

Diseño de un plan de Mantenimiento utilizando la estrategia RCM para el equipo más crítico de la operación en Media Tensión (13,2 kV) de una planta dedicada al mantenimiento y reparación de equipos mineros

ANDRES ESTEBAN RUEDA RAMIREZ

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

EDWIN ANDRES DUARTE CABARIQUE

Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

A mis padres por brindarme su constante apoyo en la consecución de todos mis logros.

Tabla de Contenido

		Pág.
-		
1	Introducción	11
2	Objetivos	13
2.1	Objetivo General	13
2.2	Objetivos Específicos.....	13
3	Mantenimiento	14
3.1	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	14
3.2	Análisis de Criticidad.....	15
4	Elementos de la infraestructura eléctrica de una planta de producción	16
4.1	Celdas de Media Tensión.....	16
4.2	Transformadores de Potencia.....	17
4.3	Generadores	18
4.4	Cables de Media Tensión.....	19
5	Recopilación de la información de los activos y fallas.....	19
5.1	Información de los equipos de la infraestructura eléctrica	20
5.1	Celdas de Media Tensión.....	20
5.2	Transformadores de Potencia.....	20
5.3	Generador de Respaldo.....	21
5.4	Histórico de Fallas en los equipos de la infraestructura eléctrica.....	21
6	Taxonomía del Sistema de Media Tensión	22
6.1	Media Tensión Alimentación de Red	22

6.2	Media Tensión de Respaldo o Emergencia.....	24
7	Análisis de Criticidad.....	26
7.1	Análisis de Criticidad Selección Equipo.....	26
7.2	Análisis de Criticidad Selección Componente Generador.....	29
7.2.1	Conformación del Generador XQ1750 (GS1).....	30
7.2.2	Rutinas de Mantenimiento del Generador XQ1750 (GS1).....	37
8	Análisis RCM.....	41
8.1	Funciones de Operación.....	43
8.2	Como falla el equipo.....	43
8.2.1	Bajar un delta de temperatura entre 0 - 70°C en proceso de arranque y entre 40 - 70°C en operación normal.	43
8.2.2	Contener herméticamente refrigerante evitando fugas.	44
8.2.3	Enviar señales de nivel y temperatura y presión a la ECM.	44
8.3	Modos de Falla.....	44
8.4	Efectos y consecuencias de la falla.....	45
8.5	Maneras de prevenir la falla.....	47
8.5.1	Modo de falla #2 y #6:	48
8.5.2	Modo de falla #4.	48
8.5.3	Modo de falla #5 y #8.	48
8.5.4	Modo de falla #9.	49
8.5.5	Modo de falla #10.	49
8.5.6	Modo de falla #12.	49
8.6	Acciones a realizar cuando no se puede prevenir la falla	50

8.6.1	Modo de falla #1, #3 y #7:	50
8.6.2	Modo de falla #11:	50
8.6.3	Modo de falla #13:	50
8.6.4	Modo de falla #14:	51
8.6.5	Modo de falla #16 y 17:	51
9	Recomendaciones para implementación.....	51
10	Conclusiones	52
	Referencias Bibliográficas	53

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Especificaciones técnicas de las Celdas de Media Tensión.....	20
Tabla 2 Especificaciones técnicas de las Celdas de Media Tensión.....	20
Tabla 3 Especificaciones técnicas del Generador Principal	21
Tabla 4 Histórico de fallas en equipos de la infraestructura.....	21
Tabla 5 Participación de los componentes de la infraestructura eléctrica en la demanda de energía eléctrica.	23
Tabla 6 Participación de los componentes de la infraestructura eléctrica de respaldo en la demanda de energía eléctrica.	25
Tabla 7 Tabla de ponderados Análisis de Criticidad	26
Tabla 8 Tabla de asignación de grado y cálculo de CTR	27
Tabla 9 Matriz de Criticidad	28
Tabla 10 Resultados de Criticidad	28
Tabla 11 Tabla de ponderados Análisis de Criticidad	39
Tabla 12 Tabla de asignación de grado y cálculo de CTR	40
Tabla 13 Matriz de Criticidad	40
Tabla 14 Resultados de Criticidad	41
Tabla 15 Definición de condiciones de operación Radiador	43
Tabla 16 Modos de falla en la operación del Radiador	44
Tabla 17 Efectos y consecuencias de la falla en la operación del Radiador.....	45
Tabla 18 Matriz de Riesgos	47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Celdas de Media Tensión</i>	17
Figura 2. <i>Transformadores de Potencia</i>	18
Figura 3. <i>Generador Eléctrico</i>	19
Figura 4. <i>Diagrama unifilar Conexión con Operador de Red</i>	23
Figura 5. <i>Diagrama unifilar Conexión con Sistema de Respaldo o Emergencia</i>	25
Figura 6. <i>Generador Caterpillar 3516 – XQ1750</i>	30
Figura 7. <i>Radiador Generador XQ1750</i>	31
Figura 8. <i>Motor Generador XQ1750</i>	32
Figura 9. <i>Filtro de Aire Generador XQ1750</i>	32
Figura 10. <i>Filtro de Aire Combustible Generador XQ1750</i>	33
Figura 11. <i>Baterías Generador XQ1750</i>	34
Figura 12. <i>Correas Generador XQ1750</i>	35
Figura 13. <i>EMCP Generador XQ1750</i>	36
Figura 14. <i>Bobina y rodamiento Generador XQ1750</i>	36
Figura 15. <i>Sistema de refrigeración Generador XQ1750</i>	42

Glosario

Baja Tensión: donde la tensión nominal es mayor o igual a 25V y menor o igual a 1000V.

Media Tensión: donde la tensión nominal es mayor a 1000V y menor o igual a 57500V.

Operador de red: ente privado que se encarga de la distribución de energía eléctrica en una determinada población

RCM (siglas en inglés): mantenimiento centrado en confiabilidad.

Resumen

Título: Diseño de un plan de Mantenimiento utilizando la estrategia RCM para el equipo más crítico de la operación en Media Tensión (13,2 kV) de una planta dedicada al mantenimiento y reparación de equipos mineros.

Autor: Andres Esteban Rueda Ramirez.

Palabras Clave: RCM, Subestación, Transformador, Celdas de Media Tensión, Generador, Mantenimiento.

Descripción: En el presente trabajo de grado se empleará la metodología de RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) como una alternativa para desarrollar actividades de mantenimiento al sistema con mayor cantidad de fallas del equipo más crítico de la infraestructura eléctrica de una compañía dedicada al mantenimiento, comercialización y reparación de maquinaria pesada Caterpillar para la industria minera.

En primera instancia, se procederá a hacer una descripción y estudio del sistema eléctrico interno de la planta. En este análisis, se estudiará cada uno de los equipos que comprenden el sistema eléctrico de media tensión, identificando el porcentaje de demanda que cubre en la planta y a su vez, si hace parte del sistema de alimentación de red normal o sistema de emergencia.

Como segunda parte, se procederá a realizar el análisis de criticidad teniendo en cuenta la información estudiada de cada componente con el fin de determinar cuál es el equipo más crítico en la operación y para el cual deben ir enfocados los esfuerzos del RCM. Seguidamente, se realizará un análisis de criticidad adicional, con el fin de identificar el componente que más aporta a las fallas del equipo y será objeto del estudio a profundidad.

Finalmente, se ejecutará la estrategia de RCM en el sistema más crítico siguiendo la base de las 7 preguntas. Como resultado de esto, obtendremos un listado de actividades que se deben ejecutar para reducir al mínimo las paradas de producción.

Abstract

Title: Design of a Maintenance plan using the RCM strategy for the most critical equipment of the Medium Voltage operation (13.2 kV) of a plant dedicated to the maintenance and repair of mining equipment.

Author(s): Andres Esteban Rueda Ramirez.

Key Words: RCM, Substation, Transformer, Medium Voltage Cells, Generator, Maintenance.

Description: In this graduation work, the RCM (Reliability Centered Maintenance) methodology will be used as an alternative to develop maintenance activities for the system with the major number of failures of the most critical equipment in the electrical infrastructure of a company dedicated to the maintenance, commercialization and repair for the Caterpillar heavy machinery in the mining industry.

In the first instance, a description and study of the internal electrical system of the plant will be made. In this analysis, each one of equipment that compose the medium voltage electrical system will be studied, identifying the percentage of demand that it covers in the plant and also, if it is part of the normal power supply system or the emergency system.

As a second part, the criticality analysis will be carried out taking into account the information studied for each component in order to determine the most critical equipment in the operation. In this equipment, the RCM efforts will be focused. Next, an additional criticality analysis will be carried out, in order to identify the component that contributes to the major failures in the equipment.

Finally, the RCM strategy will be executed in the most critical system based on the 7 questions. As a result of this, we will obtain a list of activities that must be carried out to minimize the productions stops.

1 Introducción

La Compañía dedicada al mantenimiento, venta y reparación de equipos Caterpillar con el fin de atender a los clientes del sector minero cuenta con sus instalaciones principales en el municipio de Soledad en el departamento del Atlántico. El departamento del Atlántico, así como los departamentos que componen la costa caribe colombiana, cuentan con un gran número de interrupciones de energía eléctrica al año, las cuales afectan la producción y la operación en cada uno de los sectores económicos y productivos de la región.

De la misma manera, al ser parte de la región caribe y tener cercanía al mar, la operación de los equipos eléctricos y elementos electrónicos que conforman la infraestructura eléctrica se ve afectada por condiciones climáticas adversas, tales como altas temperaturas y salinidad agresiva.

Esta compañía, se ha visto afectada por estas condiciones climáticas que afectan la correcta operación en el sistema eléctrico del operador de red y en sus instalaciones eléctricas internas. Esto se ha visto reflejado en interrupciones de más de 65 horas por parte del operador de red y paradas de producción total interna de más de 12 horas solo en el periodo comprendido desde el 01 de Enero hasta el 31 de Diciembre del año 2019.

Debido a que durante el transcurso del año 2019 se tuvo paradas de planta total de más de 12 horas por fallas en el sistema eléctrico de media tensión interno de la compañía, se precisa la implementación de una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, la cual ayude a reducir el tiempo de paradas de planta total.

La Compañía como aliado sostenible para el sector minero y Dealer autorizado por Caterpillar para Colombia, garantiza la confiabilidad y operación de los equipos mineros por medio del manteniendo predictivo, preventivo, correctivo y reparación de componentes en sus instalaciones localizadas en el municipio de Soledad.

Para lograr a satisfacción cumplir con los objetivos trazados por la Presidencia de la compañía, es preciso que la compañía cuente con una operación ininterrumpida en la infraestructura eléctrica de cada una de sus talleres y Subestaciones. Es por esto que, se debe garantizar una operación que cuente con menos de 8 horas de parada de producción total en sus instalaciones durante el transcurso de un año calendario.

Para garantizar el menor tiempo de paradas de producción, la compañía cuenta con un plan de mantenimiento preventivo basado en tiempo y horas de operación según aplique para cada equipo. Sin embargo, la ejecución de este plan programado no toma factores fundamentales para una correcta gestión de los activos tales como condición bajo las cuales operan los activos, historial de fallas, criticidad y demás elementos que impactan en la operación y gestión de los equipos de la infraestructura eléctrica.

Es por esto, que para garantizar una correcta operación de la infraestructura eléctrica de media tensión de la compañía, se deben identificar cuáles son los equipos en media tensión que alimentan el mayor porcentaje en la producción, y así también, establecer las rutinas adecuadas de mantenimiento las cuales nos puedan dar el menor número de fallas para los componentes más importantes en la red de media tensión.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseñar un plan de Mantenimiento empleando la metodología RCM para el componente más crítico del equipo con mayor fallas del sistema eléctrico de Media Tensión (13 kV) de la compañía con el fin de disminuir a menos de 8 horas en tiempo de parada total de producción.

2.2 Objetivos Específicos

Recopilar información detallada e históricos de las anomalías, eventos y fallas ocurridas en los últimos tres años, en el sistema eléctrico de media tensión (13,2 kV) de la compañía en su sede de Soledad.

Realizar el análisis de criticidad a partir de la información recopilada para identificar los equipos críticos de la infraestructura eléctrica de media tensión (13,2 kV) y así mismo identificar el componente de este equipo que más falla.

Diseñar un Plan de Mantenimiento Preventivo basado en RCM con el cual se garantizará una reducción en los tiempos de parada total de producción.

3 Mantenimiento

El término de mantenimiento ha acompañado al ser humano durante su etapa evolutiva a través de la historia. La principal razón por la que el ser humano ha practicado el mantenimiento, es para preservar la funcionalidad de las herramientas, equipos o elementos que componen un determinado entorno operacional.

Durante la evolución y automatización de los procesos en las industrias y la vida diaria, el mantenimiento ha tenido igualmente cambios significativos desde su concepción hasta su aplicación. Inicialmente se pensaba en el mantenimiento como un área secundaria que no tenía relevancia en la operación de los equipos, así mismo se entendía al mantenimiento como el área que se encargaba de reparar un componente o un equipo que ya había entrado en falla.

En la actualidad, ya se han introducido conceptos como mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, así mismo se han venido estudiando nuevas estrategias que se aplican hoy en día en la industria tales como TPM (Mantenimiento Productivo Total) y RCM (Mantenimiento Centrado en confiabilidad) por sus siglas en ingles. Estas técnicas nos han ayudado para iniciar una gestión óptima de los activos en la producción, que ya no se basa en corregir averías sino en mantener las funcionalidades operativas de los equipos.

3.1 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en confiabilidad es una estrategia en la cual se establecen cuáles son los requisitos para asegurar la operación de un sistema o activo físico. Esta estrategia emplea recurso humano de cada una de las áreas que intervienen en la cadena productiva con el

fin de determinar cuáles son las actividades más importantes que se deben ejecutar teniendo presente los modos de falla que originaron la avería. Para el RCM es importante que los sistemas y equipos trabajen en armonía con seguridad y con el menor impacto a la operación y medio ambiente.

La estrategia de RCM es aplicada en los procesos de mantenimiento teniendo como base las siguientes 7 preguntas:

1. Cuáles son las funciones y estándares de operación en relación con el activo, en su actual contexto operacional.
2. ¿Cómo falla el equipo, en referente a la función que este cumple?
3. ¿Qué ocasiona la falla funcional?
4. ¿Cuáles son los efectos de la falla?
5. ¿Cuáles son las consecuencias de la falla?
6. ¿En qué manera se puede prevenir que ocurra la falla?
7. ¿Qué se debe hacer en el dado caso que no se conozca una actividad para prevenir la falla?

Se establece así, que las principales funciones del RCM consisten en mejorar la confiabilidad y disponibilidad, establecer las rutinas más efectivas de mantenimiento y reducir los costos en el mantenimiento.

3.2 Análisis de Criticidad

Uno de los aspectos más importantes durante la ejecución de labores de mantenimiento es determinar y priorizar cuáles son esos sistemas, equipos y componentes que se vuelven críticos

para la operación, ya sea por su influencia en cadena productiva o por el soporte que este brinda. Es por esto, que para hacer un uso eficiente de recurso humano y económico hacia estos activos se debe realizar un análisis de criticidad con el cual podremos determinar hacia donde se deben apuntar los recursos disponibles en la organización.

Para poder realizar un análisis efectivo de cuáles son los equipo o sistemas críticos se utilizan criterios de jerarquización entre los cuales se encuentran: Flexibilidad operacional, Efecto en la continuidad operacional, Efecto en la calidad del producto, Efecto en la seguridad, ambiente e higiene, Costos de paradas y del mantenimiento, Frecuencia de fallas, Disponibilidad de repuestos.

4 Elementos de la infraestructura eléctrica de una planta de producción

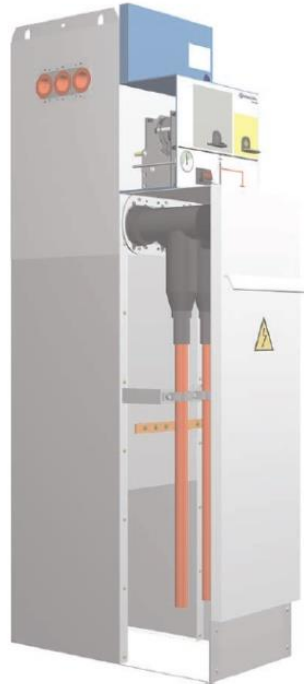
Los sistemas eléctricos de una planta de producción se componen por diferentes equipos los cuales operan de manera simultánea o de respaldo para alimentar las cargas finales o equipos de la producción. Entre los elementos que se evaluarán tenemos las Celdas de Media Tensión, Transformadores, Generadores y Cables de Media Tensión.

4.1 Celdas de Media Tensión

Las Celdas de Media Tensión se emplean para realizar la apertura y cierre de los circuitos, así mismo, nos ayuda a establecer distancias entre las partes energizar para realizar trabajos de forma segura. Las celdas incluyen equipos de maniobra, medida, protección según las necesidades específicas.

Figura 1.

Celdas de Media Tensión

**4.2 Transformadores de Potencia**

Son los equipos utilizados para cambiar el nivel de tensión ya sea para transmisión de energía, distribución de energía o alimentar a los equipos finales.

Figura 2.

Transformadores de Potencia



4.3 Generadores

Los Generadores eléctricos son máquinas rotativas las cuales convierten energía mecánica en energía eléctrica. Existen diferentes tipos de Generadores según la operación que se desea obtener de ellos. Para el caso de esta empresa el Grupo Electrónico es Stand By, el cual suministra energía eléctrica únicamente cuando existe un corte de energía por parte del Operador de Red.

Figura 3.

Generador Eléctrico



4.4 Cables de Media Tensión

Son los elementos que nos ayudan a interconectar cada uno de los equipos y dispositivos en el sistema eléctrico, estos cables puede estar sumergidos, en bandejas o tuberías.

5 Recopilación de la información de los activos y fallas

Para poder realizar un análisis de cuáles son los equipos más críticos en la Compañía, y poder aplicarles la metodología de RCM, se precisa primeramente realizar la recolección de la información que nos permita identificar cuáles han sido las fallas más relevantes y como han afectados estas a la operación y producción. Tales datos son los siguientes:

- Listado de los equipos y elementos en Media Tensión.
- Histórico de fallas de los equipos de media tensión por equipo.
- Tiempo fuera de servicio de cada falla.
- Porcentaje de salida de planta en cada falla.

- Que recursos se necesitaron para la corrección de la falla.

5.1 Información de los equipos de la infraestructura eléctrica

A continuación se mostrará la base de datos de los elementos de la infraestructura en media tensión para cada uno de los grupos de equipos presentes en la planta.

5.1 Celdas de Media Tensión.

Tabla 1

Especificaciones técnicas de las Celdas de Media Tensión

Matricula	Localización	Tipo de Celda
CLDS-2	Subestación 1	Seccionador
CLDS-3	Subestación 1	Seccionador
CLDS-4	Subestación 1	Transferencia automática
CLDS-5	Subestación 1	Seccionador
CLDS-6	Subestación 1	Seccionador
CLDS-7	Subestación 1	Seccionador
CLDS-8	Subestación 1	Seccionador
CLDS-9	Subestación 3	Seccionador + remonte

Nota. Esta tabla muestra cada uno de las celdas de media tensión de la planta, en ella se especifica su ubicación, nivel de tensión y que cargas alimenta.

5.2 Transformadores de Potencia.

Tabla 2

Especificaciones técnicas de las Celdas de Media Tensión

Matricula	Subestación	Potencia Nominal (KVA)
TSS1-1	Subestación 1	300
TSS1-2	Subestación 1	300
TSS4-1	Subestación 4	400
TSS5-1	Subestación 5	1600
TSG1-1	Generador XQ1750	2000
TSS2-1	Subestación 2	400
TSS3-1	Subestación 3	800

Nota. Esta tabla muestra cada uno de los Transformadores de Media Tensión de la planta, en ella se especifica su ubicación, nivel de tensión.

5.3 Generador de Respaldo.

Tabla 3

Especificaciones técnicas del Generador Principal

Matricula	Serie	Localización	Potencia KW (Stand By)	Fabricante
GS1	3516	PTARD	1750	Caterpillar

Nota. Esta tabla muestra las especificaciones del Generador Principal de la Compañía. El cual Genera en Baja Tensión (480V) y se conecta al tren de median tensión (13200V) por medio del Transformador TSG1-1.

5.4 Histórico de Fallas en los equipos de la infraestructura eléctrica.

Con el fin de conocer cuáles son los activos que durante los 3 últimos han fallado en mayor cantidad y en qué proporción esto ha afectado en el suministro de energía de la planta, a continuación se presentaran los resultados de la recolección realizada de la información en la cual se añadirá a su vez que afectación se obtuvo en las áreas de producción y en las áreas administrativas.

Tabla 4

Histórico de fallas en equipos de la infraestructura

Ítem	Descripción del equipo	Descripción de la falla	Fecha de la falla	Tiempo parada (horas)	% Afectación producción	% Afectación área administrativa
1	Generador GS1	Falla en el sistema de escape	15/05/2019	4	100	100
2	Generador GS1	Fuga de refrigerante por radiador	14/06/2019	8	100	100
3	Generador GS1	Falla en Calentadores de Camisas	25/10/2019	4	0	0
4	Generador GS1	Fuga de aceite en culata #10	15/03/2020	2	100	100
5	Generador GS1	Falla de comunicación de EMCP con CATRAM	28/05/2020	10	0	0
6	Generador GS1	Falla en Cargador de baterías	05/11/2021	0,5	100	100
7	Transformador TSS1-1	Aumento de gases Silicio en Aceite	10/01/2021	6	0	35
8	Celda CLDS-7	Falla en conector tipo codo	25/04/2020	12	100	100

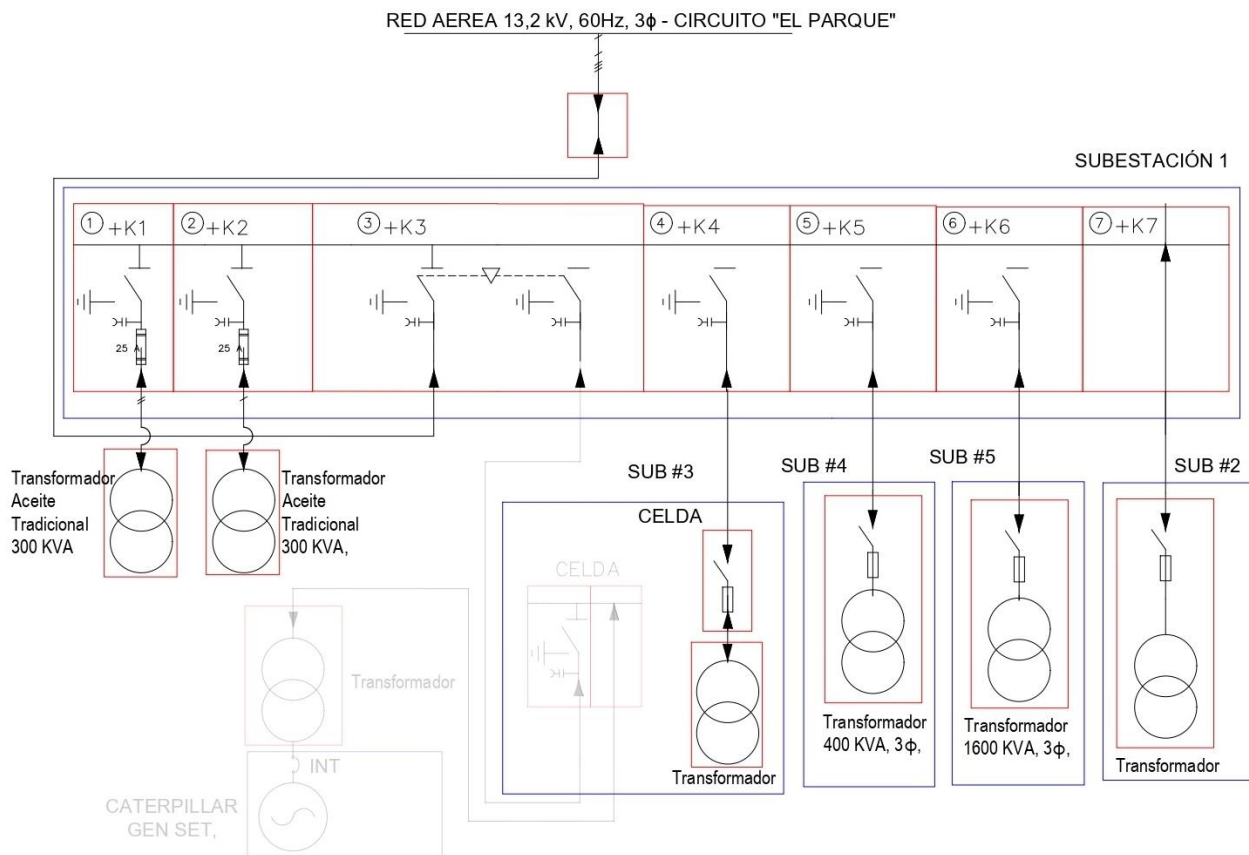
Nota. Esta tabla muestra las fallas ocurridas en los equipos alcance del análisis. Se especifican cuáles fueron las consecuencias de la falla en el área productiva y el área administrativa.

6 Taxonomía del Sistema de Media Tensión

En esta sección se presentará la operación del sistema eléctrico en el sistema de media tensión, se hará énfasis en el sistema que hace parte de la alimentación normal la cual es suministrada por el operador de red del departamento del atlántico (Air-e) y el sistema de generación de energía de respaldo la cual está conectado al sistema eléctrico de media tensión (13200V) interno de la planta por medio de un transformador elevador (480V a 13200V).

6.1 Media Tensión Alimentación de Red

Para lograr la identificación del sistema eléctrico de media tensión por la alimentación del operador de red, se analizará el diagrama unifilar de conexión.

Figura 4.*Diagrama unifilar Conexión con Operador de Red*

Con base en el diagrama unifilar anterior, analizaremos la participación en el sistema eléctrico tanto de las áreas operativas como de las áreas administrativas de cada uno de los elementos que componen el sistema eléctrico de media tensión. El resumen de esta información se presenta a continuación:

Tabla 5

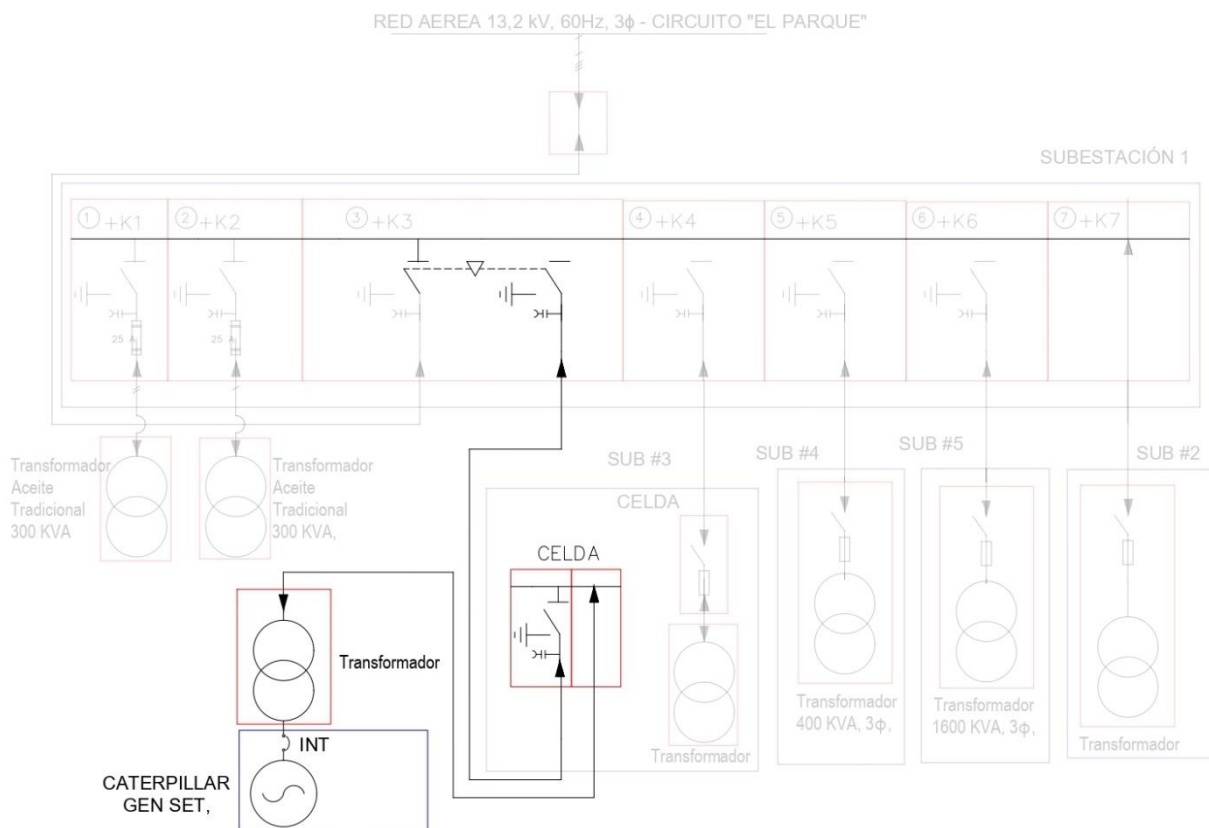
Participación de los componentes de la infraestructura eléctrica en la demanda de energía eléctrica.

Activo	Matricula	Localización	Carga	% Área Operativa	% Área Administrativa
Celda MT	CLDS-2	Subestación 1	TSS1-1	5	35
Celda MT	CLDS-3	Subestación 1	TSS1-2	5	35
Celda MT	CLDS-4	Subestación 1	Planta Total	100	100
Celda MT	CLDS-5	Subestación 1	TSS3-1	10	5
Celda MT	CLDS-6	Subestación 1	TSS4-1	10	5
Celda MT	CLDS-7	Subestación 1	TSS5-1	35	15
Celda MT	CLDS-8	Subestación 1	TSS2-1	35	5
Transformador	TSS1-1	Subestación 1	Edificio Adm	5	35
Transformador	TSS1-2	Subestación 1	Edificio Adm	5	35
Transformador	TSS4-1	Subestación 4	Taller Soldadura	10	5
Transformador	TSS5-1	Subestación 5	Taller Rectificaciones	35	15
Transformador	TSS2-1	Subestación 2	Taller CRC Arme	35	5
Transformador	TSS3-1	Subestación 3	Taller Desarme	10	5

Nota. Esta tabla muestra el porcentaje de alimentación de los equipos de la infraestructura eléctrica insumo para el análisis de criticidad.

6.2 Media Tensión de Respaldo o Emergencia.

A continuación se presenta el diagrama unifilar de alimentación de emergencia, el cual entra en funcionamiento cuando se presenta una falla en la alimentación por parte del operador de red.

Figura 5.*Diagrama unifilar Conexión con Sistema de Respaldo o Emergencia*

Con base en el diagrama unifilar anterior, analizaremos la participación en el sistema eléctrico de respaldo tanto de las áreas operativas como de las áreas administrativas de cada uno de los elementos que componen el sistema eléctrico de media tensión. El resumen de esta información se presenta a continuación:

Tabla 6

Participación de los componentes de la infraestructura eléctrica de respaldo en la demanda de energía eléctrica.

Activo	Matricula	Localización	Carga	% Área Operativa	% Área Administrativa
Celda MT	CLDS-4	Subestación 1	Planta Total	100	100
Celda MT	CLDS-9	Subestación 3	Planta Total	100	100
Transformador	TSG1-1	Ptard	Planta Total	100	100
Generador	GS1	Ptard	Planta Total	100	100

Nota. Esta tabla muestra el porcentaje de alimentación de los equipos de la infraestructura eléctrica de respaldo, insumo para el análisis de criticidad.

7 Análisis de Criticidad

7.1 Análisis de Criticidad Selección Equipo

Una vez definidos los componentes que conforman la infraestructura eléctrica, y a su vez determinando su influencia en la operatividad de las áreas operativas y administrativas se elabora la siguiente base para realizar el análisis de criticidad cualitativo:

Tabla 7

Tabla de ponderados Análisis de Criticidad

Tabla de ponderados		
Frecuencia de Fallas [FF]	1 falla cada 5 años	1
	Entre 2 y 3 fallas cada 5 años	2
	Entre 4 y 5 fallas cada 5 años	4
	Entre 6 o más fallas cada 3 años	6
Impacto operacional [IO]	Pérdida de capacidad entre 1% y 25%	1
	Pérdida de capacidad entre 26% y 50%	2
	Pérdida de capacidad entre 51% y 75%	4
	Pérdida de capacidad entre 76% y 100%	6
Impacto administrativo [IA]	Pérdida de capacidad entre 1% y 33%	0
	Pérdida de capacidad entre 34% y 66%	1
	Pérdida de capacidad entre 67% y 100%	2
Flexibilidad Operacional [FO]	Repuesto listo para instalar	1
	Repuesto en bodega	2
	Repuesto no en bodega	3
Costo de mantenimiento [CM]	Entre 0 y \$1.000.000	1

Entre \$1.000.001 y \$5.000.000	2
Más de \$5.000.000	4

Nota. Esta tabla muestra la tabla de ponderado definida para el análisis de criticidad.

A continuación se presenta la calificación definida para cada uno de los equipos que componen el sistema eléctrico en media tensión, a su vez el cálculo de la criticidad total por riesgo (CTR) definida como el producto de la Frecuencia de fallos (FF) por la Consecuencia de los eventos fallos (C), Siendo C la suma de IO+FO+CM+SHA.

Tabla 8

Tabla de asignación de grado y cálculo de CTR

N.º	MATRICULA	FF	IO	IA	FO	CM	FF	C	CTR
1	CLDS-2	1	1	1	2	1	1	5	5
2	CLDS-3	1	1	1	2	1	1	5	5
3	CLDS-4	1	6	2	2	1	1	11	11
4	CLDS-5	1	1	0	2	1	1	4	4
5	CLDS-6	1	1	0	2	1	1	4	4
6	CLDS-7	2	2	0	2	1	2	5	10
7	CLDS-8	1	2	0	2	1	1	5	5
8	TSS1-1	2	1	1	3	2	2	7	14
9	TSS1-2	1	1	1	3	2	1	7	7
10	TSS4-1	1	1	0	3	2	1	6	6
11	TSS5-1	1	2	0	3	2	1	7	7
12	TSS2-1	1	2	0	3	2	1	7	7
13	TSS3-1	1	1	0	3	2	1	6	6
14	CLDS-9	1	6	2	2	1	1	11	11
15	TSG1-1	1	6	2	3	2	1	13	13
16	GS1	6	6	2	1	3	6	12	72

Una vez realizo el cálculo de CTR para cada uno de los elementos, se construye la matriz de criticidad y se elabora la tabla con los cálculos, las mismas se presentan a continuación:

Tabla 9

Matriz de Criticidad

MATRIZ DE CRITICIDAD														
		Consecuencias												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Frecuencia de falla	6												16	
	5													
	4													
	3													
	2					6		8						
	1				4; 5	1; 2; 7	10; 13	9; 11; 12				3; 14	15	

Tabla 10

Resultados de Criticidad

Tabla de Resultados		
N°	Elemento	Estado
16	Generador GS1	[MC]
3	Celda MT CLDS-4	[SC]
14	Celda MT CLDS-9	[SC]
15	Transformador TSG1-1	[SC]
8	Transformador TSS1-1	[PC]
9	Transformador TSS1-2	[PC]
11	Transformador TSS5-1	[PC]
12	Transformador TSS2-1	[PC]
1	Celda MT CLDS-2	[NC]
2	Celda MT CLDS-3	[NC]
4	Celda MT CLDS-5	[NC]
5	Celda MT CLDS-6	[NC]
6	Celda MT CLDS-7	[NC]
7	Celda MT CLDS-8	[NC]
10	Transformador TSS4-1	[NC]
13	Transformador TSS3-1	[NC]

Nota: En esta tabla podemos evidenciar los resultados del análisis de criticidad

Una vez realizado el análisis de criticidad se concluye que el equipo seleccionado para la aplicación de RCM es el Generador GS1.

7.2 Análisis de Criticidad Selección Componente Generador

Una vez definido el equipo el cual será objeto de la aplicación de RCM, se realizará un segundo análisis de criticidad para determinar el componente al cual se ejecutará el análisis.

El equipo objeto de análisis es el Generador CAT 1750 kVA con matrícula GS1 el cual alimenta las instalaciones de una compañía ante la ausencia de energía por parte del operador de Red.

A continuación se presenta imagen tomada de Generador el cual se realizara el análisis teniendo en cuenta el manual de mantenimiento, fallas anteriores y repuestas que se cuentan en nuestro almacén interno de repuestos:

Figura 6.

Generador Caterpillar 3516 – XQ1750

**7.2.1 Conformación del Generador XQ1750 (GS1)**

El Generador está conformado por los siguientes sistemas y componentes principales:

- **Radiador:** Es el dispositivo encargado de enfriar el refrigerante y el generador en general. Es un dispositivo que permite intercambiar calor entre dos medios. Posee un ventilador el cual además de utilizarse como disipador de calor para el refrigerante libera de calor el motor. Una falla en este equipo es de alto potencial, ya que conlleva a desarmar el equipo y una consecución de partes que como mínimo tardaría entre 1 a 2 semanas.

Figura 7.

Radiador Generador XQ1750



• **Motor:** Es el dispositivo que mediante la reacción química entre el aire y combustible genera energía mecánica y permite la generación de energía eléctrica. Aunque es un elemento que contiene muchos componentes internos se toma como una unidad, esto debido a que cualquier fallo en uno de estos componentes afecta todo el equipo. La reparación de caso de falla de este equipo puede variar de 1 día a 7 días.

Figura 8.

Motor Generador XQ1750



• **Filtros de Aire:** Son los encargados de filtrar el aire que el generador toma del medio ambiente. La falla en este equipo afecta en un rango menor la operación y su reemplazo se realiza en cuestión de minutos.

Figura 9.

Filtro de Aire Generador XQ1750



• **Filtros de Combustible:** Son los encargados de filtrar el combustible que el generador toma del tanque más cercano. Existen dos tipos, primarios y secundarios. La falla en este equipo afecta la operación.

Figura 10.

Filtro de Aire Combustible Generador XQ1750



- **Cargador de baterías:** Dispositivo encargado de cargar las baterías. En caso de falla su cambio se realiza en un corto tiempo, no afecta la operación si se logra detectar a tiempo.

- **Baterías:** Dispositivos encargados de almacenar energía para el arranque del Generador y operación del sistema de Control. En caso de falla su cambio se realiza en un corto tiempo, no afecta la operación si se logra detectar a tiempo.

Figura 11.

Baterías Generador XQ1750



- **Motor de Arranque:** Equipo encargado de dar arranque al generador, una falla en este equipo deja inoperante el equipo.

- **Correas:** Dispositivos encargados de transmitir fuerza. En caso de falla su cambio se realiza en un corto tiempo, no afecta la operación si se logra detectar a tiempo.

Figura 12.

Correas Generador XQ1750



- **Calentadores de Agua:** Dispositivos encargados de calentar el refrigerante. En caso de falla su cambio se realiza en un corto tiempo, no afecta la operación si se logra detectar a tiempo.

- **Calentadores de espacio:** Dispositivos encargados de calentar las bobinas del generador. En caso de falla su cambio se realiza en un corto tiempo, no afecta la operación si se logra detectar a tiempo.

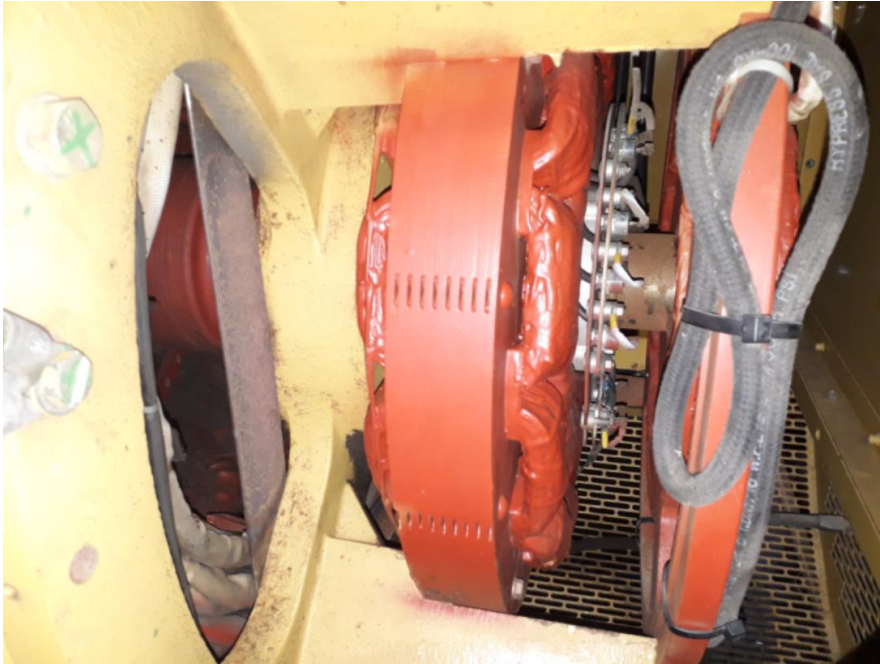
- **EMCP:** Sistema de Control del Generador. Su fallo acarrea en el Down del equipo.

Figura 13.*EMCP Generador XQ1750*

• **Mangueras y tuberías:** Dispositivos encargados de conducir líquidos hacia cada una de las áreas del Generador. En caso de falla su cambio se realiza en un corto tiempo, no afecta la operación si se logra detectar a tiempo.

• **Bobina y rodamiento Generador:** Sistema encargado de convertir energía mecánica en energía eléctrica. Su fallo acarrea en el Down del equipo. La reparación dependiendo del fallo dura de 1 día a 3 semanas.

Figura 14.*Bobina y rodamiento Generador XQ1750*



- **Sensores:** Dispositivos cargados de enviar señales al sistema de control. Una falla en estos dispositivos puede dejar fuera de servicio el generador, su cambio se puede realizar en cuestión de minutos.

- **Turbocargadores:** Dispositivo encargado de la admisión y salida del aire al motor. Su daño dejaría inoperante el equipo.

7.2.2 Rutinas de Mantenimiento del Generador XQ1750 (GS1)

De acuerdo a las pautas de mantenimiento definidas por el fabricante tenemos los siguientes intervalos de tiempo y las actividades a ejecutar en cada uno de ellos:

Semanalmente:

- a. Cárter del motor: Verificar nivel de aceite.
- b. Sistema de Enfriamiento: Verificar nivel de refrigerante
- c. Verificar indicador de taponamiento filtro de aire
- d. Verificar Mangueras y Correas
- e. Verificar sistema de Control.
- f. Verificar Voltajes y frecuencia.
- g. Verificar presiones y temperaturas.
- h. Verificar ventiladores.
- i. Verificar temperatura de rodamiento.
- j. Verificar fugas de refrigerante o combustible.
- k. Verificar cargador de baterías y baterías.
- l. Verifique funcionamiento de calentador de refrigerante y calentador de espacio.

2. Anual:

- a. Tomar muestras de Aceite y refrigerante.
- b. Verifique sistema de montaje del Generador.
- c. Cárter del motor: Cambio de aceite.
- d. Cambio de filtros de Combustible.
- e. Cambio de filtros de Aire.
- f. Cambio de filtros de refrigerante.
- g. Ajuste de Válvulas de motor.
- h. Verificar conexiones de cargador, y baterías.
- i. Verificar nivel de ruidos y vibraciones.
- j. Realice engrase de rodamientos.
- k. Verificar resistencia y aislamiento de bobinas.
- l. Limpieza a bobina del generador.
- m. Verifique correcto funcionamiento del motor de arranque.

3. Cada 3 años:

- a. Verifique los calentadores de espacio, cambie de ser necesario.
- b. Cambio de mangueras y correas.
- c. Cambio de baterías.
- d. Verifique el turbocargador.
- e. Realice un ajuste completo al motor.
- f. Drene y limpie el radiador, cambie el refrigerante.

Una vez definidos los componentes y los rangos de mantenimiento previstos se toma como base de ponderado la siguiente tabla para realizar el análisis de criticidad cualitativo:

Tabla 11

Tabla de ponderados Análisis de Criticidad

Tabla de ponderados		
Frecuencia de Fallas [FF]	1 falla cada 5 años	1
	Entre 2 y 3 fallas cada 5 años	2
	Entre 4 y 5 fallas cada 5 años	4
	Entre 6 o más fallas cada 3 años	6
Impacto operacional [IO]	Pérdida de capacidad entre 1% y 25%	1
	Pérdida de capacidad entre 26% y 50%	2
	Pérdida de capacidad entre 51% y 75%	4
	Pérdida de capacidad entre 76% y 100%	6
Flexibilidad Operacional [FO]	Repuesto listo para instalar	1
	Repuesto en bodega	2
	Repuesto no en bodega	3
Costo de mantenimiento [CM]	Entre 0 y \$1.000.000	1
	Entre \$1.000.001 y \$5.000.000	2
	Más de \$5.000.000	4
Impacto en seguridad, higiene y medio ambiente [SHA]	No produce	0
	Si produce	1

Nota. Esta tabla muestra la tabla de ponderado definida para el análisis de criticidad.

A continuación se presenta la calificación definida para cada uno de los dispositivos o elementos que componen el Generador, a su vez el cálculo de la criticidad total por riesgo (CTR) definida como el producto de la Frecuencia de fallos (FF) por la Consecuencia de los eventos fallos (C), Siendo C la suma de IO+FO+CM+SHA.

Tabla 12

Tabla de asignación de grado y cálculo de CTR

N.º	Elemento	FF	IO	FO	CM	SHA	FF	C	CTR
1	Radiador	1	6	3	4	1	1	14	14
2	Motor de Combustión	2	4	2	4	1	2	11	22
3	Filtro de aire	1	1	1	1	0	1	3	3
4	Filtro de Combustible	2	2	2	1	1	2	6	12
5	Cargador de baterías	1	1	3	1	0	1	5	5
6	Baterías	2	6	3	2	0	2	11	22
7	Motor de arranque	1	6	3	4	0	1	13	13
8	Correas	2	2	2	1	1	2	6	12
9	Calentadores de Agua	2	2	3	2	0	2	7	14
10	Calentadores de espacio	1	2	2	1	0	1	5	5
11	EMCP	1	6	3	4	0	1	13	13
12	Mangueras y tuberías	2	4	3	2	0	2	9	18
13	Bobina y rodamiento Generador	1	6	3	2	1	1	12	12
14	Sensores	1	1	2	1	0	1	4	4
15	Turbocargadores	1	4	3	2	0	1	9	9

Una vez realizo el cálculo de CTR para cada uno de los elementos, se construye la matriz de criticidad y se elabora la tabla con los cálculos, las mismas se presentan a continuación:

Tabla 13

Matriz de Criticidad

MATRIZ DE CRITICIDAD	
	Consecuencias

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Frecuencia de falla	6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tabla 14

Resultados de Criticidad

TABLA DE RESULTADOS		
N°	Elemento	Estado
1	Radiador	[MC]
13	Bobina y rodamiento Generador	[SC]
2	Motor de Combustión	[SC]
6	Baterías	[SC]
7	Motor de Arranque	[SC]
11	EMCP	[SC]
12	Mangueras y tuberías	[SC]
4	Filtro de Combustible	[PC]
8	Correas	[PC]
9	Calentadores de Agua	[PC]
15	Turbocargadores	[PC]
3	Filtro de Aire	[NC]
5	Cargador de baterías	[NC]
10	Calentadores de espacio	[NC]
14	Sensores	[NC]

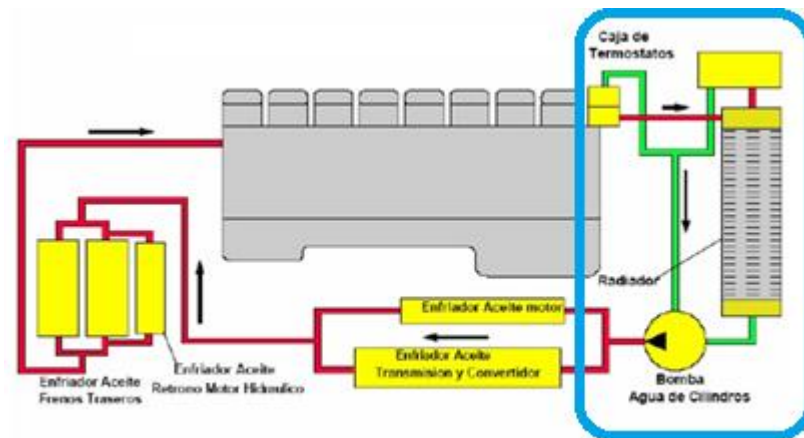
Una vez realizado el análisis de criticidad se concluye que el dispositivo seleccionado para la aplicación de RCM es el Radiador del Generador GS1.

8 Análisis RCM

Como se pudo concluir de los análisis de criticidad el sistema objetivo a aplicar RCM es el sistema de refrigeración conformado principalmente por el radiador. A continuación podremos ver la delimitación de este en el Generador:

Figura 15.

Sistema de refrigeración Generador XQ1750



Una vez delimitada la frontera que será objeto de RCM procederemos a conocer cuáles son las características técnicas, condiciones operaciones, condiciones ambientales y las entradas y salidas del sistema de refrigeración.

- Bajar un delta de temperatura entre 0 - 70°C en proceso de arranque y entre 40 - 70°C en operación normal.
- Delta de temperatura mayor a 70°C
- Que el delta de temperatura en operación sea menor a 40°C
- No existe diferencia de temperatura durante la operación.

Tabla 15

Definición de condiciones de operación Radiador

Características técnicas del elemento	Condiciones operacionales	Condiciones Ambientales	Entradas	Salidas
Temperatura de operación entre 67-107°C.	Temperatura de refrigerante entrega 80°C.	Fuga de refrigerante.	Refrigerante alta temperatura.	Refrigerante a óptima temperatura de operación.
Rango de operación entre 1-30 PSI.	RPM min (700) 12 PSI.	Operación con alta polución.	Flujo de aire del ventilador	Señales de temperatura y nivel hacia el ECM.
Cap. Tanque aux. 55 gal.	RPM max (1960) 30PSI.	Operación con altas temperaturas ambiente 40°C	Potencia mecánica para el movimiento de la bomba de agua.	Drenaje del radiador.
		Partículas de Carbón y arena	Potencia hidráulica al motor del ventilador.	

8.1 Funciones de Operación

El radiador en el equipo Generador XQ1750 tiene como función las siguientes actividades:

- Bajar un delta de temperatura entre 0 - 70°C en proceso de arranque y entre 40 - 70°C en operación normal.
- Contener herméticamente refrigerante evitando fugas.
- Enviar señales de nivel y temperatura y presión a la ECM.

8.2 Como falla el equipo

A continuación se describen cuáles son las fallas funcionales asociadas a cada una de las funciones:

8.2.1 Bajar un delta de temperatura entre 0 - 70°C en proceso de arranque y entre 40 - 70°C en operación normal.

- Delta de temperatura mayor a 70°C

- Que el delta de temperatura en operación sea menor a 40°C
- No existe diferencia de temperatura durante la operación.

8.2.2 Contener herméticamente refrigerante evitando fugas.

- Fuga de refrigerante

8.2.3 Enviar señales de nivel y temperatura y presión a la ECM.

- ECM no recibe lectura de los sensores.
- ECM recibe lecturas erróneas de los sensores.

8.3 Modos de Falla

A continuación se describen cuáles son los modos de falla asociados a las fallas definidas:

Tabla 16

Modos de falla en la operación del Radiador

Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla
1	Delta de temperatura mayor a 70°C	Termostato permanente Abierto - Sin modulación
2		Bomba de agua con aspas desgastados
3	Que el delta de temperatura en operación sea menor a 40°C	Termostato permanente Cerrado - No recircula
4		Ventilador con rodamientos desgastados
5		Radiador obstruido con polución
6	No existe diferencia de temperatura durante la operación.	Bomba de agua con aspas desgastados
7		Termostato Cerrado - No recircula

8		Radiador obstruido externamente con polución
9		Manguera rota por cristalización
10		Piso del tanque roto
11	Fuga de refrigerante	Radiador agrietado
12		Bomba de agua con empaque fisurado
13		Empaque de sello de tapa del radiador roto
14		Línea del Arnés de ECM abierta
15	ECM no recibe lectura de los sensores.	Falla en los conectores - Oxidación
16		Sensores en corto o abierto
17	ECM recibe lecturas erróneas de los sensores.	Sensores en corto o abierto

8.4 Efectos y consecuencias de la falla

A continuación se describen cuáles son las consecuencias que se generan a cada uno de los modos de falla definidos:

Tabla 17

Efectos y consecuencias de la falla en la operación del Radiador

Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción Efectos y Consecuencias	Probabilidad
1	Delta de temperatura mayor a 70°C	Termostato permanente Abierto - Sin modulación	El operador solo puede evidenciar alarma o falla, equipo continua operando; No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se reduce el rendimiento del equipo. Se aumenta el consumo de combustible.; Termostato dañado; Cambio de Termostato	Una falla en 5 años
2	Que el delta de temperatura en operación sea menor a 40°C	Bomba de agua con aspas desgastados	El operador solo evidencia incremento de Temperatura y disminución de presión, equipo se apaga; No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se detiene el proceso por 5 hr, pérdida de producción de \$15.000.000; Bomba dañada; Cambio de Bomba	Una falla en 8 años
3		Termostato permanente Cerrado - No recircula	El operador solo evidencia incremento de Temperatura y disminución de presión, equipo se apaga; No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se detiene el proceso por 5 hr, pérdida de	Una falla en 5 años

4		Ventilador con rodamientos desgastados	producción de \$15.000.000; Termostato dañado; Cambio de Termostato El operador solo evidencia incremento de Temperatura y disminución de presión, equipo se apaga; No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se reduce el rendimiento del equipo. Perdida de eficiencia.; Rodamiento en mal estados; Cambio de rodamiento	Una falla en 10 años
5		Radiador obstruido con polución	El operador solo evidencia incremento de Temperatura y disminución de presión, equipo se apaga; No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se reduce el rendimiento del equipo. Perdida de eficiencia y aumento de temperatura; Radiador contaminado; Limpieza a radiador	Una falla en 15 años
6		Bomba de agua con aspas desgastados	El operador solo evidencia incremento de Temperatura y disminución de presión, equipo se apaga; No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se detiene el proceso por 5 hr, pérdida de producción de \$15.000.000; Bomba dañada; Cambio de Bomba	Una falla en 8 años
7	No existe diferencia de temperatura durante la operación.	Termostato Cerrado - No recircula	El operador solo evidencia incremento de Temperatura y disminución de presión, equipo se apaga; No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se detiene el proceso por 5 hr, pérdida de producción de \$15.000.000; Termostato dañado; Cambio de Termostato	Una falla en 5 años
8		Radiador obstruido externamente con polución	El operador solo evidencia incremento de Temperatura y disminución de presión, equipo se apaga; No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se reduce el rendimiento del equipo. Perdida de eficiencia y aumento de temperatura; Radiador contaminado; Limpieza a radiador	Una falla en 15 días
9		Manguera rota por cristalización	Operador evidencia fuga refrigerante en preoperacional o con sensor de nivel; No hay consecuencias en las personas, efectos sobre el medio pueden ser controlados; Equipo aumenta temperatura y se detiene; Manguera partida; Cambio de Manguera	Una falla al año
10	Fuga de refrigerante	Piso del tanque roto	Operador evidencia fuga refrigerante en preoperacional o con sensor de nivel; No hay consecuencias en las personas, efectos sobre el medio pueden ser controlados; Equipo aumenta temperatura y se detiene; Tanque agrietado; Desmonte y cambio del tanque	Una falla en 12 años
11		Radiador agrietado	Operador evidencia fuga refrigerante en preoperacional o con sensor de nivel; No hay consecuencias en las personas, efectos sobre el medio pueden ser controlados; Equipo aumenta temperatura y se detiene; Radiador presenta fisuras; Desmonte y cambio del radiador	Una falla en 12 años
12		Bomba de agua con empaque fisurado	Operador evidencia fuga refrigerante en preoperacional o con sensor de nivel; No hay consecuencias en las personas, efectos sobre el medio pueden ser controlados; Equipo	Una falla en 5 años

13		Empaque de sello de tapa del radiador roto	aumenta temperatura y se detiene; Empaques de bomba de agua partido; Cambio de empaque de bomba de agua Operador evidencia fuga refrigerante en preoperacional o con sensor de nivel; No hay consecuencias en las personas, efectos sobre el medio pueden ser controlados; Equipo aumenta temperatura y se detiene; Empaque de sello de tapa del radiador roto; Cambio de tapa del radiador	Una falla en 5 años
14		Línea del Arnés de ECM abierta	;No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se detiene el proceso por 5 hr, pérdida de producción ;Arnés del ECM partido; Cambio de línea abierta	Una falla en 4 años
15	ECM no recibe lectura de los sensores.	Falla en los conectores - Oxidación	;No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se detiene el proceso por 1 hr, pérdida de producción ;Conectores dañados; Cambio de conectores	Una falla en 4 años
16		Sensores en corto o abierto	;No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se detiene el proceso por 3 hr, pérdida de producción ;Sensores dañados; Cambio de Sensor	Una falla en 6 años
17	ECM recibe lecturas erróneas de los sensores.	Sensores en corto o abierto	;No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Se detiene el proceso por 5 hr, pérdida de producción ;Sensores dañados; Cambio de Sensor	Una falla en 6 años

8.5 Maneras de prevenir la falla

Con el fin de determinar cuáles son las acciones a implementar ante cada uno de los 17 modos de falla evaluaremos primeramente cual es el nivel riesgo que se tiene. Para esto se tendrán en cuenta cuales son las afectaciones humanas, ambientales y los costos asociados a la aparición de la falla, el input de estos datos se presentan en la Tabla 17.

Tabla 18

Matriz de Riesgos

CONSECUENCIAS				PROBABILIDAD					
humanas	ambientales	costos		imposible	improbable	remoto	ocasional	moderado	frecuente
Más de un muerto	Efectos irreversibles	>100	1						
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 100M - 10M	2		6	7			
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 10 M- 1M	3	10, 11	2	3; 12; 14; 16;			5, 8

						17			
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 1M-.05M	4			1; 13; 15	9		
Ninguna	No afecta el medio ambiente	<0.05M	5		4				
				> 10 Años	< 10 Años	< 5 Años	< 2 Años	< 6 Meses	± 1 Mes

Una vez definido la matriz de riesgo y con pleno conocimiento de cuáles son las fallas se procede a desarrollar el plan de actividades que nos ayudará a disminuir las paradas de operación en el Generador:

8.5.1 Modo de falla #2 y #6:

- Descripción de falla: Bomba de agua con aspas desgastadas
- Decisión: Búsqueda de fallas
- Descripción de actividad: Medir presión y caudal de la bomba
- Intervalo de actividad: 2000 horas de operación
- Recurso requerido: Técnico mecánico con equipo de medición de presión.

8.5.2 Modo de falla #4.

- Descripción de falla: Ventilador con rodamientos desgastados
- Decisión: Cambio
- Descripción de actividad: Cambio de Rodamiento de Ventilador del Radiador
- Intervalo de actividad: 10 años de operación
- Recurso requerido: 2 Técnicos mecánico con herramientas menores.

8.5.3 Modo de falla #5 y #8.

- Descripción de falla: Radiador obstruido con polución
- Decisión: Monitoreo

- Descripción de actividad: Inspección del nivel de contaminación externo del radiador
- Intervalo de actividad: 1 día de operación
- Recurso requerido: Operador

8.5.4 Modo de falla #9.

- Descripción de falla: Manguera rota por cristalización
- Decisión: Monitoreo
- Descripción de actividad: Verificación de estado de manguera
- Intervalo de actividad: 250 horas de operación
- Recurso requerido: 1 técnico mecánico

8.5.5 Modo de falla #10.

- Descripción de falla: Piso del tanque roto
- Decisión: Búsqueda de fallas
- Descripción de actividad: Ejecución de prueba de tintas penetrantes
- Intervalo de actividad: 5 años calendario
- Recurso requerido: Inspector, técnico mecánico, tinta.

8.5.6 Modo de falla #12.

- Descripción de falla: Bomba de agua con empaque fisurado
- Decisión: monitoreo
- Descripción de actividad: Revisar testigo de fuga por empaque de la bomba
- Intervalo de actividad: 30 días calendario
- Recurso requerido: técnico mecánico

8.6 Acciones a realizar cuando no se puede prevenir la falla

Durante el transcurso de la ejecución del RCM al sistema de refrigeración del Generador se pudo evidenciar que hay modos de fallas los cuales se decidió que lo mejor es correr a falla.

La razón a esto se debe a que estos modos de falla ocurren por menos cada 4 años. Sin embargo es importante definir acciones a tomar cuando alguna de estas fallas ocurra.

8.6.1 Modo de falla #1, #3 y #7:

- Dispositivo en falla: Termostato
- Decisión: Correr a falla
- Prevención: Debido a que en el Almacén de Repuestos se cuenta con una alta rotación de termostato asegurar por lo menos una unidad siempre en el stock para realizar el cambio

8.6.2 Modo de falla #11:

- Dispositivo en falla: Radiador con grietas
- Decisión: Correr a falla
- Prevención: El radiador se debe desmontar completamente y ser reparado por el área interna especializada en radiadores.

8.6.3 Modo de falla #13:

- Dispositivo en falla: Fuga de refrigerante debido a empaque en sello de tapa.
- Decisión: Correr a falla
- Prevención: Debido a que en el Almacén de Repuestos se cuenta con una alta rotación de empaques se deben reemplazar inmediatamente se presente la anomalía.

8.6.4 Modo de falla #14:

- Dispositivo en falla: Línea del Arnés de ECM abierta.
- Decisión: Correr a falla
- Prevención: Reemplazar el cable por un nuevo conductor.

8.6.5 Modo de falla #16 y 17:

- Dispositivo en falla: Sensores en corto o abierto.
- Decisión: Correr a falla
- Prevención: Debido a que en el Almacén de Repuestos se cuenta con una alta rotación de sensores se deben reemplazar inmediatamente se presente la anomalía.

9 Recomendaciones para implementación

Para la correcta implementación del plan elaborado para el sistema de refrigeración del Generador, primeramente se realizara la socialización con el Superintendente de Mantenimiento el cual será el encargado de aprobar el presupuesto para la ejecución de las nuevas actividades. Seguido a esto, el área de planeación y programación estará en la responsabilidad de incluir estas actividades en los planes vigentes y proyectarlos para los futuros.

10 Conclusiones

La aplicación de los análisis de criticidad nos permitió identificar que el Generador XQ1750 es el equipo más crítico para la operación de infraestructura eléctrica en la compañía esto debido a que su cobertura es de 100% en la operación del sistema y ha tenido el mayor número de fallas durante los últimos 3 años. Así también, se pudo identificar que el sistema más crítico en la Operación del Generador es el de refrigeración.

La ejecución del RCM nos demostró que para que tengamos una correcta implementación, los equipos de trabajo deben ser multidisciplinarios, involucrando a la operación, personal de mantenimiento desde la parte operativa hasta el superintendente de mantenimiento.

Después de realizar el análisis del funcionamiento del sistema de refrigeración con el equipo especializado en generación, se pudo establecer cuáles son los modos de falla que afectan la operación del sistema.

Se puede observar que las actividades definidas al plan de mantenimiento basado en RCM corresponden 37.5% a búsqueda de fallas, 50% a monitoreo y 12.5% a cambio de piezas. Lo anterior podemos denotar que se aumentará la confiabilidad del sistema eléctrico con actividades predictivas sin intervenciones invasivas o cambios de piezas costosas.

Referencias Bibliográficas

- Alba H. (2017) Optimización del plan de mantenimiento de dos equipos generadores de energía eléctrica utilizando la metodología RCM.
- Ayala J. y Cáceres J. (2015) Modelo de mantenimiento basado en RCM en condición – CBM (Condition Based Maintenance) para los sistemas de transmisión, Subtransmisión y Subestaciones Eléctricas / TSM Colombia S.A.S.
- Bernal, P. (2014) Modelo estratégico de mantenimiento para las subestaciones y redes eléctricas de media tensión de una planta siderúrgica basado en la metodología RCM.
- Cañón A. (2020) Plan de mantenimiento aplicando RCM en los cargadores Caterpillar Modelo 992 C Serie 49Z de Drummond LTD.
- Devia J. (2017) Plan de mantenimiento para trabajos con tensión en Subestaciones de Nivel III, IV y V.
- Gómez N. (2015) Modelo de mantenimiento basado en RCM para las subestaciones portátiles 69 kV / 7,2 kV de la empresa Carbones del Cerrejón, LTD.

Granados C. y Cortés J. (2019) Formulación de un plan de mantenimiento basado en técnicas de confiabilidad RCM para equipos críticos de la empresa Canacol Energy en las facilidades de producción de Jobo y Pozos.

Hyunju L. y Hwan J. (2016) New stochastic models for preventive maintenance and maintenance, European Journal of Operational Research.

Mariño A. (2016) Modelo de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad (RCM) para las maquinas críticas de los procesos productivos de Cerescos SAS.

Mowbray J. (1997) Reliability centered Maintenance. New York: Industrial Press INC.

Ormazabal (2020) Manual de Operación Celda de Aislamiento Gas para distribución primaria

Ortiz D. (2017) Mantenimiento centrado en confiabilidad – MCC – Guía Práctica.

Parra C. y Crespo A. (2012) Ingeniería de mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos.

Rincon J. y Merchan S. (2017) Plan de mantenimiento basado en RCM para la red de distribución eléctrica de media tensión a 34 kV de Campo Rubiales propiedad de Ecopetrol S.A.

Sae J. (2002) Evaluation Criteria for Reability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers Inc.

Torres L. (2020) Metodología RCM aplicada a Transformadores de Potencia.

Triana M. y Oviedo G. (2018) Diseño del plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM para el circuito eléctrico de media tensión campo de producción Nare operado por la empresa Mansarovar.

CATERPILLAR, [En línea]. Available: <https://sis.cat.com>.