desarenador:	1.8mts - 2.2 mts
Sección:	CAPTACIÓN RÍO JUIQUIN	Longitud del desarenador:	18 mts
Ubicación:	ZONA DE JUIQUIN	# de compuertas descargue:	3
		# de compuertas de entrada:	2
		# de compuertas de salida:	1



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 3: CANAL DE JUIQUIN


CANAL DE JUIQUIN			
Descripción:	CANAL DE CONDUCCIÓN CERRADO	Capacidad:	1.61 m ³ /sg
Id. Equipo:		Ancho del canal:	0.8 mts
Fabricante:	DESCONOCIDO	Profundidad del canal:	1.1 mts
Tipo:	TIPO RECTANGULAR Y TIPO BOVEDA AL FINAL	Longitud del canal:	1150 mt
Sección:	CAPTACIÓN RÍO JUIQUIN	# de compuertas descargue:	2
Ubicación:	ZONA DE JUIQUIN Y PANAMÁ		



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 4: BOCATOMA RIO SUCIO

BOCATOMA DE RÍO RUCIO			
Descripción:	BOCATOMA DE CAPTACIÓN	Capacidad:	1.4 mts
Id. Equipo:		Ancho de la rejilla:	1.5 mts
Fabricante:	DESCONOCIDO	Longitud de la rejilla:	7.95 mts
Tipo:	A FILO DE AGUA	Separación en la rejilla:	2 cm
Sección:	CAPTACIÓN RÍOS LETICIA	Profundidad del canal:	1.3 - 1.44 mts
Ubicación:	ZONA DE LETICIA	# de compuertas:	1



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 5: BOCATOMA RIO CARPATOS.

BOCATOMA DE RÍO CARPATOS			
Descripción:	BOCATOMA DE CAPTACIÓN	Capacidad:	1.24 m ³ /sg
Id. Equipo:		Ancho de la rejilla:	1.93 mts
Fabricante:	DESCONOCIDO	Longitud de la rejilla:	7.85 mts
Tipo:	A FILO DE AGUA	Separación en la rejilla:	
Sección:	CAPTACIÓN RÍOS LETICIA	Profundidad del canal:	1.18 - 1.34 mts
Ubicación:	ZONA DE LETICIA	# de compuertas:	1



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 6: CANAL DE PANAMA.


CANAL DE PANAMA			
Descripción:	CANAL DE CONDUCCIÓN	Capacidad:	
Id. Equipo:		Ancho del canal:	1 mts
Fabricante:	DESCONOCIDO	Profundidad del canal:	1.2 mts
Tipo:	ABIERTO RECTANGULAR	Longitud del canal:	
Sección:	CAPTACIÓN RÍOS LETICIA		
Ubicación:	ZONA DE PANAMÁ		



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 7: CANAL DE RÍOS LETICIA


CANAL DE RÍOS DE LETICIA			
Descripción:	CANAL DE CONDUCCIÓN	Capacidad:	1.98 m ³ /sg
Id. Equipo:		Ancho del canal:	1.1 mts
Fabricante:	DESCONOCIDO	Profundidad del canal:	1.2 mts
Tipo:	CERRADO Y ABIERTO DE FORMA RECTANGULAR	Longitud del canal:	2200 mts
Sección:	CAPTACIÓN DE RÍOS DE LETICIA		
Ubicación:	ZONA DE LETICIA Y PANAMÁ		



Fuente: Biblioteca hidrosueva.


ANEXO 8: CANAL DE RIO LETICIA ABIERTO.

CANAL DE RÍOS DE LETICIA			
Descripción:	CANAL DE CONDUCCIÓN	Capacidad:	
Id. Equipo:		Ancho del canal:	1.1 mts
Fabricante:	DESCONOCIDO	Profundidad del canal:	1.2 mts
Tipo:	ABIERTO RECTANGULAR	Longitud del canal:	140 mts
Sección:	CAPTACIÓN RÍOS LETICIA	# de rejillas:	1
Ubicación:	ZONA DE LETICIA		




Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 9: DESARENADOR LETICIA.

DESARENADOR DE LETICIA			
Descripción:	DESARENADOR	Capacidad:	
Id. Equipo:		Ancho del desarenador: 2 mts	
Fabricante:	DESCONOCIDO	Profundidad del desarenador: 0.7 mts - 3.15 mts	
Tipo:	FLUJO HORIZONTAL	Longitud del desarenador: 10 mts	
Sección:	CAPTACIÓN RÍOS LETICIA	# de compuertas descargue: 1	
Ubicación:	ZONA DE LETICIA		


Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 10: DESARENADOR PANAMA.

DESARENADOR DE PANAMÁ			
Descripción:	DESARENADOR CON BY PASS	Capacidad: 3 m ³ /sg	
Id. Equipo:		Diámetro partículas desarenadas: 0.40 mm	
Fabricante:	DESCONOCIDO	Ancho del desarenador: 7 mts	
Tipo:	FLUJO HORIZONTAL	Profundidad del desarenador: 2.45 mts - 3.1 mts	
Sección:	CAPTACIÓN RÍOS LETICIA	Longitud del desarenador: 30 mts	
Ubicación:	ZONA DE PANAMÁ	# de compuertas descargue: 3	
		# de compuertas de entrada: 2	
		# de compuertas de salida: 1	

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 11: TANQUE DE PRESION PANAMA.

TANQUE DE PRESIÓN				
Descripción:	TANQUE CON REBOSADERO LATERAL	Capacidad:		
Id. Equipo:		Ancho del tanque:		2 mts
Fabricante:	DESCONOCIDO	Longitud del tanque:		36 mts
Tipo:	CERRADO	Profundidad del tanque:		2 mts - 3.5 mts
Sección:	TANQUE DE PRESIÓN	# de compuertas:		1
Ubicación:	ZONA DE PANAMÁ	# de rejillas:		2
		# de canales que lo alimentan		2

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 12: CANAL DE DESCARGA EN PANAMA.

CANAL DE DESCARGA EN PANAMÁ			
Descripción:	CANAL DE CONDUCCIÓN	Capacidad:	2.9 m ³ /sg
Id. Equipo:	NO TIENE	Ancho del canal:	1.16 mts - 1.21 mts
Fabricante:	DESCONOCIDO	Profundidad del canal:	1.1 mts
Tipo:	CANAL ABIERTO RECTANGULAR	Longitud del canal:	620 mts
Sección:	BOCATOMAS		
Ubicación:	ZONA DE PANAMÁ		

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 13: CANAL DE DESCARGUE EN NEMOSTEN.

CANAL DE DESCARGUE EN NEMOSTEN		
Descripción:	CANAL DE CONDUCCIÓN	Capacidad:
Id. Equipo:	NO TIENE	Ancho del canal:
Fabricante:	DESCONOCIDO	Profundidad del canal:
Tipo:	CANAL ABIERTO Y CERRADO RECTANGULAR	Longitud del canal:
Sección:	BOCATOMAS	Inclinación:
Ubicación:	ZONA DE NEMOSTEN	


TOMAR FOTO

HISTORIA Fecha de elaboración: Agosto de 2010
dd de mm de aaaa = descripción
Enero de 2011 = - Se rellena tres huecos producidos en el terreno por rompimiento bajo el canal.

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 14: TUBERIA DE PRESION EN SUEVA 2.

TUBERÍA DE PRESIÓN EN SUEVA 2		
Descripción:	TUBERIA DE PRESION	Capacidad:
Id. Equipo:	NO TIENE	# de tuberías: 1
Fabricante:	VERENIGTE	Longitud de tubería: 519 MTS
Tipo:	METALICA	Golpe de ariete: 37%
Sección:	SUEVA 2	Espesor: 6 mm - 12 mm
Ubicación:	ENTRE ZONA DE LA ALMENARA Y SUEVA 2	Díámetro de la tubería: 1.214 mts - 1.020 mts
		Año de fabricación: 1951

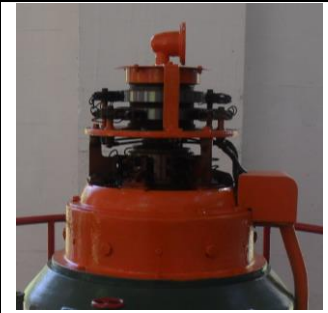


TUBERÍA	
Longitud de cada tubo:	6 MTS
1 tramo - Longitud:	147.8 mts
1 tramo - Inclinación:	
1 tramo - # de apoyos:	5
2 tramo - Longitud:	72.8 mts
2 tramo - Inclinación:	
2 tramo - # de apoyos:	3
3 tramo - Longitud:	117.3 mts
3 tramo - Inclinación:	
3 tramo - # de apoyos:	5
4 tramo - Longitud:	108.6 mts
4 tramo - Inclinación:	
4 tramo - # de apoyos:	4
5 tramo - Longitud:	47 MTS
5 tramo - Inclinación:	
5 tramo - # de apoyos:	0

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 15: EXCITATRIZ DEL GRUPO 1.

EXCITATRIZ DEL GRUPO 1			
Descripción:	EXCITATRIZ	Tensión de salida:	96 Vcc
Id. Equipo:	81510-56902/45602	Intensidad de I de salida:	260 Acc
Fabricante:	ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKEN	Potencia activa:	25 KW
Tipo:	MOVIL	Velocidad nominal:	1200 R.P.M.
Seccion:	GRUPO 1	Velocidad de embalamiento:	2160 R.P.M.
Ubicación:	SUEVA 2	Tipo de aislamiento:	B
		Año de fabricación:	1951



ESCOBILLAS	
Fabricante:	CARBONE LORRAINE DE COLOMBIA S.A.
Largo:	40 mm
Ancho:	30 mm
Espesor:	16 mm
Montaje:	1C.1T
Calidad:	EG-98
Presión (gr) del portaescobilla:	865 gr

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 16: GENERADOR DEL GRUPO 1.

GENERADOR DEL GRUPO 1			
Descripción:	GENERADOR	Modelo:	SGV 220 - 104
Id. Equipo:	81509-56902/45602	Tensión de salida:	4160 V
Fabricante:	ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON	Intensidad de I de salida:	375 A
Tipo:	SINCRONICO VERTICAL	Potencia activa:	2160 KW
Seccion:	GRUPO 1	Cos φ:	0.8
Ubicación:	SUEVA 2	Tensión de excitación:	85 Vcc
		Corriente de excitación:	245 Acc
		Velocidad nominal:	1200 R.P.M.
		Velocidad de embalamiento:	2160 R.P.M.
		Tipo de aislamiento:	H
		Año de fabricación:	1951



Temperatura de trabajo en cojinetes:	40 °C - 60 °C	Lubricante:	MOBIL TURBINE 68
--------------------------------------	---------------	-------------	------------------

ESCOBILLAS	
Fabricante:	CARBONE LORRAINE DE COLOMBIA S.A.
Largo:	45 mm
Ancho:	30 mm
Espesor:	25 mm
Montaje:	2C.1T.1 PLACA AISLANTE
Calidad:	EG-34D
Presión (gr) del portaescobilla:	1350 gr

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 17: TABLEOS DE CONTROL DEL GRUPO 1.

TABLEROS DE CONTROL DEL GRUPO 1		
Descripción:	TABLERO DE CONTROL CON MEDIDORES Y RELES MUY ANTIGUOS	
Id. Equipo:	81511-53202/45602	
Fabricante:	BROWN BOVERI	
Tipo:		
Seccion:	GRUPO 1	
Ubicación:	SUEVA 2	
		Año de fabricación: 1951



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 18: REGULADOR DE VELOCIDAD DEL GRUPO 1.

REGULADOR DE VELOCIDAD DEL GRUPO 1			
Descripción:	REGULADOR DE VELOCIDAD	Tablero de control:	TS310
Id. Equipo:	81508A62202/45602	Control PID:	M305
Fabricante:	TRISEN	Modelo skid:	HYDSKID RHPU-6
Tipo:	ELECTRÓNICO HIDRÁULICO		
Sección:	GRUPO 1		
Ubicación:	SUEVA 2	Filtro salida:	PARKER 925666 - 10BH
		Filtro de retorno:	PARKER 925580 - 10B
		Lubricante:	MOBIL DTE OIL HEAVY MEDIUM - TURBINE 68
		Año de fabricación:	1994



MOTOR DE LA BOMBA		BOMBA		ELECTRO VALVULA DE LAS AGUJAS	
Id. Equipo:	81508A33102/45602	Fabricante:	PARKER	Fabricante:	PARKER
Fabricante:	U.S. ELECTRICAL MOTORS	Modelo:	PVP 1630 R211	Modelo:	801234 - AAA - VR
Tipo:	TRIFASICO	Presión máxima:	3000 PSI	MWP / RET:	500 PSI / 200 PSI
Modelo:		Rodamiento:	6305	Volt / Amp.:	36 Vcc / 60 mA
Potencia:	7.5 HP	Retenedor:	25 - 45 - 10		
Cos φ:					
Velocidad nominal:	1750 R.P.M.				
Volt / Amp.:	230 V / 21.4 A - 460 V / 10.7 A				
Factor de servicio:	1.15				
Tipo de aislamiento:	F				
Tamaño:					
Rodamiento:	6206.2RSR.C3 - 6208.2ZR.C3				

VALVULA SOLENOIDE EN LA VALVULA COMPENSATORIA	
Fabricante:	PARKER
Modelo:	B16 - 3 - 16P BZ

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 19: TURBINA DEL GRUPO 1.

TURBINA DEL GRUPO 1		
Descripción:	TURBINA FRANCIS	Consumo de agua: 1.8 m ³ /sg
Id. Equipo:	81508-36802/45602	Velocidad nominal: 1200 R.P.M.
Fabricante:	FRANCIS VEVEY	Velocidad de embalamiento: 2160 R.P.M.
Tipo:	FRANCIS VERTICAL	Presión de trabajo: 17 BARES
Sección:	GRUPO 1	Potencia de la turbina: 3100 HP
Ubicación:	SUEVA 2	Caída neta: 179 MTS
		Año de fabricación: 1951
Temperatura de trabajo en cojinetes: 40 °C - 55 °C		Lubricante: MOBIL DTE OIL HEAVY MEDIUM - TURBINE 68

RODETE	
Fabricante:	
No de alabes:	12
Diámetro del rodete:	0.73 MTS
Material:	G X 5 Cr Ni 13.4
Fecha de fabricación:	



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 20: VALVULA PRINCIPAL DEL GRUPO 1

VÁLVULA PRINCIPAL DEL GRUPO 1		
Descripción:	ACCIONAMIENTO MANUAL CON VÁLVULA BY PASS, CIERRE Y APERTURA POR PRESIÓN DE AGUA	Consumo de agua: 1.8 m ³ /sg
Id. Equipo:	81508A39302/45602	Diámetro interior: 0.50 MTS
Fabricante:	FRANCIS VEVEY	Presión nominal: 240 P.S.I. -16.5 BAR
Tipo:	ESFÉRICA	Diámetro de la válvula By Pass:
Sección:	GRUPO 1	
Ubicación:	SUEVA 2	
		Año de fabricación: 1951



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 21: BATERIAS DEL GRUPO 1 Y 2.

BATERÍAS DE 24 VOLTIOS DEL GRUPO 1 Y GRUPO 2			
Descripción:	BANCO DE BATERÍAS DE 24 VOLTIOS	Modelo de las baterías:	50PzS280/4
Id. Equipo:	81515-52502/45602	Capacidad nominal:	301 Ah @ 10 horas
Fabricante:	ENERCELL	Gravedad específica:	1.24 @ 25 °C
Tipo:	PLOMO ACIDO	Tensión nominal del banco:	24 Vcc
Sección:	CELDAS MEDIA TENSIÓN	Tensión final por batería:	1.80 Vcc / batería
Ubicación:	SUEVA 2	Tensión de flotación por batería:	2.20 Vcc / batería
		No. de baterías:	12
		Fecha de fabricación:	2009



CARGADOR DEL BANCO DE BATERÍAS DE 24 VOLTIOS	
Fabricante:	TECPOTRONICA
Módulo:	FVTY 28F
Voltaje nominal de salida:	24 Vcc
Corriente nominal de salida:	30 Acc
Voltaje de entrada:	115/150 V
Corriente de entrada máxima:	15 A
Año de fabricación:	1994

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

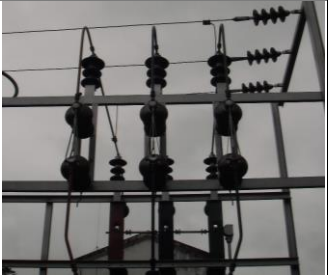
ANEXO 22: TABLERO DE VIBRACIONES.

TABLERO DE VIBRACIONES DE LOS GRUPOS 1, 2 Y 3			
Descripción:	indicar vibraciones axial, horizontal y vertical.	Modelo:	3300
Id. Equipo:	81530-53802/45602		
Fabricante:	BENTLY NEVADA		
Tipo:			
Sección:	TABLERO		
Ubicación:	SUEVA 2		
		Año de fabricación:	




Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 22: SECCIONADOR DE TRANSFORMADOR GRUPO 1.

SECCIONADOR DE TRANSFORMADOR DE TENSIÓN (PT) EN BARRAJE				
Descripción:	TRES SECCIONADORES MONOPOLARES DE ACCIONAMIENTO MANUAL CON PERTICA	Modelo:		
		Tensión nominal:		50 KV
Id. Equipo:	NO TIENE	Corriente nominal:		
Fabricante:	BROWN BOVERI	Tensión al impulso (BIL):		
Tipo:	MONOPOLAR	Posición:		VERTICAL
Seccion:	SUBESTACIÓN			
Ubicación:	SUEVA 2			
		Año de fabricación:		1951

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

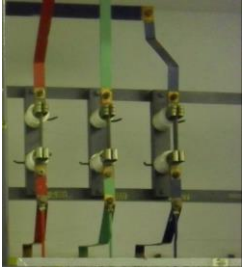
ANEXO 23: INTERRUPTOR DE POTENCIA DEL GRUPO 1.

INTERRUPTOR DE POTENCIA DE GRUPO 1				
Descripción:	INTERRUPTOR	Modelo:	OVF - 403	
Id. Equipo:	81501-54202/45602	Tensión nominal:	50 KV	
Fabricante:	BROWN BOVERI	Corriente nominal:	400 A	
Tipo:	GRAN VOLUMEN DE ACEITE	Corriente de corta duración:		
Seccion:	SUBESTACIÓN	Duración corriente de corta duración:		
Ubicación:	SUEVA 2	Tensión al impulso (BIL):		
		Tensión bobina de cierre:	24 Vcc	
		Tensión bobina de apertura:	24 Vcc	
		Año de fabricación:	1951	

Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 24: SECCIONADOR DE MAQUINA.


SECCIONADOR DE MÁQUINA DEL GRUPO 1 EN CELDA DE MEDIA TENSIÓN		
Descripción:	TRES SECCIONADORES UNIPOLARES DE ACCIONAMIENTO CON PERTICA	Modelo:
		Tensión nominal: 5 KV
Id. Equipo:	NO TIENE	Corriente nominal: 400 A
Fabricante:	BROWN BOVERI	Corriente máxima:
Tipo:	UNIPOLAR	Tensión al impulso:
Sección:	CELDAS MEDIA TENSIÓN	Posición: VERTICAL
Ubicación:	SUEVA 2	
		Año de fabricación: 1951



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 25: TRANSFORMAFOR DE CORRIENTE CT.


TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (CTS) DEL GRUPO 1		
Descripción:	TRES TRANSFORMADORES DE CORRIENTE MONOFASICOS	Modelo: TMRH 45
Id. Equipo:	81563-51402/45602	Potencia nominal: 50 VA
Fabricante:	BROWN BOVERI	Tensión del sistema: 45 / 105 KV
Tipo:	MONOFASICO	Corriente primario / secundarios: 150 / 75 / 5 A
Sección:	SUBESTACIÓN	Clase de medida: 1
Ubicación:	SUEVA 2	Clase de protección: S20
		Año de fabricación: 1953



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 26: TRANSFORMADOR DE POTENCIA DEL G1.


TRANSFORMADOR DE POTENCIA DEL GRUPO 1			
Descripción:	TRANSFORMADOR	Potencia nominal:	2850 KVA
Id. Equipo:	81101-51102/45602	Tensión primario / secundario:	4160 / 35500 V
Fabricante:	BROWN BOVERI	Corriente primario / secundario:	396 / 47.8 A
Tipo:	TRIFASICO	Tensión C.C.:	7.6 %
Seccion:	SUBESTACIÓN	Corriente C.C.:	
Ubicación:	SUEVA 2	Conexión:	DYN
		Clase de aislamiento:	
		Volumen de aceite:	
		Año de fabricación:	1951



Fuente: Biblioteca hidrosueva.

ANEXO 27: TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES G1.

TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES ALIMENTADO POR EL GRUPO 1			
Descripción:	TRANSFORMADOR	Potencia nominal:	75 KVA
Id. Equipo:	81104-51102/45602	Tensión primario / secundario:	4160 / 220 / 118 V
Fabricante:	BROWN BOVERI	Corriente primario / secundario:	
Tipo:	TRIFASICO	Tensión C.C.:	
Seccion:	CELDAS MEDIA TENSIÓN	Corriente C.C.:	
Ubicación:	SUEVA 2	Conexión:	
		Clase de aislamiento:	
		Volumen de aceite:	
		Año de fabricación:	1951



Fuente: Biblioteca hidrosueva.