

Actualización de Estrategias de Mantenimiento aplicadas al Grupo Electrónico Cummins

QSV91G de una Planta de Generación Eléctrica a Gas usando Análisis de Criticidad

Germán E. Juliao

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

Arif José Eslait Barrios

M. Sc. En Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

A Dios, a Jesús y al Espíritu Santo por ser mi camino, mi luz y mi guía.

A mi madre por su invaluable sabiduría.

A mi padre quien me acompaña desde el cielo.

A mi hermana y a mi sobrina por su apoyo incondicional para ir alcanzando las metas trazadas.

A mi señora por su colaboración en ajustes de forma.

A mi hijo por ser un gran motivo de inspiración.

A todos los profesores de la especialización por sus importantes enseñanzas y recomendaciones.

A mis compañeros de cohorte XXII y en especial con quienes formé equipos de trabajo, por sus asertivos aportes y preguntas oportunas, permitiendo así la creación de valiosas ideas.

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander por aceptarme en su reconocida Especialización en Gerencia de Mantenimiento, la cual es afín con mi perfil laboral y a todos los profesores de la especialización debido a que sus invaluable consejos fueron útiles para la estructuración y del desarrollo del documento.

A mi familia por su total respaldo.

A mis jefes: Ing. Orlando Escorcía por su confianza y buenos deseos, al M. Sc. Arif Eslait por haber aceptado revisar el documento y por las autorizaciones para el uso de cierta información necesaria para el desarrollo del presente trabajo de grado.

A mis compañeros de la Planta de Generación: Ing. Andrés Gómez por la información histórica de fallas, por su tiempo y eficaz desarrollo en los análisis efectuados por fuera del horario laboral; Al Ing. Esp. Alfredo Scalzo por compartir experiencias relacionadas, por su colaboración con los ajustes en la herramienta de Excel para la Matriz de Criticidad y por su tiempo en los análisis realizados después de la jornada de trabajo y al Técnico Líder William Colina por su importante respaldo ante las consultas efectuadas por fuera del horario laboral.

A mis compañeros de estudio: Ing. Edwin Baena, Ing. Christian Ricardo e Ing. Mario Gómez porque sus aportes permitieron otros enfoques en distintos temas.

Tabla de Contenido

Introducción.....	23
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
1.1 Justificación del Plan Propuesto.....	24
2. OBJETIVOS	26
2.1 Objetivo General.....	26
2.2 Objetivos Específicos.....	26
3. MARCO TEÓRICO.....	27
3.1 Marco Conceptual	28
3.2 Análisis de Criticidad	29
3.3 Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM).....	30
4. METODOLOGÍA	34
4.1 Etapas de la investigación y metodología - Análisis de Criticidad	34
4.2 Etapas de la Investigación y Metodología - RCM.....	34
5. CLASIFICACIÓN DE LOS ACTIVOS ACTUALES	36
5.1 Inventario de Partes Eléctricas	36
5.2 Inventario de Partes Estáticas.....	37
5.3 Inventario de Partes de Instrumentación	38

5.4 Inventario de Partes Rotativas.....	39
6. Tablas	41
Tabla 1.....	41
Ventajas y Desventajas de los Grupos Electr6genos que Funcionan con Gas Natural.	41
Tabla 2.....	42
Etapas y Alcances del Mantenimiento.....	42
Tabla 3.....	43
Equivalencia de Nombres de Partes entre la Norma ISO 14224 y la Monograf1a	43
Tabla 4.....	44
Niveles y Criterios para Evaluaci6n de los Impactos de las Fallas.....	44
Tabla 5.....	46
Criterios para Determinar la Frecuencia de Falla.....	46
Tabla 6.....	47
An1lisis de Criticidad de Partes El6ctricas.....	47
Tabla 7.....	49
An1lisis de Criticidad de Partes Est1ticas.....	49
Tabla 8.....	51
An1lisis de Criticidad de Partes de Instrumentaci6n.....	51
Tabla 9.....	54
An1lisis de Criticidad de Partes Rotativas.....	54
Tabla 10.....	56
Tiempos de Mantenibilidad 2021 y 2022.....	56

Tabla 11	57
Plan de Mantenimiento M0 (750 h).....	57
Tabla 12	58
Plan de Mantenimiento M1 (1500 h).....	58
Tabla 13	59
Plan de Mantenimiento M2 (3000 h).....	59
Tabla 14	61
Plan de Mantenimiento M3 (6000 h).....	61
Tabla 15	63
Plan de Mantenimiento M4 (15000 h).....	63
Tabla 16	65
Plan de Mantenimiento M5 (30000 h).....	65
Tabla 17	67
Plan de Mantenimiento M6 (60000 h).....	67
7. Figuras	71
Figura 1	71
Vista del Panel de Diagnóstico de la Planta de Generación en Tiempo Real.	71
Figura 2	71
Grupo Electrónico Cummins QSV91G.	71
Figura 3	72
Generador Síncrono conectado con la Celda de Remonte y con la Celda QM.....	72
Figura 4	72

Generador Síncrono con su Tablero de Control Local GIB y Motor (lado A).	72
Figura 5	73
Motor y Caja de Engranajes (lado A).	73
Figura 6	73
Motor conectado a la Válvula Solenoide de Suministro de Gas.	73
Figura 7	74
Tren de Gas.....	74
Figura 8	74
Motor y Generador (lado B).	74
Figura 9	75
Datos de Placa del Motor.....	75
Figura 10	75
Datos de Placa del Alternador.	75
Figura 11	76
Ubicación de las Partes Auxiliares Mecánicas y de las Partes Auxiliares de Instrumentación del Grupo Electrógeno.	76
Figura 12	77
Componentes del Tren de Gas.....	77
Figura 13	78
Matriz de Criticidad.....	78
Figura 14	79
Matriz de Criticidad Jerarquizada.....	79

Figura 15	80
Porcentaje de Criticidad de los Equipos, Componentes y Partes	80
Figura 16	81
Matriz de Riesgos para RCM.	81
Figura 17	82
Definición RCM de Funciones del Regulador de Gas.	82
Figura 18	83
Hoja RCM del Regulador de Gas.	83
Figura 19	86
Definición de Funciones de la Válvula Solenoide.	86
Figura 20	87
Hoja RCM de la Válvula Solenoide.	87
Figura 21	89
Definición de Funciones del Acelerador.	89
Figura 22	90
Hoja RCM del Acelerador.	90
Figura 23	94
Definición de Funciones del Árbol de levas.	94
Figura 24	95
Hoja RCM del Árbol de levas.	95
Figura 25	97
Definición de Funciones del Cigüeñal.	97

Figura 26	98
Hoja RCM del Cigüeñal.	98
Figura 27	99
Definición de Funciones del Interruptor de Potencia.	99
Figura 28	100
Hoja RCM del Interruptor de Potencia.	100
Figura 29	101
Definición de Funciones del Transformador Seco de 400 kVA.	101
Figura 30	102
Hoja RCM del Transformador Seco de 400 kVA.	102
Figura 31	104
Definición de Funciones del Arnés.	104
Figura 32	105
Hoja RCM del Arnés.	105
Figura 33	106
Algoritmo de Decisión RCM.	106
8. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD	107
8.1 Formulación en el Análisis de Criticidad	107
8.1.1 Consideraciones de las Asignaciones Potencia, Margen de Contribución y TFS a los activos ..	108
8.1.2 Consideraciones del Porcentaje de Afectación y el Costo de Reparación de las Partes	111
8.1.3 Cuantificaciones de las Frecuencias de Falla e Impactos en la Salud y la Seguridad, Ambiental y Reputacional	115

8.1.4 Cuantificaciones por Pérdida de Generación y por Impacto Económico en COP	118
8.15 Clasificación del Impacto en la Generación	122
8.1.6 Calificación del Impacto Económico en Puntaje (Criterios del Impacto) y de los Resultados ..	125
8.1.7 Listado de Partes Críticas.....	129
8.1.8 Listado de Partes Semi críticas	129
9. ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD	131
10. RESULTADOS DEL RCM	132
11. CONCLUSIONES	133
12. RECOMENDACIONES	134
Referencias Bibliográficas	135
Apéndices	137
Apéndice A	137
Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2017.....	137
Apéndice B	138
Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2018.....	138
Apéndice C	139
Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2019.....	139
Apéndice D	140
Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2020 (parte 1).	140

Apéndice E	141
Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2020 (parte 2).	141
Apéndice F	142
Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2021.....	142
Apéndice G.....	147
Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2022.....	147

Glosario y Siglas

Acelerador (Throttle): Mecanismo que regula la mezcla de aire/combustible para regular la potencia o la velocidad del motor.

Acople de Disco de Goma (Arcusaflex): Elemento de acople entre el motor y la caja de engranajes que absorbe los altos torques en cada arranque.

Alternador (Generador Síncrono): Máquina eléctrica rotativa con velocidad constante que utiliza una excitatriz para producir corriente directa y conseguir la tensión que excita al rotor.

Anillos del Pistón: Partes circulares de sección rectangular que mantienen la distancia entre el pistón y el cilindro, controlan el flujo de aceite y mantienen cerrado al cilindro.

Arnés Principal: Arreglo de conductores eléctricos en un mazo que transportan corriente a los sistemas del Grupo Electrónico que la necesiten para su funcionamiento.

Árbol de levas: Mecanismo formado por un Eje de levas y diferentes Bielas que controlan la apertura y el cierre de las Válvulas.

AVR (siglas en inglés): Regulador de Voltaje Automático. Es un dispositivo electrónico que ajusta las variaciones de tensión para suministrar energía de manera uniforme y confiable. Algunos modelos tienen una tarjeta auxiliar.

Banco de Resistencias: Arreglo de elementos resistivos utilizados para control de alternadores.

Baterías: Dispositivos formados por celdas electroquímicas que convierten la energía química en energía eléctrica.

Bomba de Lubricación: Suministra aceite de motor desde el tanque por galerías, tuberías y mangueras al sistema de lubricación.

Bomba de Lubricación de la Caja de Engranajes: Suministra aceite para caja de engranajes desde su tanque para lubricar, transmitir potencia, bajar temperatura, limpiar y sellar a los piñones y su encerramiento.

Bomba de Refrigeración: Proporciona refrigerante desde el tanque por galerías, tuberías y mangueras al sistema de refrigeración.

Bomba de Prelubricación: Provee aceite de motor desde el tanque por galerías, tuberías y mangueras a las partes más críticas del sistema de lubricación durante el arranque.

Caja de Engranajes (Gearbox): Aumenta por medio de relaciones de piñones la velocidad de salida del motor de 1500 RPM a 1800 RPM.

CCD (siglas en inglés): Controlador de Capacidad de Bobina, es el Módulo de Ignición de las Bobinas.

CCM: Centro de Control de Motores. Tableros Eléctricos con sus respectivos accionamientos. Los hay para los Motores de los Radiadores a 480 V, para los Motores Extractores de aire caliente a 480 V y para Servicios Auxiliares a 220 V.

Celda de Remonte: Gabinete de direccionamiento de cableado de Media Tensión (13200V).

Celda QM: Gabinete de protección con apertura y cierre por seccionador de media tensión, con opciones de protección con fusibles, interruptores en vacío (y aislados en gas SF₆) y que también pueden motorizarse para controlarse remotamente.

CENSE (siglas en inglés): Software de diagnóstico cargado en el ECM Cummins. Constructivamente viene instalado en un módulo de sensores y en un módulo auxiliar.

Cilindro: Recinto donde se desplaza el Pistón.

Comando de Potencia (PowerCommand): Programa de Control para Grupos Electrónicos Cummins.

Consecuencia: Valorización asignada a la incidencia que provoca la falla en las áreas de salud, de seguridad, de medio ambiente y de reputación.

Costo de Reparación: Cuantía resultante de corregir una falla.

Culata: Parte superior del Motor de Combustión Interna que permite el cierre de las Cámaras de Combustión.

ECM (siglas en inglés): Módulo de Control del Motor. Registra las variables censadas.

Enfriador de Aceite: Radiador de menor tamaño que funciona al encender el Motor y enfría al fluido gracias a aletas de refrigeración que funcionan con el flujo de aire exterior.

DE (siglas en inglés): Rodamiento Conducido del Generador Síncrono de Ejecución Forzada.

Diodos Rectificadores: Dispositivo semiconductor que transforma la corriente alterna en corriente directa. Son de Silicio o de Germanio.

Filtro de Aceite: Elemento con capas porosas que elimina las partículas contaminantes del lubricante.

Filtro de Aire: Elemento que elimina las partículas y bacterias del aire.

FIT (siglas en inglés): Medidor Transductor de Entrada de Flujo de aire.

Frecuencia de Falla: Cantidad de veces en que el equipo, componente o parte deja de funcionar.

FOT (siglas en inglés): Medidor Transductor de Salida de Flujo de aire.

Frecuencia: Número de fallas que presenta el equipo, componente o parte por año.

FSV (siglas en inglés): Válvula de Suministro de Combustible.

Fusibles HH para Celdas QM de 130 A: Elemento eléctrico de protección a 13200 V.

G#: Grupo Electrógeno Número.

GIB (siglas en inglés): Caja de Terminales del Generador (Síncrono). Es el tablero local donde van los módulos de control del Alternador, los relevos, sus bases, fuentes y demás accionamientos.

Grupo Electrónico: Conjunto de equipos Motor, Caja de Engranajes y Alternador.

Hierro Dúctil Austemperizado: Material de fundición esferoidal con alta dureza, resistencia mecánica y resistencia al desgaste, a la fatiga y a la corrosión como los aceros endurecidos, forjados y moldeados.

HMI (siglas en inglés): Interfaz Hombre - Máquina. Pantalla de visualización, control y programación. La hay remota y local.

HP (siglas en inglés): Caballos de Potencia.

HT (siglas en inglés): Alta Temperatura.

Índice de Criticidad: Frecuencia de la Falla por la Consecuencia de la Falla.

Ignición: Proceso químico que ocurre cuando una chispa eléctrica desencadena la descarga de un gas.

Impacto Ambiental: Situación no deseada que puede impactar al medio ambiente.

Impacto Económico: Costo de la pérdida de Generación más el costo de arreglar la falla (partes y mano de obra).

Impacto en la Salud: Estado no deseado que con afectación en el estado médico del trabajador. Usualmente va asociado con El Impacto en la Seguridad.

Impacto en la Seguridad: Efecto indeseado que afecta a los seres humanos. Muchas veces es proporcional con el Impacto en la Salud.

Impacto Reputacional: Escenario no deseado que puede causar pérdida de imagen.

Interruptor de Potencia: Schenider Electric Evolis. Elemento electromecánico que permite cerrar y abrir circuitos de Media Tensión energizados

Lainas de Acople de la Caja de Engranajes: Placas metálicas de diferente espesor que compensan espacios entre dos o más componentes. Útiles para alinear.

LT (siglas en inglés): Baja Temperatura.

Mantenedor de Nivel (Murphy LM300): Controla el nivel de aceite en el Tanque del Motor.

Margen de Contribución: Dinero incremental generado por la venta de energía después de restar los costos variables de la Planta de Generación. También se conoce como Contribución Marginal.

Módulo de Comando CM700: Controlador para calibrar, diagnosticar y buscar fallas.

Módulo 558: Controlador de Señales. Ubicado en el lado B del Motor.

Motor a Gas: Máquina térmica de larga vida que opera a mayor temperatura que un motor Diesel, son menos ruidosos por lo general más limpios que los motores de combustible líquido. Se utilizan para obtener energía mecánica cuando hay una red de gas cercana.

Motor de Arranque: Dispositivo eléctrico que hace girar el Motor a Gas para comenzar su funcionamiento basado en su propia potencia.

Motor Extractor del Cuarto de Máquinas: Motor Siemens de 4.8 HP. Su hélice se puede quitar y poner. Evacua el aire caliente del área de Generación hacia el exterior.

Motor de la Bomba de Prelubricación: Entrega energía mecánica para que la Bomba de Prelubricación pueda realizar su función.

Motor Ventilador del Radiador: Motor de 5 HP que ayuda a disipar hacia el exterior el calor emitido por el líquido circulante en el Radiador.

Múltiple (Manifold): Colector de Admisión o de Escape que distribuye de forma equitativa la mezcla en los Cilindros.

NDE (siglas en inglés): Rodamiento No Conducido del Generador Síncrono de Ejecución Forzada.

Panel de Diagnóstico: Pantalla multifuncional que permite ver en varias vistas parámetros de operación en tiempo real.

Pararrayos: Instrumento conductor que aterriza un rayo ionizado protegiendo así personas y equipos.

PCC (siglas en inglés): Controlador del PowerCommand (Comando de Potencia). Tiene un Inversor.

PCC330: Tarjeta madre del PCC.

Pérdida de Generación: Generación sobre unidad de tiempo (kW/h) por el Tiempo Fuera de Servicio en horas por el Margen de Contribución (\$ COP/kW).

Pistón: Parte móvil del Cilindro. Transmite la energía de los Gases de Combustión al Cigüeñal.

Planta Auxiliar de 25 kVA: Grupo Electrónico Cummins con Motor Diesel para dar arranque a algunos circuitos importantes con el fin de restablecer condiciones de operación pre falla.

PLC (siglas en inglés): Controlador Lógico Programable. Computador Modular que automatiza procesos eléctricos, mecánicos, hidráulicos. Da respuestas en tiempo real.

PMG (siglas en inglés): Generador de Imán Permanente. Dichos Imanes se mueven frente a Bobinas Fijas, lo cual produce un Campo Magnético que con el movimiento y los conductores permite entregar energía eléctrica.

PSU (siglas en inglés): Unidad de Alimentación de Potencia o Fuente de Alimentación a la Unidad Reguladora.

Radiador: Componente que disipa el calor del líquido.

RCM (siglas en inglés): Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Regulador de Gas: Dispositivo que reduce la presión de un fluido en la red de alimentación.

Reingeniería: Es la mejora de procesos gracias a un análisis concienzudo que conlleva a repotenciar el rendimiento en costos, calidad, servicio y eficacia.

Relé Schneider Electric Sepam Familia 80: Dispositivo multifuncional electrónico para protección de Subestaciones, Motores y Alternadores con funciones pregrabadas y con la opción de programar otras funciones específicas.

Relevos de 24V: Dispositivo electromagnético que opera como un interruptor controlado eléctricamente por una bobina y un electroimán que abren o cierran contactos que controlan en sus salidas a otros circuitos usualmente de mayor potencia que el circuito de entrada. Este tipo es enchufable.

Rotor: Parte giratoria del Alternador, produce un campo magnético en el Estator, lo cual es la Fuerza Electromotriz resultante, es decir energía eléctrica.

Sensor de Posición del Árbol de levas: Dispositivo que le avisa al ECM la posición del primer cilindro para calcular el momento de encendido y el momento de la inyección de combustible.

Sensor de Presión de la Caja de Engranajes: Censa la Presión en dicho receptáculo.

Sensor de Presión del Aceite: Mide la Presión del Sistema de Lubricación.

Sensor de Temperatura de la Caja de Engranajes: Cuantifica la Temperatura en dicha ubicación.

Sensor de Temperatura del Aceite: Afora la Temperatura del Sistema de Lubricación.

Sensor de Temperatura del Devanado del Alternador: Se utiliza el Sensor Pt100. Viene con el equipo que convierte la señal del sensor en grados.

Sensor de Velocidad/Tiempo: Indica la Velocidad del Motor tomando como referencia un diente de la Volanta.

Sistema de Puesta a Tierra (SPT): Conexión eléctrica que permite dirigir las corrientes de fuga a una referencia segura para el usuario.

Sistema de Ventilación de Entrada al Cuarto de Máquinas: Ventanal tipo rejilla, Tiene un Filtro de Partículas. Permite la entrada de aire al cuarto de máquinas.

Tarjeta Auxiliar 104: Regulador de Placa que controla varias funciones del Grupo Electrónico.

Tarjeta Auxiliar 105: Regulador de Placa que controla otras funciones del Grupo Electrónico.

Termocuplas del Alternador: Sensor Bimetálico que monitorea las temperaturas de trabajo del Generador Síncrono.

Termostato: Dispositivo que abre o cierra el paso de refrigerante y en algunos casos de aceite cuando lo exige la temperatura de operación del fluido.

Tiempo Fuera de Servicio (TFS): Período en que está detenida la Planta de Generación mientras que se corrige una falla.

Transformador: Elemento eléctrico que aumenta o disminuye la tensión de entrada y la corriente con respecto a la de salida al variar el número de vueltas del bobinado del núcleo. Se refrigeran con aceite especial.

Transformador Seco: Elemento eléctrico que aumenta o disminuye la tensión de entrada y la corriente con respecto a la de salida al variar el número de vueltas del bobinado del núcleo. Refrigerado por aire.

Turbocargador: Sistema de sobrealimentación que comprime el aire de escape y lo recircula nuevamente hacia el Motor, esto permite mezclar más aire con más combustible incrementando la potencia. El aire debe tener un sistema de enfriamiento y una válvula de alivio para liberar el aire que no sea requerido.

Unidad Reguladora: Controlador de Nivel de Tensión de las Baterías de Respaldo del GIB.

Válvula de Cierre de Gas: Llave manual con palanca.

Válvula de Despresurización: Elemento que descarga exceso de gas si es necesario.

Válvula Solenoide: Dispositivo que comprueba que la presión de gas esté dentro del rango deseado.

Varistor: Elemento electrónico que protege circuitos contra variaciones de tensión.

Volanta: Rueda dentada pesada que se opone a las aceleraciones bruscas de un movimiento rotativo. Da referencias para encendido y calibración.

Resumen

Título: Actualización de Estrategias de Mantenimiento aplicadas al Grupo Electrónico Cummins QSV91G de una Planta de Generación Eléctrica a Gas usando Análisis de Criticidad.^{1*}

Autor: Germán Eugenio Juliao Peñaranda.

Palabras Clave: Grupos Electrónicos, Motores a Gas, Planta de Generación, Análisis de Criticidad, RCM.

Descripción: La presente monografía fue realizada al haber identificado la importancia de actualizar las Estrategias de Mantenimiento aplicadas a un Grupo Electrónico a Gas cuyo componente principal es un Motor Cummins QSV91G. En la Planta de Generación hay cuatro unidades operacionales, las cuales llevan operando más de doce años. Debido a su tiempo de trabajo y para ir delante de la competencia, es primordial modificar e ir incluyendo las mejoras en los Planes de Mantenimiento a los Motores Principales de los Grupos Electrónicos con el fin de reducir los costos de operación de la Planta de Generación y la inclusión de labores de mantenimiento más efectivas para disminuir las salidas de los equipos.

La primera parte del estudio consistió en actualizar el listado de partes principales del Grupo Electrónico (incluyendo el Tren de Gas y el Acople entre el Motor a Gas y la Caja de Engranajes) haciendo énfasis en el Motor a Gas debido al costo de sus partes, al tiempo para conseguir algunas de ellas, a la complejidad de su instalación y a que abarca diferentes sistemas con distinta operación (lubricación, refrigeración, tren de gas, admisión, escape, ignición, arranque y carga, potencia mecánica, control, eléctrico y sensores). En la segunda parte del estudio se realizó un Análisis de Criticidad en el Motor a Gas para determinar las partes: Críticas, semi críticas y no críticas. Durante la tercera parte del estudio se aplicó RCM a las partes críticas. En la cuarta y última parte del estudio se propusieron modificaciones al Plan de Mantenimiento para cambiar, quitar o adicionar labores en los Grupos Electrónicos, las cuales causarían mayor confiabilidad, eficiencia, seguridad, compromiso y mejora de imagen en el Área de Mantenimiento. Si bien algunas tareas implicaron una inversión, al final resultaron en menos paradas y menores costos por fallas imprevistas

* Trabajo de Grado

¹Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: M. Sc. Arif José Eslait Barrios.

Abstract

Title: Update of Maintenance Strategies applied to a Cummins Generator Set QSV91G of a Gas Power Station using Criticality Analysis.*

Author: Germán Eugenio Juliao Peñaranda.²

Key Words: Generator Set, Gas Engine, Power Plant, Criticality Analysis, RCM.

Description: This monograph was carried out after having identified the importance of updating the Maintenance Strategies applied to a Gas Generator Set whose main component is a Cummins QSV91G Engine. In the Generation Plant there are four operational units, which have been operating for more than ten years. Due to their work time and to be ahead of the competition, it is essential to modify and include improvements in the Maintenance Plans for the Main Engines of the Generator Sets in order to reduce the operating costs of the Generation Plant and the inclusion of more effective maintenance tasks to reduce equipment outages.

The first part of the study consisted of updating the list of main parts of the Generator Set (including the Gas Train and the Coupling between the Gas Engine and the Gear Box) emphasizing the Gas Engine due to the cost of its parts, to the time to achieve some of them, to the complexity of its installation and to the fact that it covers different systems with different operations (lubrication, cooling, gas train, intake, exhaust, ignition, starting and charging, mechanical power, control, electrical and sensors) . In the second part of the study, a Criticality Analysis was carried out on the Gas Engine to determine the parts: Critical, semi-critical and non-critical. During the third part of the study, RCM was applied to the critical parts. In the fourth and final part of the study, modifications to the Maintenance Plan were proposed to change, remove or add tasks in the Generator Sets, which would cause greater reliability, efficiency, safety, commitment and image improvement in the Maintenance Area. While some tasks involved an investment, they ultimately resulted in fewer downtimes and lower unplanned failure costs.

* Degree Work

²School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: M. Sc. Arif José Eslait Barrios.

Introducción

La Planta de Generación a Gas fue fundada el 29 de agosto de 2008 y la razón por la que se escogió el gas como combustible de los motores del grupo electrógeno puede verse en la Tabla 1.

Las prioridades para la Planta de Generación han sido: Mantener a los clientes existentes, conseguir nuevos usuarios y ser competitiva en el mercado industrial. Las paradas de equipo no deseadas ocasionan el no suministro de fluido eléctrico a los clientes provocándoles detenciones en sus procesos de producción lo cual se traduce como pérdidas económicas, probables daños a equipos e incluso afectaciones en la seguridad y medio ambiente que hacen que se pierda la confianza en el proveedor de servicio.

Con base en lo anterior, a nivel gerencial se detectó la oportunidad de mejora en el mantenimiento si se renovaban las estrategias que se venían llevando hasta el año 2021.

1. Planteamiento del Problema

El negocio de la Planta de Generación a Gas consiste en generar, distribuir y comercializar electricidad a doce clientes, los cuales reciben el fluido a través de dos circuitos de distribución: El circuito A y el circuito B. La disponibilidad de nuestro servicio es un aspecto vital del negocio porque si presentamos fallas en la generación o en la distribución, varios clientes podrían pasarse al circuito de otro operador de red; Lo anterior ocurre por la existencia de transferencias que permiten desconectarse de un circuito y alimentarse de otro. Algunos usuarios llegan a demorar semanas en regresar a consumir fluido eléctrico de nuestro Sistema de Potencia.

Los Grupos Electrógenos de la Planta de Generación a Gas ubicados en la Zona Franca de Barranquilla tienen más de doce años de instalados, razón por la cual es necesario modernizar las Estrategias de Mantenimiento a dichos equipos, a sus componentes y a sus partes más críticas para hacer más eficaces los planes de acción, de forma tal que aumenten la confiabilidad y que reduzcan los costos, manteniendo altos estándares de salud, seguridad, ambientales y reputacionales.

Para lo anterior se utilizará la información estadística existente con sus registros de fallas. Una vez que se tengan dichos resultados, se hará un Análisis de Criticidad y después un RCM con un enfoque hacia las tareas y las labores de mantenimiento idóneas para los Grupos Electrógenos.

1.1 Justificación del Plan Propuesto

Como el negocio de la empresa es vender energía a clientes conectados a nuestras redes de distribución es primordial que cada intervención de mantenimiento sea lo más eficaz posible. Los programas existentes de mantenimiento no han sido actualizados desde el punto de vista

estratégico y por lo tanto es importante incluir y poner en marcha técnicas de mantenimiento más productivas y que fortalezcan la confianza de los clientes en el servicio suministrado.

El motivo de la monografía es minimizar tiempos indeseados de no disponibilidad, implementar tareas que eviten fallas latentes en los equipos, componentes y partes, actualizar las labores que se vienen realizando y posicionarnos como empresa favorita de generación de electricidad entre los clientes de la Zona Franca de Barranquilla.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Actualizar las Estrategias de Mantenimiento para los activos de una Planta de Generación de Electricidad a Gas que utiliza Motores Cummins QSV91G en sus Grupos Electrógenos mediante la Metodología de Análisis de Criticidad con la meta de disminuir las fallas en los equipos y mejorar el servicio al cliente.

2.2 Objetivos Específicos

- Reunir, clasificar y renovar la información sobre los Activos Físicos Operacionales existentes en la Planta de Generación a Gas.
- Efectuar un Análisis de Criticidad integrando los aspectos de salud, seguridad, económicos, ambientales y reputacionales de la Planta de Generación para priorizar los Motores Cummins QSV91G de los Grupos Electrógenos, sus componentes y sus partes.
- Aplicar RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) a las partes críticas para reforzar la Modernización de las Estrategias de Mantenimiento para estos componentes.
- Mejorar los Indicadores de Gestión de los Motores Cummins GSV91G de los Grupos Electrógenos en cuanto a Disponibilidad y a Ventas de Energía.

3. Marco Teórico

Los autores de la Escuela de Gestión Empresarial de Integra Markets (2018) indican que las labores de mantenimiento modernas se enfocan en hacer estudios de los equipos y condiciones con probabilidad de falla utilizando herramientas de estadística descriptiva, procedimientos de medición, gestión económica y gestión integración entre departamentos de la misma empresa. Por lo tanto actualizar estrategias de mantenimiento disminuye los costos resultantes de fallas en los equipos que detienen la producción, equilibra el punto de operación de almacén entre no tener repuestos cuando se necesiten y comprar innecesariamente, otorga seguridad a los técnicos al realizar las tareas diarias, disminuye los costos de producción aumentado la competitividad en la industria, evita el desperdicio de fluido eléctrico (materia prima y mano de obra), permite manejar el presupuesto del área con asertividad, extiende la vida útil de los equipos, cumple con los estándares de seguridad indicados por el cliente y por los organismos de regulación, afianza el cuidado ambiental mientras se efectúa la labor y permite controlar las tareas actuales de mantenimiento.

Si una empresa está bien liderada, trabajará en la creación de un programa de gestión de mantenimiento contemporáneo teniendo en cuenta que será necesario implementar nuevas tecnologías e invertir en la capacitación de su personal de planta; Lo anterior conllevará a un incremento de la eficiencia.

Como dice Park (1998), para llegar al punto óptimo donde se reduce la cantidad de fallas al costo global más bajo se debe escoger entre las estrategias de mantenimiento existentes (no se tiene en cuenta el mantenimiento correctivo porque se efectúa después de la falla):

- Mantenimiento Preventivo o basado en el tiempo. Para partes de bajo costo. Hay que estipular intervalos de cambios, lubricación, entre otros. Se debe revisar la información de los ciclos de vida y redactar procedimientos con tareas. Dichos registros se almacenarán en la hoja de vida del equipo y servirán como estadísticas para análisis de fallas y revisar costos de mantenimiento.
- Mantenimiento Predictivo o basado en la condición de los equipos. Se cambia solamente si hay una parte no conforme cuyo estado pueda influir en la funcionalidad del equipo. Se deben medir: La vibración, el ruido y la temperatura, además de llevar registros de análisis de aceite.
- El Mantenimiento Proactivo ayuda a evitar que aparezca una parada del equipo buscando desaparecer la ocurrencia de defectos determinando cómo y cuándo éstos podrían surgir. Se basa en desviaciones de medidas registradas (p.13-14).

3.1 Marco Conceptual

Las fallas imprevistas son la situación menos deseada que puede presentarse porque colocan en estado no funcional al equipo, por lo tanto, es conveniente conocer en qué etapa o en qué etapas del mantenimiento se encuentran las estrategias de mantenimiento a implementar. Ver la Tabla 2. Se efectuó una revisión y se encontró que el Análisis de Criticidad aparece en la Etapa II, el RCM en la Etapa III y las Estrategias de Mantenimiento en la Etapa IV.

Los equipos de la planta reciben los mantenimientos predictivos recomendados por el fabricante.

Los resultados obtenidos en la monografía y que aportaran sobre el estado actual son:

- Concentrar las tareas de mantenimiento en los componentes y partes críticas de los equipos.
- Actualizar los planes de mantenimiento recomendados por el fabricante.
- Cimentar la imagen de la empresa ante los clientes.
- Apersonar a los técnicos de sus funciones y generar proactividad al verse mejoras en la gestión de los procesos y operación de los equipos.
- Disminuir los tiempos de reparación por fallas, recortar los tiempos por equipos no operativos y atenuar la frecuencia de fallas.

El tiempo de trabajo de los equipos exige la aplicación de estrategias de mantenimiento para obtener la mejor relación costo-beneficio mientras se puedan adquirir nuevos grupos electrógenos.

Las frecuencias de mantenimiento se están efectuando en los grupos electrógenos de la siguiente manera según lo indicado por (Wooding et al. , 2010): M1 cada 1500 horas, M2 cada 3000 horas, M3 cada 6000 horas, M4 cada 15000 horas (reparación provisional), M5 cada 30000 horas (reparación intermedia) y M6 cada 60000 horas (reparación mayor) (p.8-17).

Los procesos de evaluación que se utilizaran son:

3.2 Análisis de Criticidad

Interpretando la definición de García (2003): Es un método que facilita escoger y ordenar los equipos más importantes con respecto a los de importancia parcial y a los de menor importancia en una planta industrial.

Los niveles de criticidad son:

- Equipos críticos: Su detención o presentar fallas influye considerablemente en la producción.
- Equipos importantes (semi críticos): Su detención, daño u operación irregular afecta la producción,
- Equipos prescindibles (no críticos): Tienen baja repercusión en la producción.

Cualquier irregularidad o anomalía se verá reflejada en la producción, en la calidad, en el mantenimiento y en medio ambiente. La afectación en cada uno de éstos cuatro campos será valorizada de mayor a menor.

Si un equipo da Crítico se aplicará un modelo de mantenimiento programado.

Si un equipo resulta semi crítico hay que visualizar el costo de una parada. Si éste es significativo, el modelo de mantenimiento será uno de los programados. Si el costo es bajo se debe revisar el costo de una probable avería. Si el equipo tiene partes cuya avería sea un gasto considerable en materiales y en mano de obra, se utilizará un modelo de mantenimiento programado; En caso de que el costo de la probable avería sea bajo, se hará un mantenimiento correctivo.

Si un equipo resulta no crítico se aplicará un mantenimiento correctivo (p.24-27).

3.3 Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM)

La norma IEC 60300 da la siguiente definición:

“Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es un método para establecer el plan de mantenimiento el cual permitirá alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y los niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación.”

El RCM equilibra el costo del mantenimiento y la confiabilidad del servicio (Ortiz, 2017, párr. 3).

La metodología está basada en el desarrollo de encontrar las respuestas a las siguientes siete preguntas:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de ejecución operacionales del activo?
- ¿Cómo falla el equipo, con respecto a la función operacional que realiza?
- ¿Qué ocasiona la falla operacional?
- ¿Qué sucede al fallar?
- ¿Qué pasa si falla?
- ¿Qué puede efectuarse para prevenir la falla?
- ¿Qué puede hacerse si no se sabe cómo prever la falla? (Ortiz, 2017, párr. 1).

Según Park (1998), Los cinco objetivos del RCM son:

- Definir y justificar las tareas de mantenimiento preventivo mejorado que certifiquen la seguridad del mantenimiento a efectuar con base en el estado financiero.
- Redefinir las tareas programadas de mantenimiento para ser un medio de progreso en la empresa.
- Mejorar la eficiencia del equipo en cuanto a la seguridad del mantenimiento.

- Efectuar recomendaciones técnicas para los equipos.
- Implementar o mejorar la base de datos de mantenimiento y de producción (dan soporte al programa de mantenimiento, permite actualizarlo y fundamenta la toma de decisiones). (p.241-245).

Parafraseando a González (2005) quien amplía los propósitos de aplicar RCM.

Desde el punto de vista de los costos:

- Disminuir los mantenimientos correctivos de un 40% a un 10%.
- Estipular tácticas y metas para cambiar los mantenimientos preventivos usuales por mantenimientos predictivos.
- Disminuir los mantenimientos contratados.
- Decrecer las paradas no deseadas implementando reingeniería.

Desde la óptica de servicio:

- Familiarizarse más con las necesidades de los clientes.
- Listar los niveles de atención.
- Aminorar las fallas.
- Fortalecer las relaciones entre Producción y Mantenimiento.

Desde el marco referencial de calidad:

- Aumento de la disponibilidad por menos mantenimientos preventivos y entre un 2 y 10% menos de mantenimientos correctivos.
- Erradicación de fallas características.

- Creación de conciencia de las mejoras que está haciendo Mantenimiento.
- Aumento en la calidad de la documentación permitiendo auditabilidad.

Desde la perspectiva del tiempo:

- Disminución de paradas programadas para efectuar revisiones extensas.
- Mayores períodos entre paradas debido a monitoreos predictivos.
- Menores tiempos de reparación por mayor entendimiento de los equipos.

Desde el enfoque de riesgos:

- Fortalecimiento de la seguridad en el entorno.
- Identificación y revisión de fallas ocultas no identificables en rutinas repetitivas.
- Amenguamiento de fallos en cascada.
- Tareas de rutina con peligros disminuidos.

Resaltando a González (2005), se logran identificar las ventajas del RCM.

- Resalta la seguridad y el cuidado ambiental.
- Al ser estructurado, puede ser auditado y esta facilidad de medición le da credibilidad.
- Integra con facilidad cualquier nueva tecnología en su procedimiento.
- Involucra a todo el equipo humano.
- Saca a flote y comprueba oportunidades de mejora y problemas transversales tales como registros insuficientes.
- Se enfoca primero en robustecer la confiabilidad del equipo, luego aparecen menores costos y aumentos de disponibilidad.

- Determina acciones de mejora no visibles con otras metodologías.
- Motiva.

Desde mi punto de vista, el RCM tiene las fortalezas que las debilidades, por ello se ha mantenido como una poderosa herramienta de análisis.

4. Metodología

4.1 Etapas de la investigación y metodología - Análisis de Criticidad

Se aplicó el análisis de criticidad para obtener el impacto de las fallas en los equipos basado en criterios de seguridad y medio ambiente, disponibilidad y calidad.

Se identificaron todos los equipos, componentes y partes del grupo electrógeno para identificar los críticos, semi críticos y no críticos. Se utilizará el listado de SAP, se asignará un tipo o clase (acorde con su aplicación) a cada activo.

El equipo de trabajo estuvo integrado por el Profesional de Plantas de Energía, el Profesional de Mantenimiento y el Profesional de Redes y Conexiones.

La norma ISO 14224 clasifica, define límites, estipula subdivisiones de equipos y describe los datos específicos para motores a gas y para generadores, la cual sirvió de guía para la identificación de equipos. Ver la tabla 3.

4.2 Etapas de la Investigación y Metodología – RCM

En la aplicación del RCM trabajó el mismo equipo de trabajo del Análisis de Criticidad, pero reforzado con la presencia del Técnico Líder (Auxiliar de Planta) quien cuenta con una amplia experiencia en mecánica, hidráulica, electricidad e instrumentación. Como la Matriz de Riesgos de la Planta de Generación está siendo actualizada por el Departamento de HSE, se utilizó una propuesta en la clase de la Especialización para realizar el ejercicio. Los análisis terminaron cuando la metodología RCM llegó al punto de aplicación práctica, esto es no llegar hasta el nivel de un RCA científico (post falla) sino al de un RCM (pre falla) práctico donde las fallas sean las más propensas a ocurrir visualizando los mejores tiempos de restablecimiento del sistema. Se utilizó el algoritmo de decisión de la figura 16 de la norma SAE JA1012 (2002) que está en la Figura 33.

5. Clasificación de los Activos Actuales

Se efectuó la categorización de los activos con base en su Sistema de Operación y según su Clase. El listado fuente que se actualizó era el del Software de Mantenimiento SAP y después de validar los Listados con el Equipo de Trabajo, quedaron así:

5.1 Inventario de Partes Eléctricas

Ítem	Descripción de la Parte	Clase de la Parte
	SISTEMA DE IGNICIÓN DEL MOTOR	
54	Bobina	Eléctrica
55	Bujía	Eléctrica
	SISTEMA DE ARRANQUE Y CARGA DEL MOTOR	
58	Baterías 8D 12 V	Eléctrica
59	Motor de Arranque	Eléctrica
60	Solenoide Externo del Motor de Arranque	Eléctrica
	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	
72	Interruptor de Potencia (4)	Eléctrica
73	Transformador Seco Principal Servicios auxiliares 400 kVA (1)	Eléctrica
74	Relé Schneider Electric Sepam Motores Familia 80 (4)	Eléctrica
75	Sistema de Puesta a Tierra (1)	Eléctrica
	SISTEMA DE CONTROL Y AUXILIARES	
77	Transformador Seco Servicios Auxiliares 75 kVA (1)	Eléctrica
79	CCM Radiadores 480 V	Eléctrica
80	CCM Extractores 480 V	Eléctrica
81	CCM Servicios Auxiliares 220 V	Eléctrica
	SISTEMA ELÉCTRICO	
83	Celdas QM	Eléctrica
84	Pararrayos	Eléctrica
85	Arnés Principal	Eléctrica
86	Transformador Seco SPT Motor	Eléctrica
87	Banco de Resistencias	Eléctrica
88	Fusibles HH para Celda QM de 130 A	Eléctrica
	SISTEMA DEL CAMPO MAGNÉTICO DEL ALTERNADOR	

89	Diodos Rectificadores	Eléctrica
90	Varistores	Eléctrica

5.2 Inventario de Partes Estáticas

Ítem	Descripción de la Parte	Clase de la Parte
	ALINEACIÓN MECÁNICA DE LA CAJA DE ENGRANAJES	
4	Lainas de Acople	Estática
	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL MOTOR	
15	Enfriador de Aceite	Estática
16	Postenfriador	Estática
17	Radiador	Estática
20	Tubería de Refrigeración HT (Circuito de Alta Temperatura)	Estática
21	Tubería de Refrigeración LT (Circuito de Baja Temperatura)	Estática
22	Válvula entrada HT (Circuito de Alta Temperatura)	Estática
23	Válvula salida HT (Circuito de Alta Temperatura)	Estática
24	Válvula entrada LT (Circuito de Baja Temperatura)	Estática
25	Válvula salida LT (Circuito de Baja Temperatura)	Estática
	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA CAJA DE ENGRANAJES	
32	Enfriador de Aceite Caja de Engranajes	Estática
	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN (TREN) DE GAS	
33	Regulador de Gas	Estática
34	Válvula de Cierre de Gas	Estática
35	Válvula de Despresurización	Estática
36	Válvula Solenoide	Estática
	SISTEMA DE ADMISIÓN DEL MOTOR	
40	Válvula de Suministro de Combustible FSV (2)	Estática
41	Sistema de Ventilación Entrada a Cuarto de Máquinas	Estática
42	Filtro Entrada Cuarto de Máquinas	Estática
43	Filtro de Entrada Motor	Estática
49	Múltiple (Manifold) de Mezcla	Estática
	SISTEMA DE ESCAPE DEL MOTOR	
50	Exosto	Estática
51	Silenciador	Estática
52	Chimenea	Estática
53	Múltiple (Manifold) de Escape	Estática
	SISTEMA DE POTENCIA MECÁNICA DEL MOTOR	
61	Culata	Estática
62	Cilindro (18)	Estática
63	Kit de Anillos del Pistón	Estática

5.3 Inventario de Partes de Instrumentación

Ítem	Descripción de la Parte	Clase de la Parte
	SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR	
8	Termostato de Aceite (3)	Instrumentación
9	Sensor Temperatura Aceite	Instrumentación
10	Sensor Presión Aceite Prefiltros	Instrumentación
11	Sensor Presión Aceite Filtro	Instrumentación
12	Mantenedor de Nivel (Murphy LM300)	Instrumentación
	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL MOTOR	
26	Termostato HT (2) (Circuito de Alta Temperatura)	Instrumentación
27	Termostato LT (2) (Circuito de Baja Temperatura)	Instrumentación
28	Sensor Temperatura HT (Circuito de Alta Temperatura)	Instrumentación
29	Sensor Temperatura LT (Circuito de Baja Temperatura)	Instrumentación
30	Sensor Presión HT (Circuito de Alta Temperatura)	Instrumentación
31	Sensor Presión LT (Circuito de Baja Temperatura)	Instrumentación
	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN (TREN) DE GAS	
37	Sensor de Presión Solenoide	Instrumentación
	SISTEMA DE ADMISIÓN DEL MOTOR	
44	Sensor Temperatura Múltiple (Manifold)	Instrumentación
45	Sensor Presión Múltiple (Manifold)	Instrumentación
46	Sensor Flujo Másico Gas (2)	Instrumentación
	FOT Sensor de Flujo (Transductor de Salida de Flujo) después de la	
47	FSV	Instrumentación
	FIT Sensor de Flujo (Transductor de Entrada de Flujo) antes de la	
48	FSV	Instrumentación
	SISTEMA DE IGNICIÓN DEL MOTOR	
56	Sensor de Detonación (18)	Instrumentación
57	Termocupla de Cilindro (18)	Instrumentación
	SISTEMA DE POTENCIA MECÁNICA DEL MOTOR	
67	Sensor de Velocidad Volanta Lado A	Instrumentación
68	Sensor de Posición Volanta Lado B	Instrumentación
69	Sensor de Posición Árbol de levas	Instrumentación
	SISTEMA DE CONTROL Y AUXILIARES	
76	PLC	Instrumentación
82	HMI Remota	Instrumentación
	SISTEMA DE CONTROL	
91	Interfaz Hombre Máquina (HMI)	Instrumentación
92	Caja de Instrumentación del Generador (GIB)	Instrumentación
93	Batería 12 V GIB	Instrumentación
94	Tarjeta Madre del Controlador PowerCommand (PCC 3300)	Instrumentación
95	CM700 (Módulo de Comando)	Instrumentación

96	Módulo 558 Señales de Equipo (2)	Instrumentación
	Módulo de Ignición que controla la Capacidad de la Bobina (CCD)	
97	(2)	Instrumentación
98	Módulo de Sensores CENSE	Instrumentación
99	Módulo Auxiliar del CENSE	Instrumentación
100	Tarjeta Automática Reguladora de Voltaje (AVR)	Instrumentación
101	Tarjeta Auxiliar 105	Instrumentación
102	Tarjeta Auxiliar 104	Instrumentación
103	Relevos de 24 Vdc, 8 A, 8 pines Weidmuller u Omrom	Instrumentación
104	Módulo de Fuente de Alimentación PSU	Instrumentación
105	Inversor del PLC Central	Instrumentación
	SENSORES DEL ALTERNADOR	
106	Termocupla Alternador DE	Instrumentación
107	Termocupla Alternador NDE	Instrumentación
108	Sensor Temperatura Devanado Alternador (3)	Instrumentación
	SENSORES DE LA CAJA DE ENGRANAJES	
109	Sensor de Presión Caja de Engranajes	Instrumentación
110	Sensor de Temperatura Caja de Engranajes	Instrumentación

5.4 Inventario de Partes Rotativas.

Ítem	Descripción de la Parte	Clase de la Parte
	COMPONENTES DEL GRUPO ELECTRÓGENO	
1	Caja de Engranajes (Gearbox)	Rotativa
2	Generador Síncrono (Alternador) Stamford C1750	Rotativa
	ACOPLE MECÁNICO ENTRE EL MOTOR Y LA CAJA DE ENGRANAJES	
3	Acople de Disco de Goma Arcusaflex	Rotativa
	SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR	
5	Bomba de Prelubricación	Rotativa
6	Bomba de Lubricación	Rotativa
7	Motor Bomba de Prelubricación	Rotativa
	SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE LA CAJA DE ENGRANAJES	
13	Bomba de Lubricación Caja de Engranajes	Rotativa
	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL MOTOR	
14	Bomba de Refrigeración Principal	Rotativa
18	Motor Ventilador Radiador (8)	Rotativa
19	Hélice de Motor Ventilador Radiador (8)	Rotativa
	SISTEMA DE ADMISIÓN DEL MOTOR	
38	Turbocargador	Rotativa
39	Aceleradores (Throttles)	Rotativa
	SISTEMA DE POTENCIA MECÁNICA DEL MOTOR	

64	Árbol de levas	Rotativa
65	Cigüeñal	Rotativa
66	Volanta	Rotativa
PERIFÉRICOS		
70	Motor Extractor de 4.8 HP Cuarto de Máquinas	Rotativa
71	Hélice de Motores Extractores Cuarto de Máquinas	Rotativa
SISTEMA DE CONTROL Y AUXILIARES		
78	Motor Diesel 25 kVA Cummins (Planta Auxiliar)	Rotativa

6. Tablas

Tabla 1

Ventajas y Desventajas de los Grupos Electrógenos que Funcionan con Gas Natural.

Ventajas	Desventajas
Confiables (tienen un suministro más robusto porque la red de gas natural es subterránea.	Dependen de la red de distribución de gas natural (la cual es propensa a ser afectada por un atentado, una catástrofe, un desastre natural)
Generan menos emisiones que los demás combustibles no renovables (carbón, ACPM y gasolina),	Necesitan un mantenimiento más específico (trabajan a mayor temperatura).
De consumo más económico (costo del gas natural más asequible).	Demandan más requisitos de seguridad por la inflamabilidad del gas natural (al aumentar riesgos de incendio y de explosión, necesitan más control y ventilación).
Son menos ruidosos.	Son más costosos de instalar (características de diseño y control más avanzados).
	No están disponibles en una amplia gama de potencias.

Nota. Parafraseado de <https://blog.generaclatam.com/planta-de-generación-de-energía-eléctrica>

Tabla 2*Etapas y Alcances del Mantenimiento.*

Etapa	Alcance
I. Inicio de acciones	Se capacita al personal de las diferentes especialidades. Surgen los Órdenes de Trabajo, formatos y se adquieren equipos y partes. La información resultante se almacena electrónicamente. Mantenimiento depende de operaciones.
II. Planeación y uso de técnicas	Se corrige o se repara. Se identifican equipos, componentes y partes, se les da alcance a las tareas resultantes de la planeación. Se refuerza la seguridad, se crean los planes de mantenimiento. Se define cómo levantar datos y se implementa. Se asocian equipos y sus repuestos. Se implementa la gestión con proveedores. Se incluyen revisiones predictivas por desviaciones. Se priorizan las rutas de mantenimiento críticas. Se monta el sistema de cómputo que lanzará las OT. Mantenimiento depende de operaciones.
III. Tácticas	Surgen metodologías como: TPM (Mantenimiento Productivo Total), RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), PMO (Sistema de Optimización de Mantenimiento Planeado) o combinaciones de estas. Mantenimiento se independiza de producción.
IV. Estrategias	Se implementa el registro histórico de fallas y de reparaciones. Se adoptan estándares como indicadores. Se implementan curvas de vida útil. Se utiliza información externa que sea útil. Las estrategias productivas salen del control de actividades. Se realiza mantenimiento integral logístico. Se integra dirección con otras áreas. Se fijan metas, se identifican necesidades de desarrollo de personal y de capacitación.
V. Habilidades y Competencias	Se efectúan FMECA (Análisis de Modos de Falla, Efectos y su Criticidad) y RCFA (Análisis Causa Raíz de Fallas). Se posicionan los sistemas de información y una estrategia de mantenimiento integral basada en procesos. Producción se actualiza con mejores prácticas gracias a un ajuste con la demanda requerida. Mantenimiento y producción se complementan. Hay ingresos.
VI. Gestión de Activos	Se fusionan el conocimiento y la experiencia para manejar con flexibilidad y éxito los activos, los cuales dan ingresos.

Nota. Parfraseado de Mantenimiento. Planeación, Ejecución y Control (p. 13-25), por Alberto

Mora Gutiérrez, 2009. Editorial Alfaomega.

Tabla 3.

Equivalencia de Nombres de Partes entre la Norma ISO 14224 y la Monografía.

Nombres de partes según la Norma ISO 14224	Nombres de partes en la Monografía
Giratorias	Rotativas
Mecánicas	Estáticas
Eléctricas	Eléctricas (Incluye Electrónicas)
Seguridad y Control	Instrumentación (Incluye Seguridad y Control)

Nota. Primera columna tomada de la norma ISO 14224. Segunda columna Desarrollo de la Monografía.

Tabla 4*Niveles y Criterios para Evaluación de los Impactos de las Fallas.*

Nivel	Impacto Económico	Impacto en la Salud	Impacto en la Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional
5	Más de COP \$100 millones	Una fatalidad o más	Activación del plan de evacuación / llamado a la comunidad para refugiarse	Producción de daños irreparables	Pérdida de imagen a nivel internacional
4	Entre COP \$50 y \$100 millones	Incapacidad temporal > 30 días, permanente o enfermedad laboral	Pérdida considerable por fuga, derrame o explosión que no supera los límites geográficos de la planta	Generación de deterioro o alteración del ecosistema (fuga o derrame)	Deterioro de imagen a nivel nacional
3	Entre COP \$10 y \$50 millones	Incapacidad temporal < a 30 días	Afectación moderada por fuga, derrame o explosión que no supera la primera barrera de	Obtención de efectos ambientales moderados fuera del	Desfavorecimiento de imagen a nivel regional

protección del perímetro de la
equipo planta

2	Entre COP \$5 y \$10 millones	Lesión menor sin incapacidad	Estropeamiento leve de la integridad mecánica del equipo	Aparición de efectos ambientales leves al interior de la planta	Menoscabo de imagen a nivel local (clientes)
1	Menos de COP \$5 millones	Sin lesión o efecto en la salud	No produce implicaciones a la seguridad del proceso	No genera ningún tipo de contaminación	Perturbación de imagen a nivel interno

Nota: Desarrollo del Análisis de Criticidad de la Monografía.

Tabla 5*Criterios para Determinar la Frecuencia de Falla.*

Valor	Clasificación	Frecuencia de la Falla
5	Muy alta	Sucede al menos doce veces en un año
4	Alta	Ocurre al menos cuatro veces en un año
3	Moderada	Se presenta al menos una vez por año
2	Baja	Ha pasado al menos una vez en los últimos cinco años
1	Muy baja	Nunca se ha dado

Nota: Desarrollo del Análisis de Criticidad de la Monografía.

Tabla 6*Análisis de Criticidad de Partes Eléctricas.*

Descripción de la Parte	Tiempo Fuera de Servicio (TFS en h)	% de Afectación	Costo de la Reparación (COP \$)	Valoración de Frecuencia de Fallas 2017 - 2021	Impacto en la Salud y en la Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional	Pérdida De Generación (kWh)	Impacto Económico	Impacto Económico (COP)	Impacto en la Generación (COP \$)	Consecuencia	Frecuencia	Criticidad
Bobina	1	100,0%	\$ 1.966.477,00	4	1	1	1	1.750,00	1	\$ 2.213.605,00	\$ 247.128,00	1	4	4
Bujía	1	100,0%	\$ 2.400.000,00	3	1	1	1	1.750,00	1	\$ 2.647.128,00	\$ 247.128,00	1	3	3
Baterías 8D 12 V	1	100,0%	\$ 1.000.000,00	1	1	1	1	1.750,00	1	\$ 1.247.128,00	\$ 247.128,00	1	1	1
Motor de Arranque	2	0,0%	\$ 4.165.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 4.165.000,00	\$ 0,00	1	1	1
Solenoide Externo del Motor de Arranque	2	100,0%	\$ 85.000,00	1	1	1	1	3.500,00	1	\$ 579.256,00	\$ 494.256,00	1	1	1
Interruptor de Potencia (4)	144	100,0%	\$ 100.000.000,00	2	1	1	1	252.000,00	5	\$ 135.586.432,00	\$ 35.586.432,00	5	2	10
Transformador Seco Principal Servicios auxiliares 400 kVA (1)	1440	100,0%	\$ 45.500.000,00	1	1	1	1	2.520.000,00	5	\$ 401.364.329,00	\$ 355.864.320,00	5	1	5
Relé Schneider Electric Sepam Motores Familia 80 (4)	168	100,0%	\$ 20.000.000,00	1	1	1	1	294.000,00	4	\$ 61.517.504,00	\$ 41.517.504,00	4	1	4
Sistema de Puesta a Tierra (1)	48	0,0%	\$ 3.000.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 3.000.000,00	\$ 0,00	1	1	1
Transformador Seco Servicios Auxiliares 75 kVA (1)	120	0,0%	\$ 8.531.250,00	1	1	1	1	0,00	2	\$ 8.532.250,00	\$ 0,00	2	1	2
CCM Radiadores 480 V	3	100,0%	\$ 400.000,00	1	1	1	1	5.250,00	1	\$ 1.141.384,00	\$ 741.384,00	1	1	1
CCM Extractores 480 V	3	0,0%	\$ 300.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 300.000,00	\$ 0,00	1	1	1
CCM Servicios Auxiliares 220 V	3	0,0%	\$ 150.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 150.000,00	\$ 0,00	1	1	1
Celdas QM	192	100,0%	\$ 15.000.000,00	1	1	1	1	336.000,00	4	\$ 62.448.576,00	\$ 47.448.576,00	4	1	4

Descripción de la Parte	Tiempo Fuera de Servicio (TFS en h)	% de Afectación	Costo de la Reparación (COP \$)	Valoración de Frecuencia de Fallas 2017 - 2021	Impacto en la Salud y en la Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional	Pérdida De Generación (kWh)	Impacto Económico	Impacto Económico (COP)	Impacto en la Generación (COP \$)	Consecuencia	Frecuencia	Criticidad
Pararrayos	336	0,0%	\$ 1.600.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 1.600.000,00	\$ 0,00	1	1	1
Arnés Principal	360	100,0%	\$ 15.000.000,00	4	1	1	1	630.000,00	5	\$ 103.966.080,00	\$ 88.966.080,00	5	4	20
Transformador Seco SPT Motor	168	0,0%	\$ 4.000.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 4.000.000,00	\$ 0,00	1	11	1
Banco de Resistencias	168	0,0%	\$ 2.500.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 2.500.000,00	\$ 0,00	1	1	1
Fusibles HH para Celda QM de 130 A	4	100,0%	\$ 1.500.000,00	2	1	1	1	7.000,00	1	\$ 2.488.512,00	\$ 988.512,00	1	2	2
Diodos Rectificadores	6	100,0%	\$ 909.987,00	2	1	1	1	10.500,00	1	\$ 2.392.755,00	\$ 1.482.768,00	1	2	2
Varistores	6	100,0%	\$ 250.000,00	2	1	1	1	10.500,00	1	\$ 1.732.768,00	\$ 1.482.768,00	1	2	2

Nota: Desarrollo del Análisis de Criticidad de la Monografía.

Tabla 7*Análisis de Criticidad de Partes Estáticas.*

Descripción de la Parte	Tiempo Fuera de Servicio (TFS en h)	% de Afectación	Costo de la Reparación (COP \$)	Valoración de Frecuencia de Fallas 2017 - 2021	Impacto en la Salud y en la Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional	Pérdida de Generación (kWh)	Impacto Económico	Impacto Económico (COP \$)	Impacto en la Generación (COP \$)	Consecuencia	Frecuencia	Criticidad
Lainas de Acople	24	100,0%	\$ 20.000,00	2	1	1	1	42.000,00	2	\$ 5.951.072,00	\$ 5.931.072,00	2	2	4
Enfriador de Aceite	48	0,0%	\$ 10.000.000,00	1	1	2	1	0,00	2	\$ 10.000.000,00	\$ 0,00	2	1	2
Postenfriador	120	100,0%	\$ 15.000.000,00	1	1	2	1	210.000,00	3	\$ 44.655.360,00	\$ 29.655.360,00	3	1	3
Radiador	120	100,0%	\$ 20.000.000,00	1	1	2	1	210.000,00	3	\$ 49.655.360,00	\$ 29.655.360,00	3	1	3
Tubería de Refrigeración HT (Circuito de Alta Temperatura)	72	100,0%	\$ 500.000,00	1	1	2	1	126.000,00	3	\$ 18.293.216,00	\$ 17.793.216,00	3	1	3
Tubería de Refrigeración LT (Circuito de Baja Temperatura)	72	100,0%	\$ 400.000,00	1	1	2	1	126.000,00	3	\$ 18.193.216,00	\$ 17.793.216,00	3	1	3
Válvula entrada HT (Circuito de Alta Temperatura)	72	0,0%	\$ 3.000.000,00	1	1	2	1	0,00	1	\$ 3.000.000,00	\$ 0,00	2	1	2
Válvula salida HT (Circuito de Alta Temperatura)	72	0,0%	\$ 3.000.000,00	1	1	2	1	0,00	1	\$ 3.000.000,00	\$ 0,00	2	1	2
Válvula entrada LT (Circuito de Baja Temperatura)	72	0,0%	\$ 3.000.000,00	1	1	2	1	0,00	1	\$ 3.000.000,00	\$ 0,00	2	1	2
Válvula salida LT (Circuito de Baja Temperatura)	72	0,0%	\$ 3.000.000,00	1	1	2	1	0,00	1	\$ 3.000.000,00	\$ 0,00	2	1	2
Enfriador de Aceite Caja de Engranajes	72	100,0%	\$ 20.000.000,00	1	1	2	1	126.000,00	3	\$ 37.793.216,00	\$ 17.793.216,00	3	1	3
Regulador de Gas	720	100,0%	\$ 25.000.000,00	2	1	1	1	1.260.000,00	5	\$ 202.932.160,00	\$ 177.932.160,00	5	2	10
Válvula de Cierre de Gas	48	0,0%	\$ 1.000.000,00	2	1	1	1	0,00	1	\$ 1.000.000,00	\$ 0,00	1	2	2
Válvula de Despresurización	48	0,0%	\$ 2.000.000,00	2	1	1	1	0,00	1	\$ 2.000.000,00	\$ 0,00	1	2	2

Descripción de la Parte	Tiempo Fuera de Servicio (TFS en h)	% de Afectación	Costo de la Reparación (COP \$)	Valoración de Frecuencia de Fallas 2017 - 2021	Impacto en la Salud y en la Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional	Pérdida de Generación (kWh)	Impacto Económico	Impacto Económico (COP \$)	Impacto en la Generación (COP \$)	Consecuencia	Frecuencia	Criticidad
Válvula de Suministro de Combustible FSV (2)	3	100,0%	\$ 11.300.000,00	1	1	1	1	5.250,00	3	\$ 12.041.384,00	\$ 741.384,00	3	1	3
Sistema de Ventilación Entrada a Cuarto de Máquinas	0	0,0%	\$ 7.000.000,00	1	1	1	1	0,00	2	\$ 7.000.000,00	\$ 0,00	2	1	2
Filtro Entrada Cuarto de Máquinas	0	0,0%	\$ 100.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 100.000,00	\$ 0,00	1	1	1
Filtro de Entrada Motor	2	100,0%	\$ 3.600.000,00	2	1	1	1	3.500,00	1	\$ 4.094.256,00	\$ 494.256,00	1	2	2
Múltiple (Manifold) de Mezcla	168	100,0%	\$ 5.000.000,00	1	1	1	1	294.000,00	3	\$ 46.517.504,00	\$ 41.517.504,00	3	1	3
Exosto	120	0,0%	\$ 10.000.000,00	1	1	2	1	0,00	2	\$ 10.000.000,00	\$ 0,00	2	1	2
Silenciador	120	0,0%	\$ 10.000.000,00	1	1	2	1	0,00	2	\$ 10.000.000,00	\$ 0,00	2	1	2
Chimenea	120	0,0%	\$ 15.000.000,00	1	1	2	1	0,00	3	\$ 15.000.000,00	\$ 0,00	3	1	3
Múltiple (Manifold) de Escape	72	100,0%	\$ 5.000.000,00	1	1	1	1	126.000,00	3	\$ 22.793.216,00	\$ 17.793.216,00	3	1	3
Culata	8	100,0%	\$ 15.000.000,00	2	1	2	1	14.000,00	3	\$ 16.977.024,00	\$ 1.977.024,00	3	2	6
Cilindro (18)	12	100,0%	\$ 20.000.000,00	1	1	2	1	21.000,00	3	\$ 22.965.536,00	\$ 2.965.536,00	3	1	3
Kit de Anillos del Pistón	10	100,0%	\$ 450.000,00	2	1	1	1	17.500,00	1	\$ 2.921.280,00	\$ 2.471.280,00	1	2	2

Nota. Desarrollo del Análisis de Criticidad de la Monografía.

Tabla 8*Análisis de Criticidad de Partes de Instrumentación.*

Descripción de la Parte	Tiempo Fuera de Servicio (TFS en h)	% de Afectación	Costo de la Reparación (COP \$)	Valoración de Frecuencia de Fallas 2017 - 2021	Impacto en la Salud y en la Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional	Pérdida De Generación (kWh)	Impacto Económico	Impacto Económico (COP \$)	Impacto en la Generación (COP \$)	Consistencia	Frecuencia	Criticidad
Termostato de Aceite (3)	6	0,0%	\$ 578.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 578.000,00	\$ 0,00	1	1	1
Sensor Temperatura Aceite	1	100,0%	\$ 45.000,00	1	1	1	1	1.750,00	1	\$ 292.128,00	\$ 247.128,00	1	1	1
Sensor Presión Aceite Prefiltros	24	100,0%	\$ 1.400.000,00	1	1	1	1	42.000,00	2	\$ 7.331.072,00	\$ 5.931.072,00	2	1	2
Sensor Presión Aceite Filtro	24	100,0%	\$ 1.400.000,00	1	1	1	1	42.000,00	2	\$ 7.331.072,00	\$ 5.931.072,00	2	1	2
Mantenedor de Nivel (Murphy LM300)	2	100,0%	\$ 2.560.000,00	1	1	2	1	3.500,00	1	\$ 3.054.256,00	\$ 494.256,00	2	1	2
Termostato HT (2) (Circuito de Alta Temperatura)	4	100,0%	\$ 578.000,00	1	1	2	1	7.000,00	1	\$ 1.566.512,00	\$ 988.512,00	2	1	2
Termostato LT (2) (Circuito de Baja Temperatura)	4	100,0%	\$ 207.000,00	1	1	2	1	7.000,00	1	\$ 1.195.512,00	\$ 988.512,00	2	1	2
Sensor Temperatura HT (Circuito de Alta Temperatura)	2	100,0%	\$ 45.000,00	2	1	2	1	3.500,00	1	\$ 539.256,00	\$ 494.256,00	2	2	4
Sensor Temperatura LT (Circuito de Baja Temperatura)	2	100,0%	\$ 45.000,00	1	1	2	1	3.500,00	1	\$ 539.256,00	\$ 494.256,00	2	1	2
Sensor Presión HT (Circuito de Alta Temperatura)	2	100,0%	\$ 1.660.000,00	1	1	2	1	3.500,00	1	\$ 2.154.256,00	\$ 494.256,00	2	1	2
Sensor Presión LT (Circuito de Baja Temperatura)	2	100,0%	\$ 1.660.000,00	1	1	2	1	3.500,00	1	\$ 2.154.256,00	\$ 494.256,00	2	1	2
Sensor de Presión Solenoide	168	100,0%	\$ 427.000,00	2	1	1	1	294.000,00	3	\$ 41.944.504,00	\$ 41.517.504,00	3	2	6
Sensor Temperatura Múltiple (Manifold)	1	100,0%	\$ 185.000,00	1	1	1	1	1.750,00	1	\$ 432.128,00	\$ 247.128,00	1	1	1

Descripción de la Parte	Tiempo Fuera de Servicio (TFS en h)	% de Afectación	Costo de la Reparación (COP \$)	Valoración de Frecuencia de Fallas		Impacto en la Salud y en la Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional	Pérdida De Generación (kWh)	Impacto Económico	Impacto Económico (COP \$)	Impacto en la Generación (COP \$)	Consistencia	Frecuencia	Críticidad
				2017 - 2021	de Fallas										
Sensor Presión Múltiple (Manifold)	144	100,0%	\$ 4.000.000,00	1	1	1	1	252.000,00	3	\$ 39.586.432,00	\$ 35.586.432,00	3	1	3	
Sensor Flujo Másico Gas (2)	144	100,0%	\$ 5.300.000,00	1	1	1	1	252.000,00	3	\$ 40.886.432,00	\$ 35.586.432,00	3	1	3	
FOT Sensor de Flujo (Transductor de Salida de Flujo) después de la FSV	144	100,0%	\$ 427.000,00	1	1	1	1	252.000,00	3	\$ 36.013.432,00	\$ 35.586.432,00	3	1	3	
FIT Sensor de Flujo (Transductor de Entrada de Flujo) antes de la FSV	144	100,0%	\$ 420.000,00	1	1	1	1	252.000,00	3	\$ 36.006.432,00	\$ 35.586.432,00	3	1	3	
Sensor de Detonación (18)	1	100,0%	\$ 350.000,00	1	1	1	1	1.750,00	1	\$ 597.128,00	\$ 247.128,00	1	1	1	
Termocupla de Cilindro (18)	1	100,0%	\$ 2.420.000,00	1	1	1	1	1.750,00	1	\$ 2.667.128,00	\$ 247.128,00	1	1	1	
Sensor de Velocidad Volanta Lado A	1	100,0%	\$ 340.000,00	1	1	1	1	1.750,00	1	\$ 587.128,00	\$ 247.128,00	1	1	1	
Sensor de Posición Volanta Lado B	1	100,0%	\$ 340.000,00	1	1	1	1	1.750,00	1	\$ 587.128,00	\$ 247.128,00	1	1	1	
Sensor de Posición Árbol de levas	24	100,0%	\$ 340.000,00	1	1	1	1	42.000,00	2	\$ 6.271.072,00	\$ 5.931.072,00	2	1	2	
PLC	336	0,0%	\$ 10.000.000,00	1	1	1	1	0,00	2	\$ 10.000.000,00	\$ 0,00	2	1	2	
HMI Remota	3	0,0%	\$ 6.600.000,00	2	1	1	1	0,00	2	\$ 6.600.000,00	\$ 0,00	2	2	4	
Interfaz Hombre Máquina (HMI)	3	100,0%	\$ 6.600.000,00	1	1	1	1	5.250,00	2	\$ 7.341.384,00	\$ 741.384,00	2	1	2	
Caja de Instrumentación del Generador (GIB)	48	100,0%	\$ 1.000.000,00	1	1	1	1	84.000,00	3	\$ 12.862.144,00	\$ 11.862.144,00	3	1	3	
Batería 12 V GIB	2	100,0%	\$ 90.000,00	1	1	1	1	3.500,00	1	\$ 584.256,00	\$ 494.256,00	1	1	1	
Tarjeta Madre del Controlador PowerCommand (PCC 3300)	24	100,0%	\$ 14.300.000,00	1	1	1	1	42.000,00	3	\$ 20.231.072,00	\$ 5.931.072,00	3	1	3	

Descripción de la Parte	Tiempo Fuera de Servicio (TFS en h)	% de Afectación	Costo de la Reparación (COP \$)	Valoración de Frecuencia de Fallas 2017 - 2021	Impacto en la Salud y en la Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional	Pérdida De Generación (kWh)	Impacto Económico	Impacto Económico (COP \$)	Impacto en la Generación (COP \$)	Consistencia	Frecuencia	Críticidad
CM700 (Módulo de Comando)	24	100,0%	\$ 27.000.000,00	1	1	1	1	42.000,00	3	\$ 32.931.072,00	\$ 5.931.072,00	3	1	3
Módulo 558 Señales de Equipo (2)	12	100,0%	\$ 14.000.000,00	2	1	1	1	21.000,00	3	\$ 16.965.536,00	\$ 2.965.536,00	3	2	6
Módulo de Ignición que controla la capacidad de la bobina (CCD) (2)	2	100,0%	\$ 11.700.000,00	1	1	1	1	3.500,00	3	\$ 12.194.256,00	\$ 494.256,00	3	1	3
Módulo de Sensores CENSE	2	100,0%	\$ 10.000.000,00	1	1	1	1	3.500,00	3	\$ 10.494.256,00	\$ 494.256,00	3	1	3
Módulo Auxiliar del CENSE	2	100,0%	\$ 5.100.000,00	1	1	1	1	3.500,00	2	\$ 5.594.256,00	\$ 494.256,00	2	1	2
Tarjeta Automática Reguladora de Voltaje (AVR)	192	100,0%	\$ 4.200.000,00	1	1	1	1	336.000,00	4	\$ 51.648.576,00	\$ 47.448.576,00	4	1	4
Tarjeta Auxiliar 105	2	100,0%	\$ 3.300.000,00	1	1	1	1	3.500,00	1	\$ 3.794.256,00	\$ 494.256,00	1	1	1
Tarjeta Auxiliar 104	192	100,0%	\$ 2.100.000,00	1	1	1	1	336.000,00	3	\$ 49.548.576,00	\$ 47.448.576,00	3	1	3
Relevos de 24 Vdc, 8 A, 8 pines Weidmuller u Omron	1	100,0%	\$ 50.000,00	4	1	1	1	1.750,00	1	\$ 297.128,00	\$ 247.128,00	1	4	4
Módulo de Fuente de Alimentación PSU	24	100,0%	\$ 1.500.000,00	2	1	1	1	42.000,00	2	\$ 7.431.072,00	\$ 5.931.072,00	2	2	4
Inversor del PLC Central	24	100,0%	\$ 250.000,00	2	1	1	1	42.000,00	2	\$ 6.181.072,00	\$ 5.931.072,00	2	2	4
Termocupla Alternador DE	6	0,0%	\$ 350.000,00	2	1	1	1	0,00	1	\$ 350.000,00	\$ 0,00	1	2	2
Termocupla Alternador NDE	192	0,0%	\$ 350.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 350.000,00	\$ 0,00	1	1	1
Sensor Temperatura Devanado Alternador (3)	24	0,0%	\$ 500.000,00	1	1	1	1	0,00	1	\$ 500.000,00	\$ 0,00	1	1	1
Sensor de Presión Caja de Engranajes	48	100,0%	\$ 900.000,00	3	1	1	1	84.000,00	3	\$ 12.762.144,00	\$ 11.862.144,00	3	3	9
Sensor de Temperatura Caja de Engranajes	5	100,0%	\$ 800.000,00	2	1	1	1	8.750,00	1	\$ 2.035.675,00	\$ 1.235.675,00	1	2	2

Nota: Desarrollo del Análisis de Criticidad de la Monografía.

Tabla 9

Análisis de Criticidad de Partes Rotativas.

Descripción de la Parte	Tiempo Fuera de Servicio (TFS en h)	% de Afectación	Costo de la Reparación (COP \$)	Valoración De Frecuencia de Fallas 2017 - 2021	Impacto en la Salud y en la Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional	Pérdida de Generación (kWh)	Impacto Económico	Impacto Económico (COP \$)	Impacto en la Generación (COP \$)	Consecuencia	Frecuencia	Criticidad
Caja de Engranajes (Gearbox)	240	100%	\$ 31.150.000	1	1	2	1	420.000	4	\$ 90.460.720	\$ 59.310.720	4	1	4
Generador Síncrono (Alternador) Stamford C1750	168	100%	\$ 17.540.000	2	1	1	1	294.000	4	\$ 59.057.504	\$ 41.517.504	4	2	8
Acople de Disco de Goma Arcusaflex	120	100%	\$ 50.000.000	2	1	1	1	210.000	4	\$ 79.655.360	\$ 29.655.360	4	2	8
Bomba de Prelubricación	120	0,0%	\$ 5.000.000	2	1	2	1	0,00	1	\$ 5.000.000	\$ 0,00	2	1	2
Bomba de Lubricación	12	100%	\$ 70.000.000	1	1	2	1	21.000	4	\$ 72.965.536	\$ 2.965.536	4	1	4
Motor Bomba de Prelubricación	120	0,0%	\$ 1.677.000	1	1	1	1	0,00	1	\$ 1.677.000	\$ 0,00	1	1	1
Bomba de Lubricación Caja de Engranajes	120	100%	\$ 6.000.000	1	1	2	1	210.000	3	\$ 35.655.360	\$ 29.655.360	3	1	3
Bomba de Refrigeración Principal	3	100%	\$ 25.000.000	2	1	2	1	5.250	3	\$ 25.741.384	\$ 741.384	3	1	3
Motor Ventilador Radiador (8)	3	0,0%	\$ 1.600.000	1	1	1	1	0,00	1	\$ 1.600.000	\$ 0,00	1	1	1
Hélice de Motor Ventilador Radiador (8)	2	0,0%	\$ 800.000	1	1	1	1	0,00	1	\$ 800.000	\$ 0,00	1	1	1

Descripción de la Parte	Tiempo Fuera de Servicio (TFS en h)	% de Afectación	Costo de la Reparación (COP \$)	Valoración De Frecuencia de Fallas 2017 - 2021	Impacto en la Salud y en la Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional	Pérdida de Generación (kWh)	Impacto Económico	Impacto Económico (COP \$)	Impacto en la Generación (COP \$)	Consecuencia	Frecuencia	Criticidad
Turbocargador	6	100%	\$ 25.000.000	3	1	1	1	10.500	3	\$ 26.482.768	\$ 1.482.768	3	3	9
Aceleradores (Throttles)	192	100%	\$ 30.000.000	3	1	1	2	336.000	4	\$ 77.448.576	\$ 47.448.576	4	3	12
Árbol de levas	1440	100%	\$ 80.000.000	1	1	2	1	2.520.000	5	\$ 435.864.320	\$ 355.864.320	5	1	5
Cigüeñal	3600	100%	\$ 300.000.000	1	1	2	1	6.300.000	5	\$ 1.189.660.800	\$ 889.660.800	5	1	5
Volanta	360	100%	\$ 5.000.000	2	1	1	1	630.000	4	\$ 93.966.080	\$ 88.966.080	4	2	8
Motor Extractor de 4.8 HP Cuarto de Máquinas	3	0,0%	\$ 1.000.000	4	1	1	1	0,00	1	\$ 1.000.000	\$ 0,00	1	4	4
Hélice de Motores Extractores Cuarto de Máquinas	2	0,0%	\$ 700.000	1	1	2	1	0,00	1	\$ 700.000	\$ 0,00	2	1	2
Motor Diesel 25 kVA Cummins (Planta Auxiliar)	1080	0,0%	\$ 30.000.000	1	1	1	1	0,00	3	\$ 30.000.000	\$ 0,00	3	1	3

Nota: Desarrollo del Análisis de Criticidad de la Monografía.

Tabla 10*Tiempos de Mantenibilidad 2021 y 2022.*

Mes 2021	Tiempo de Mantenibilidad de dicho mes en 2021	Mes 2022	Tiempo de Mantenibilidad de dicho mes en 2022
Enero	10 min	Enero	164 h 46 min
Febrero	4 min	Febrero	5 h 17 min
Marzo	9 min	Marzo	70 h 19 min
Abril	1 h 45 min	Abril	1 h 49 min
Mayo	32 h 21 min	Mayo	En proceso de adquisición de datos
Junio	54 h 43 min	Junio	En proceso de adquisición de datos
Julio	340 h 58 min	Julio	En proceso de adquisición de datos
Agosto	1148 h 35 min	Agosto	En proceso de adquisición de datos
Septiembre	120 h 30 min	Septiembre	En proceso de adquisición de datos
Octubre	1403 h 22 min	Octubre	En proceso de adquisición de datos
Noviembre	152 h 38 min	Noviembre	En proceso de adquisición de datos

Diciembre	3 h 47 min	Diciembre	En proceso de adquisición de datos
	3259 h 2 min / 12	242 h 10 min / 4	
	271.58 h 0.16 min	60.5 h 1 min	

Nota: Calculado de los Apéndices F y G. Desarrollo de la Monografía.

Tabla 11

Plan de Mantenimiento M0 (750 h).

ÍTEM	ACTIVIDADES
1	Medir y registrar corriente de motores extractores de aire
2	Verificar la medida y el estado del indicador de restricción de aire
3	Inspeccionar los filtros primario y secundario
4	Verificar el correcto funcionamiento de los desaireadores del postenfriador
5	Revisar la tubería gas y la de refrigerante
6	Inspeccionar el circuito y la tubería HT y LT en busca de fugas o condiciones anormales del circuito
7	Inspeccionar las mangueras y los racores de aceite y de refrigerante, además de la correcta posición de las mangueras
8	Limpiar el sensor de velocidad y tiempo (sin desmontar)
9	Revisión de los sensores de presión y de temperatura
10	Revisar conexiones al arnés de cada uno de los bancos, limpiar conectores y terminales
11	Revisar estado de termocuplas (limpiarlas sin desmontar)
12	Verificar que no haya exposición de cables a fuentes de calor o de humedad
13	Revisar niveles de refrigerante, de aceite del motor y de la caja de engranajes e inspeccionar que no haya fuga de fluidos
14	Verificar ajuste del tablero de control (que no haya vibraciones)
15	Revisión mediciones de temperatura HT y LT con pistola infrarroja
16	Verificar las presiones en los manómetros de HT y de LT

Nota: Desarrollo de la Monografía.

Tabla 12*Plan de Mantenimiento MI (1500 h).*

ÍTEM	ACTIVIDADES
1	Cambiar bujías / hacer mantenimiento al sistema de ignición
2	Revisar sello en o de las bobinas
3	Ajustar válvulas de admisión y de escape
4	Medir y registrar la corriente de los motores extractores de aire
5	Verificar medida y estado del indicador de restricción de aire
6	Inspeccionar filtro primario y secundario
7	Verificar el correcto funcionamiento de los desaireadores del postenfriador
8	Revisar las tuberías de gas y de refrigerante
9	Inspeccionar circuito y tubería HT y LT para verificar que no haya fugas o irregularidades en el circuito
10	Limpiar la tubería de gas y de refrigerante
11	Limpiar e inspeccionar el filtro de entrada de gas
12	Inspeccionar el estado de las mangueras y de los racores de aceite y de refrigerante, además de la correcta posición de las mangueras
13	Inspección de piñones de la caja de engranajes
14	Verificar recipientes de lubricación de rodamientos de la caja de engranajes
15	Engrasar los rodamientos DE y NDE del alternador, inspeccionar los ductos de lubricación
16	Inspeccionar el rodamiento del alternador DE y NDE
17	Verificar las holguras radiales en los rodamientos y en los alojamientos DE/NDE del alternador
18	Limpiar el filtro centrífugo
19	Cambiar los filtros de aceite y el conjunto de sellos. Inspeccionar los filtros desmontados
20	Limpiar el sensor de velocidad y tiempo (sin desmontarlo)
21	Revisión estado de sensores de presión y de temperatura
22	Revisar conexiones al arnés de cada uno de los bancos, limpiar conectores y terminales
23	Revisar estado de termocuplas (limpiarlas sin desmontar)
24	Medir la resistencia de los sensores de temperatura (termocuplas)
25	Verificar que no haya exposición de cables a fuentes de calor o de humedad
26	Revisar y limpiar las conexiones del sistema de puesta a tierra principal del motor
27	Limpiar las tarjetas y ajustar las conexiones en la caja de control del alternador/revisar conexiones de TC y de TP
28	Medir las resistencias y aislamientos del alternador / limpiar los terminales

29	Verificar estado y lecturas de las baterías del PLC, del GIB y revisar el motor de arranque
30	Limpiar el GIB, revisar relevos y sus bases
31	Revisar niveles de refrigerante, aceite del motor y de la caja de engranajes e inspeccionar que no haya fuga de fluidos
32	Tomar muestra de aceite de la caja de engranajes
33	Lavar el radiador
34	Verificar ajuste del tablero de control (que no haya vibraciones)
35	Revisar mediciones de temperatura HT y LT con la pistola infrarroja
36	Revisar el correcto funcionamiento del termóstato comparando el delta de temperatura con la pistola infrarroja
37	Verificar las presiones en el manómetro de HT y de LT
38	Verificar ajustes de estabilidad de carga y verificar las presiones

Nota: Ampliado y mejorado de la Guía de Mantenimiento Global para Grupos Electrónicos QSV91G (p. 8) por Wooding, C., Kitchen A. y Glover, R.M., 2010. Grupo de Servicio para Negocios de Soluciones de Energía Cummins.

Tabla 13

Plan de Mantenimiento M2 (3000 h).

ITEM	ACTIVIDADES
1	Cambiar bujías / hacer mantenimiento al sistema de Ignición
2	Revisar sello en o de las bobinas
3	Ajustar válvulas de admisión y de escape
4	Revisar las tolerancias radial y axial del turbocargador
5	Medir y registrar la corriente de los motores extractores de aire
6	Verificar la medición y el estado del indicador de restricción de aire
7	Inspeccionar el filtro primario y el secundario
8	Verificar el correcto funcionamiento de los desaireadores del postenfriador
9	Revisar las tuberías de gas y de refrigerante
10	Inspeccionar el circuito y las tuberías HT y LT revisando que no haya fugas o condiciones irregulares del circuito
11	Limpiar las tuberías de gas y de refrigerante
12	Limpiar e inspeccionar el filtro de entrada de gas
13	Inspeccionar las mangueras y racores de aceite y de refrigerante, además de la correcta posición de las mangueras

14	Inspeccionar las conexiones flexibles por deterioro en válvulas bellows, juntas y en las juntas del radiador
15	Inspeccionar los piñones de la caja de engranajes
16	Verificar los recipientes de lubricación de rodamientos de la caja de engranajes
17	Engrasar rodamientos de alternador DE y NDE inspección de ductos de lubricación
18	Inspeccionar los rodamientos de DE y NDE del alternador
19	Verificar holguras radiales en rodamientos y alojamientos DE/NDE del alternador
20	Limpiar el filtro centrifugo
21	Cambiar sellos en o de cubierta y tornillo de purga
22	Cambiar filtros de aceite y el conjunto de sellos/ Inspeccionar los filtros desmontados
23	Limpiar el sensor de velocidad y tiempo (sin desmontarlo)
24	Revisar el estado de los sensores de presión y temperatura
25	Revisar conexiones al arnés de cada uno de los bancos, realizar limpieza a los conectores y terminales
26	Limpiar y revisar las termocuplas (sin desmontarlas)
27	Medir la resistencia de los sensores de temperatura (termocuplas)
28	Verificar que no haya exposición de cables a fuentes de calor o de humedad
29	Revisar y limpiar las conexiones del sistema de puesta a tierra principal del motor
30	Limpiar las tarjetas y ajustar las conexiones en la caja de control del alternador/revisar las conexiones de TC y de TP
31	Medir las resistencias y los aislamientos del alternador/Limpiar los terminales
32	Verificar la condición de las baterías del PLC, del GIB y revisar el motor de arranque
33	Limpiar el GIB
34	Revisar la tornillería de montaje del alternador y del motor
35	Revisar los niveles de refrigerante, de aceite del motor y de la caja de engranajes e inspeccionar que no haya fuga de fluidos
36	Tomar muestra de aceite de la caja de engranajes
37	Lavar el radiador
38	Verificar ajuste del tablero de control (que no haya vibraciones)
39	Revisar las mediciones de temperatura HT y de LT con la pistola infrarroja
40	Revisar la correcta operación del termostato, comparando el delta de temperatura con la pistola infrarroja
41	Verificar las presiones en el manómetro de HT y de LT
42	Verificar Oxígeno y NOx con el analizador de gases
43	Verifica ajustes de estabilidad de carga y verificación presiones
44	Realizar análisis de vibraciones

Nota: Ampliado y mejorado de la Guía de Mantenimiento Global para Grupos Electrógenos QSV91G (p. 9) por Wooding, C., Kitchen A. y Glover, R.M., 2010. Grupo de Servicio para Negocios de Soluciones de Energía Cummins.

Tabla 14

Plan de Mantenimiento M3 (6000 h).

ITEM	ACTIVIDADES
1	Cambiar bujías, hacer mantenimiento al sistema de ignición
2	Revisión de sello en o bobina
3	Ajustar válvulas de admisión y de escape
4	Inspeccionar tolerancia radial y axial del turbocargador
5	Inspeccionar visualmente la excentricidad del rodillo del árbol de levas
6	Inspeccionar los casquetes de biela y bancada
7	Cambiar los sellos de las tapas válvulas por condición
8	Cambiar de sellos de la mira de inspección, del cigüeñal y del árbol de levas
9	Medir e inspeccionar la dureza del Arcusaflex
10	Medir y registrar la corriente de los motores extractores de aire
11	Verificar la medición y el estado del indicador de restricción de aire
12	Inspeccionar el filtro primario y el filtro secundario
13	Verificar el correcto funcionamiento de los desaireadores del postenfriador
14	Revisar la tubería de gas y de refrigerante
15	Inspeccionar el circuito y la tubería HT y LT en caso de fugas e irregularidades en el circuito
16	Limpiar las tuberías de gas y de refrigerante
17	Limpiar e inspeccionar el filtro de entrada de gas
18	Cambiar el filtro principal de gas
19	Inspeccionar el estado de las mangueras y racores de aceite y refrigerante, además de la correcta posición de las mangueras
20	Inspeccionar las conexiones flexibles por deterioro de la válvula Bellows en sus juntas y las juntas del radiador
21	Inspeccionar la corredera de la volanta
22	Inspeccionar los piñones de la caja de engranajes
23	Verificar recipientes de lubricación de rodamientos de la caja de engranajes
24	Engrasar los rodamientos DE y NDE del alternador, inspeccionar los ductos de lubricación

25	Inspeccionar los rodamientos DE y NDE del alternador
26	Cambiar el filtro de aceite de la caja de engranajes
27	Verificar las holguras radiales en los rodamientos y en los alojamientos DE/NDE del alternador
28	Limpiar el filtro centrifugo
29	Cambiar el filtro de ventilación del tanque (cárter)
30	Cambio sellos en o de cubierta y tornillo de purga
31	Cambiar filtros de aceite y el conjunto de sellos/ inspeccionar los filtros desmontados
32	Limpiar el sensor de velocidad y tiempo (sin desmontarlo)
33	Revisar el estado de los sensores de presión y de temperatura
34	Revisar conexiones al arnés de cada uno de los bancos, realizar limpieza a conectores, terminales
35	Limpiar todas las partes del arnés y verificar que no haya dobleces ni roturas en los encauchados
36	Verificar estado de corrosión en cada conector de arnés
37	Revisar estado de termocuplas (realizar limpieza sin desmontar)
38	Medir la resistencia de los sensores de temperatura (termocupla)
39	Desmontar la termocupla para limpieza del termopar
40	Verificar que no haya exposición de cables a fuentes de calor o humedad
41	Revisar y limpiar las conexiones del sistema de puesta a tierra principal del motor
42	Limpiar las tarjetas y ajustar las conexiones en la caja de control del alternador/ revisar conexiones TC y TP
43	Limpiar el transformador del alternador
44	Limpiar el alternador con Nitrógeno (rotor, estator, excitatriz, PMG)
45	Medir la resistencia y el aislamiento del alternador/limpiar los terminales
46	Probar el voltaje de los diodos del alternador
47	Verificar la condición de las baterías del PLC, del GIB y revisar el motor de arranque
48	Ajustar las conexiones en las celdas de media tensión y en los transformadores
49	Limpiar el GIB
50	Revisar la tornillería de montaje del alternador y del motor
51	Revisar los niveles de refrigerante, de aceite del motor y de la caja de engranajes e inspeccionar que no haya fuga de fluidos
52	Tomar muestra de aceite de la caja de engranajes
53	Lavar el radiador
54	Verificar ajuste del tablero de control (que no haya vibraciones)
55	Revisar las mediciones de temperatura HT y LT con la pistola infrarroja

56	Revisar el correcto funcionamiento del termostato comparando el delta de temperatura con la pistola infrarroja
57	Verificar las presiones en el manómetro de HT y de LT
58	Realizar análisis de vibraciones
59	Verificar el nivel oxígeno y NOx con el analizador de gases
60	Verifica ajustes de estabilidad de carga y verificar presiones

Nota: Ampliado y mejorado de la Guía de Mantenimiento Global para Grupos Electrónicos QSV91G (p. 10) por Wooding, C., Kitchen A. y Glover, R.M., 2010. Grupo de Servicio para Negocios de Soluciones de Energía Cummins.

Tabla 15

Plan de Mantenimiento M4 (15000 h).

ITEM	ACTIVIDADES
1	Cambio de bujías / mantenimiento al sistema de ignición
2	Reemplazar las bobinas de ignición
3	Revisar el sello en o de la bobina
4	Ajustar las válvulas de admisión y de escape
5	Revisar la tolerancia radial y axial del turbocargador
6	Medir y registrar las corrientes de los motores extractores de aire
7	Verificar la medición y la condición del indicador de restricción de aire
8	Inspeccionar los filtros de aire primario y secundario
9	Verificar el correcto funcionamiento de los desaireadores del postenfriador
10	Revisar la tubería de gas y la de refrigerante
11	Inspeccionar el circuito y la tubería HT y LT revisando que no haya fugas o irregularidades en el circuito
12	Limpiar las tuberías de gas y de refrigerante
13	Limpiar e inspeccionar el filtro de entrada de gas
14	Reemplazar el elemento filtrante de la línea de gas
15	Cambio los sellos y las mangueras en la línea de gas
16	Inspeccionar el estado de las mangueras, de los racores de aceite y de refrigerante, además de la correcta posición de las mangueras
17	Inspeccionar las conexiones flexibles por deterioro la válvula bellows, sus juntas y las juntas del radiador
18	Inspeccionar los piñones de la caja de engranajes

19	Verificar los recipientes de lubricación de rodamientos de la caja de engranajes
20	Engrasar los rodamientos DE y NDE del alternador e inspeccionar los ductos de lubricación
21	Inspeccionar los rodamientos DE y NDE del alternador
22	Verificar las holguras radiales en los rodamientos DE/NDE y en los alojamientos del alternador
23	Cambio de aceite de la caja de engranajes
24	Cambio de filtro de aceite de la caja de engranajes
25	Limpieza del filtro centrífugo
26	Cambiar sellos en o de la cubierta y el tornillo de purga
27	Cambiar filtros de Aceite y el conjunto de sellos/ inspeccionar los filtros desmontados
28	Reemplazar eje de las mariposas, los rodamientos y los sellos del acelerador
29	Limpiar el postenfriador
30	Limpiar sensor de velocidad y tiempo (sin desmontarlo)
31	Revisar el estado de los sensores de presión y temperatura
32	Revisar las conexiones al arnés de cada uno de los bancos, limpiar conectores y terminales
33	Revisar el estado de las termocuplas (limpiarlas sin desmontar)
34	Medir la resistencia de los sensores de temperatura (termocuplas)
35	Verificar que no haya exposición de cables a fuentes de calor o humedad
36	Revisar y limpiar las conexiones del sistema de puesta a tierra principal del motor
37	Limpiar las tarjetas y ajustar las conexiones en la caja de control del alternador/revisar conexiones de TC y de TP
38	Medir las resistencias y aislamientos del alternador / limpiar los terminales
39	Verificar estado y lecturas de las baterías del PLC, del GIB y revisar el motor de arranque
40	Reemplazar batería de respaldo del PLC
41	Reemplazar baterías de respaldo del GIB
42	Limpiar el GIB
43	Revisar la tornillería de montaje del alternador y del motor
44	Revisar los niveles de refrigerante, del aceite de motor y de la caja de engranajes e inspeccionar que no haya fuga de fluidos
45	Tomar muestra de aceite de la caja de engranajes
46	Tomar muestra de aceite del dämper de vibración
47	Lavar el radiador
48	Verificar ajuste del tablero de control (que no haya vibración)
49	Revisar mediciones de temperatura HT y LT con pistola infrarroja
50	Revisar el correcto funcionamiento del termostato comparando el delta de temperatura con la pistola infrarroja
51	Verificar las presiones en lo manómetros de HT y de LT

52	Verificar las emisiones de Oxígeno y de NOx con el analizador de gases
53	Realizar análisis de vibraciones
53	Verificar ajustes de estabilidad de carga y verificar presiones

Nota: Ampliado y mejorado de la Guía de Mantenimiento Global para Grupos Electrónicos QSV91G (p. 11) por Wooding, C., Kitchen A. y Glover, R.M., 2010. Grupo de Servicio para Negocios de Soluciones de Energía Cummins.

Tabla 16

Plan de Mantenimiento M5 (30000 h).

ITEM	ACTIVIDADES
1	Cambio de bujías / mantenimiento al sistema de ignición
2	Reemplazar las bobinas de ignición
3	Revisar el sello en o de la bobina
4	Ajustar las válvulas de admisión y de escape
5	Revisar la tolerancia radial y axial del turbocargador
6	Medir y registrar las corrientes de los motores extractores de aire
7	Verificar la medición y la condición del indicador de restricción de aire
8	Inspeccionar los filtros de aire primario y secundario
9	Verificar el correcto funcionamiento de los desaireadores del postenfriador
10	Revisar la tubería de gas y la de refrigerante
11	Inspeccionar el circuito y la tubería HT y LT revisando que no haya fugas o irregularidades en el circuito
12	Limpiar las tuberías de gas y de refrigerante
13	Limpiar e inspeccionar el filtro de entrada de gas
14	Reemplazar el elemento filtrante de la línea de gas
15	Cambio los sellos y las mangueras en la línea de gas
16	Inspeccionar el estado de las mangueras, de los racores de aceite y de refrigerante, además de la correcta posición de las mangueras
17	Inspeccionar las conexiones flexibles por deterioro la válvula Bellows, sus juntas y las juntas del radiador
18	Inspeccionar los piñones de la caja de engranajes
19	Verificar los recipientes de lubricación de rodamientos de la caja de engranajes
20	Engrasar los rodamientos DE y NDE del alternador e inspeccionar los ductos de lubricación

21	Inspeccionar los rodamientos DE y NDE del alternador
22	Verificar las holguras radiales en los rodamientos DE/NDE y en los alojamientos del alternador
23	Cambio de aceite de la caja de engranajes
24	Cambio de filtro de aceite de la caja de engranajes
25	Limpieza del filtro centrífugo
26	Cambiar sellos en o de la cubierta y el tornillo de purga
27	Cambiar filtros de Aceite y el conjunto de sellos/ inspeccionar los filtros desmontados
28	Reemplazar eje de las mariposas, los rodamientos y los sellos del acelerador
29	Limpiar el postenfriador
30	Limpiar sensor de velocidad y tiempo (sin desmontarlo)
31	Revisar el estado de los sensores de presión y temperatura
32	Revisar las conexiones al arnés de cada uno de los bancos, limpiar conectores y terminales
33	Revisar el estado de las termocuplas (limpiarlas sin desmontar)
34	Medir la resistencia de los sensores de temperatura (termocuplas)
35	Verificar que no haya exposición de cables a fuentes de calor o humedad
36	Revisar y limpiar las conexiones del sistema de puesta a tierra principal del motor
37	Limpiar las tarjetas y ajustar las conexiones en la caja de control del alternador/revisar conexiones de TC y de TP
38	Medir las resistencias y aislamientos del alternador / limpiar los terminales
39	Verificar estado y lecturas de las baterías del PLC, del GIB y revisar el motor de arranque
40	Reemplazar batería de respaldo del PLC
41	Reemplazar baterías de respaldo del GIB
42	Limpiar el GIB
43	Revisar la tornillería de montaje del alternador y del motor
44	Revisar los niveles de refrigerante, del aceite de motor y de la caja de engranajes e inspeccionar que no haya fuga de fluidos
45	Tomar muestra de aceite de la caja de engranajes
46	Tomar muestra de aceite del dámper de vibración
47	Lavar el radiador
48	Verificar ajuste del tablero de control (que no haya vibración)
49	Revisar mediciones de temperatura HT y LT con pistola infrarroja
50	Revisar el correcto funcionamiento del termóstato comparando el delta de temperatura con la pistola infrarroja
51	Verificar las presiones en lo manómetros de HT y de LT
52	Verificar las emisiones de Oxígeno y de NOx con el analizador de gases
53	Verificar ajustes de estabilidad de carga y verificar presiones
54	Reemplazar culatas

55	Cambiar las camisas del cilindro
56	Reemplazar los anillos del pistón
57	Cambiar las faldas del pistón
58	Reemplazar los casquetes de bielas
59	Cambiar los casquetes de bancada
59	Reemplazar la bomba de aceite
60	Cambiar los rodillos y las varillas impulsadoras
61	Reemplazar los sellos de la válvula reguladora de gas
62	Cambiar los termostatos de los circuitos HT y LT
63	Reemplazar la bomba de agua
64	Limpiar e inspeccionar el enfriador de aceite
65	Limpiar e inspeccionar el postenfriador de aceite
66	Cambiar el drenaje del turbo y las mangueras
67	Cambiar los cuatro turbocargadores
68	Hacer análisis de vibraciones
69	Efectuar mantenimiento al múltiple de escape, cambiar las partes flexibles
70	Realignar el conjunto motor-generador

Nota: Ampliado y mejorado de la Guía de Mantenimiento Global para Grupos Electrónicos QSV91G (p. 13) por Wooding, C., Kitchen A. y Glover, R.M., 2010. Grupo de Servicio para Negocios de Soluciones de Energía Cummins.

Tabla 17

Plan de Mantenimiento M6 (60000 h).

ITEM	ACTIVIDADES
1	Cambio de bujías / mantenimiento al sistema de ignición
2	Reemplazar las bobinas de ignición
3	Revisar el sello en o de la bobina
4	Ajustar las válvulas de admisión y de escape
5	Revisar la tolerancia radial y axial del turbocargador
6	Medir y registrar las corrientes de los motores extractores de aire
7	Verificar la medición y la condición del indicador de restricción de aire
8	Inspeccionar los filtros de aire primario y secundario
9	Verificar el correcto funcionamiento de los desaireadores del postenfriador

10	Revisar la tubería de gas y la de refrigerante
11	Inspeccionar el circuito y la tubería HT y LT revisando que no haya fugas o irregularidades en el circuito
12	Limpiar las tuberías de gas y de refrigerante
13	Limpiar e inspeccionar el filtro de entrada de gas
14	Reemplazar el elemento filtrante de la línea de gas
15	Cambio los sellos y las mangueras en la línea de gas
16	Inspeccionar el estado de las mangueras, de los racores de aceite y de refrigerante, además de la correcta posición de las mangueras
17	Inspeccionar las conexiones flexibles por deterioro la válvula Bellows, sus juntas y las juntas del radiador
18	Inspeccionar los piñones de la caja de engranajes
19	Verificar los recipientes de lubricación de rodamientos de la caja de engranajes
20	Engrasar los rodamientos DE y NDE del alternador e inspeccionar los ductos de lubricación
21	Inspeccionar los rodamientos DE y NDE del alternador
22	Verificar las holguras radiales en los rodamientos DE/NDE y en los alojamientos del alternador
23	Cambio de aceite de la caja de engranajes
24	Cambio de filtro de aceite de la caja de engranajes
25	Limpieza del filtro centrífugo
26	Cambiar sellos en o de la cubierta y el tornillo de purga
27	Cambiar filtros de Aceite y el conjunto de sellos/ inspeccionar los filtros desmontados
28	Reemplazar eje de las mariposas, los rodamientos y los sellos del acelerador
29	Limpiar el postenfriador
30	Limpiar sensor de velocidad y tiempo (sin desmontarlo)
31	Revisar el estado de los sensores de presión y temperatura
32	Revisar las conexiones al arnés de cada uno de los bancos, limpiar conectores y terminales
33	Revisar el estado de las termocuplas (limpiarlas sin desmontar)
34	Medir la resistencia de los sensores de temperatura (termocuplas)
35	Verificar que no haya exposición de cables a fuentes de calor o humedad
36	Revisar y limpiar las conexiones del sistema de puesta a tierra principal del motor
37	Limpiar las tarjetas y ajustar las conexiones en la caja de control del alternador/revisar conexiones de TC y de TP
38	Medir las resistencias y aislamientos del alternador / limpiar los terminales
39	Verificar estado y lecturas de las baterías del PLC, del GIB y revisar el motor de arranque
40	Reemplazar batería de respaldo del PLC

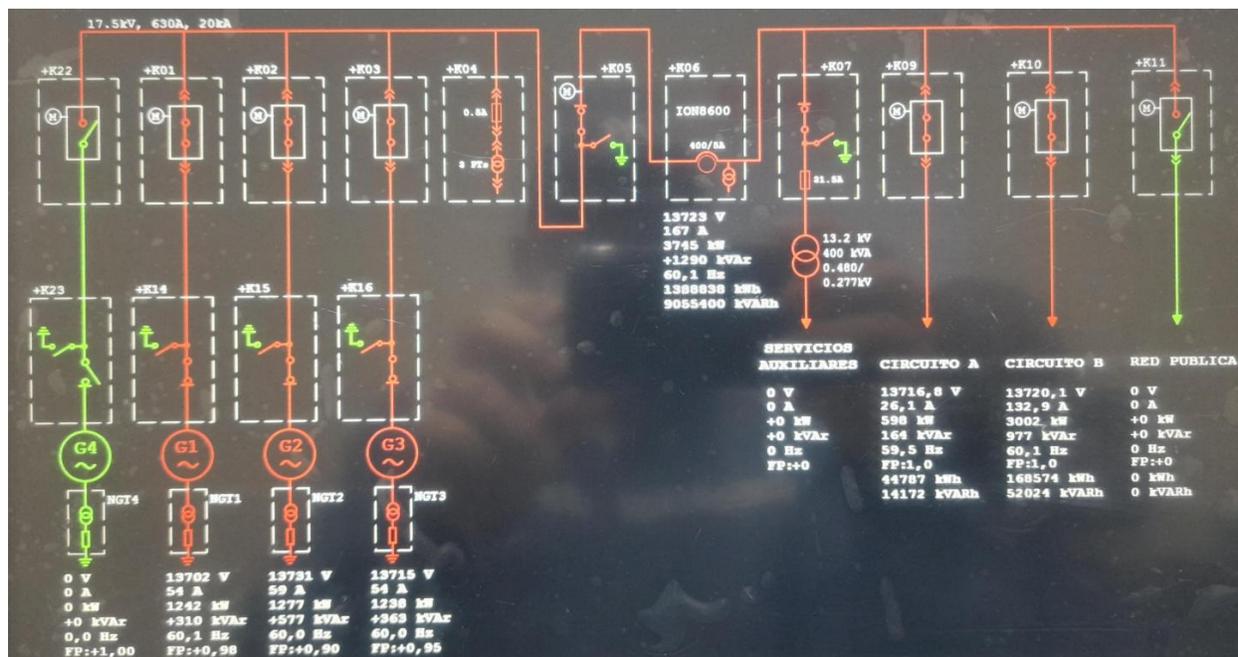
41	Reemplazar baterías de respaldo del GIB
42	Limpiar el GIB
43	Revisar la tornillería de montaje del alternador y del motor
44	Revisar los niveles de refrigerante, del aceite de motor y de la caja de engranajes e inspeccionar que no haya fuga de fluidos
45	Tomar muestra de aceite de la caja de engranajes
46	Tomar muestra de aceite del dámper de vibración
47	Lavar el radiador
48	Verificar ajuste del tablero de control (que no haya vibración)
49	Revisar mediciones de temperatura HT y LT con pistola infrarroja
50	Revisar el correcto funcionamiento del termostato comparando el delta de temperatura con la pistola infrarroja
51	Verificar las presiones en los manómetros de HT y de LT
52	Verificar las emisiones de Oxígeno y de NOx con el analizador de gases
53	Verificar ajustes de estabilidad de carga y verificar presiones
54	Reemplazar culatas con unidades de recambio
55	Cambiar las camisas del cilindro
56	Reemplazar los anillos del pistón
57	Cambiar las faldas del pistón
58	Reemplazar los casquetes de bielas
59	Cambiar los casquetes de bancada
59	Reemplazar la bomba de aceite
60	Cambiar los rodillos y las varillas impulsadoras
61	Reemplazar los sellos de la válvula reguladora de gas
62	Cambiar los termostatos de los circuitos HT y LT
63	Reemplazar la bomba de agua
64	Limpiar e inspeccionar el enfriador de aceite
65	Limpiar e inspeccionar el postenfriador de aceite
66	Cambiar el drenaje del turbo y las mangueras
67	Reemplazar los cuatro turbocargadores
68	Efectuar mantenimiento al múltiple de escape, cambiar las partes flexibles
69	Cambiar los bujes del árbol de levas
70	Reemplazar los cojinetes del juego axial del eje de levas
71	Cambiar el dámper de vibración
72	Reemplazar el pasador de los pistones
73	Cambiar los pistones
74	Reemplazar las bielas
75	Realizar análisis de vibraciones
76	Cambiar los sellos de la parte trasera del cigüeñal
77	Realignar el conjunto motor-generador

Nota: Ampliado y mejorado de la Guía de Mantenimiento Global para Grupos Electrónicos QSV91G (p. 16) por Wooding, C., Kitchen A. y Glover, R.M., 2010. Grupo de Servicio para Negocios de Soluciones de Energía Cummins.

7. Figuras

Figura 1

Vista del Panel de Diagnóstico de la Planta de Generación en Tiempo Real.



Nota: Sala de Control de la Planta de Generación.

Figura 2

Grupo Electrogeno Cummins QSV91G.



Nota: Tomado de <https://www.cummins.com/generators/qsv91g>

Figura 3

Generador Síncrono conectado con la Celda de Remonte y con la Celda QM.



Nota: Imagen de un Cuarto de Máquinas de la Planta de Generación.

Figura 4

Generador Síncrono con su Tablero de Control Local GIB y Motor (lado A).



Nota: Imagen de un Cuarto de Máquinas de la Planta de Generación.

Figura 5

Motor y Caja de Engranajes (lado A).



Nota: Imagen de un Cuarto de Máquinas de la Planta de Generación.

Figura 6

Motor conectado a la Válvula Solenoide de Suministro de Gas.



Nota: Imagen de un Cuarto de Máquinas de la Planta de Generación.

Figura 7

Tren de Gas.



Nota: Imagen de un Cuarto de Máquinas de la Planta de Generación.

Figura 8

Motor y Generador (lado B).



Nota: Imagen de un Cuarto de Máquinas de la Planta de Generación.

Figura 9*Datos de Placa del Motor.*

Engine No.	66301403	SO. No.	60475-5	
Model	QSV91-G	Ref. No.	0100-4013-51	
Advertised kW	1860 AT 1500 RPM	Engine Cert	CID	Family
Conf. No.	D673001GX03	Ident	91.6	D67
Date of mfg.	09FEB10	Warranty Start Date		
Assembled by Cummins LTD, Great Britain				

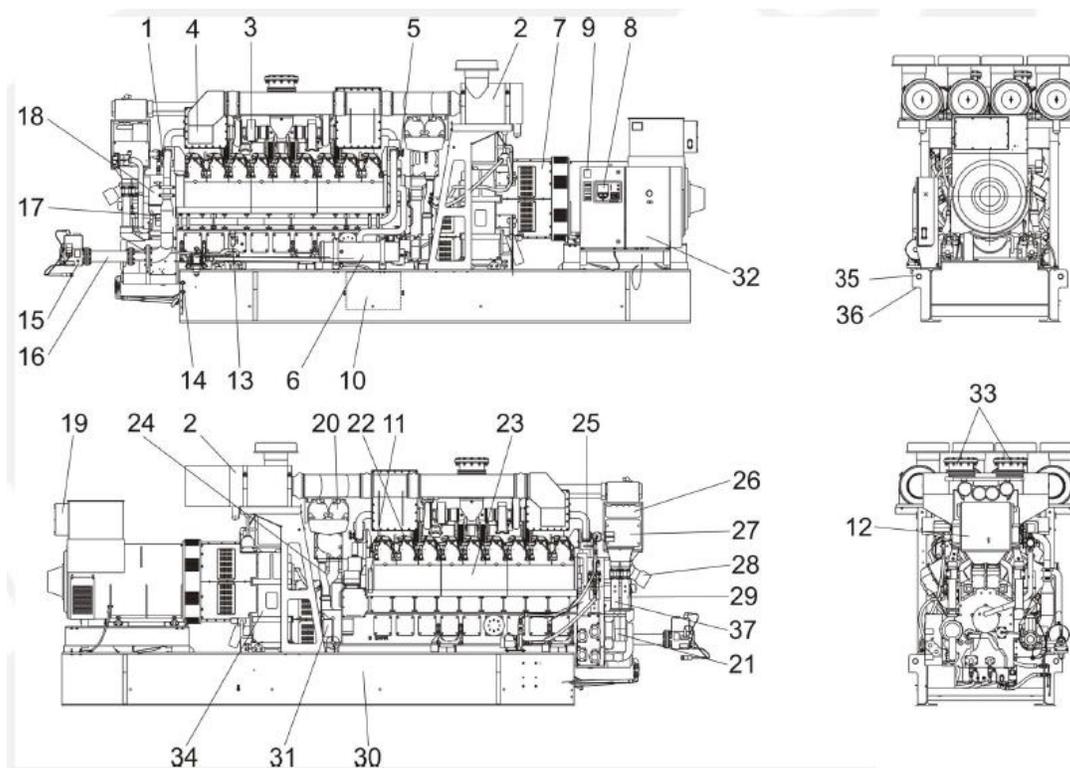
*Nota: Imagen de un Cuarto de Máquinas de la Planta de Generación.***Figura 10***Datos de Placa del Alternador.*

Cummins Power Generation	
Mansston Park, Columbus Avenue, Ramsgate, Kent, England, CT12 5BF	
Model Number	C1750 N6C
Serial Number	B10KBDF610
Manufacturing Order Number	BDF610
Year of Manufacture/Specification letter	2010
Declared Rating	Continuous
Rated power kVA	2188.0
kW	1750.0
Voltage	13,800
Frequency	50 Hz 60 Hz
Power factor	0.8 0.8
Generating set Max Mass - wet kg	24,359 24,359
Controller	PC3.3 PC3.3
Altitude before possible derate ASL m	
Temperature before derate °C	
CE	

Nota: Imagen de un Cuarto de Máquinas de la Planta de Generación.

Figura 11

Ubicación de las Partes Auxiliares Mecánicas y de las Partes Auxiliares de Instrumentación del Grupo Electrógeno.



1 Válvula de caudal másico de gas	14 Válvula de relleno de aceite lubricante	27 Módulo CENSE
2 Filtro de aire	15 Válvula de desactivación de solenoide DSSOV	28 Módulo accionador del regulador
3 Turboalimentador	16 Tubo de escape	29 Tubo de refrigerante del agua a bajas temperaturas
4 Mezclador combustible/aire	17 Válvula de ventilación	30 Bastidor de acero
5 Válvula de caudal másico de gas	18 Filtro de aceite centrífugo	31 Motor de arranque eléctrico (opcional)
6 Filtro de respiradero del cárter	19 AVR/Caja de controles	32 Caja de auxiliares de CA
7 Alternador	20 Filtros de aceite lubricante	33 Fuelles del escape
8 Caja de terminales del grupo generador	21 Bomba de agua del refrigerante	34 Caja de cambios
9 Placa de datos del grupo generador	22 Bujías y bobinas de encendido	35 Punto de elevación
10 Depósito de retorno de combustible sucio	23 Tapa con varios alojamientos	36 Punto de elevación con gato
11 Placa de datos del motor	24 Tubo de retorno del refrigerante del radiador de aceite lubricante	37 Tubo de refrigerante del agua a altas temperaturas
12 Posrefrigerador	25 Válvula de gas Flotech	
13 Varilla medidora de aceite lubricante	26 Módulos impulsores del regulador	

Nota: Guía de Mantenimiento Global para Grupos Electrógenos QSV91G. Grupo de Servicio para Negocios de Soluciones de Energía Cummins (p. 9), por Wooding, C., Kitchen A. y Glover, R.M. (2010).

Figura 12

Componentes del Tren de Gas.

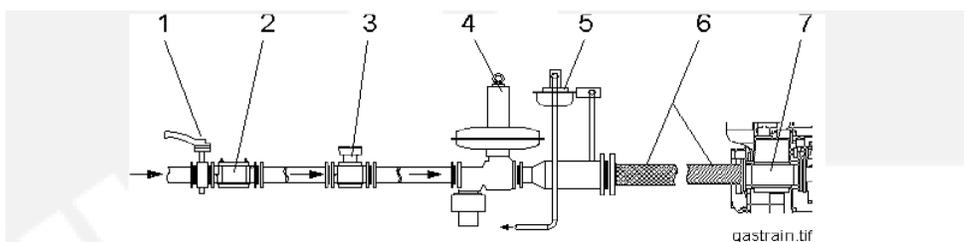


Figura 4 Tren de gas

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|--|
| 1 | Válvula de cierre de gas (GSOV) | 5 | Válvula de descarga de presión (PRV) |
| 2 | Filtro | 6 | Tubo flexible |
| 3 | Medidor de caudal (opcional) | 7 | Válvula de cierre de solenoide doble (DSSOV) y bloque doble (montada fuera del grupo generador, como opción) |
| 4 | Regulador de presión | | |

Nota: Guía de Mantenimiento Global para Grupos Electrógenos QSV91G. Grupo de Servicio para Negocios de Soluciones de Energía Cummins (p. 10), por Wooding, C., Kitchen A. y Glover, R.M. (2010).

Figura 13*Matriz de Criticidad.*

FRECUENCIA	5					
	4					
	3					
	2					
	1					
		1	2	3	4	5
		CONSECUENCIA				

Criticidad:
Crítico
Semi crítico
No Crítico

Nota: Desarrollo de la Monografía.

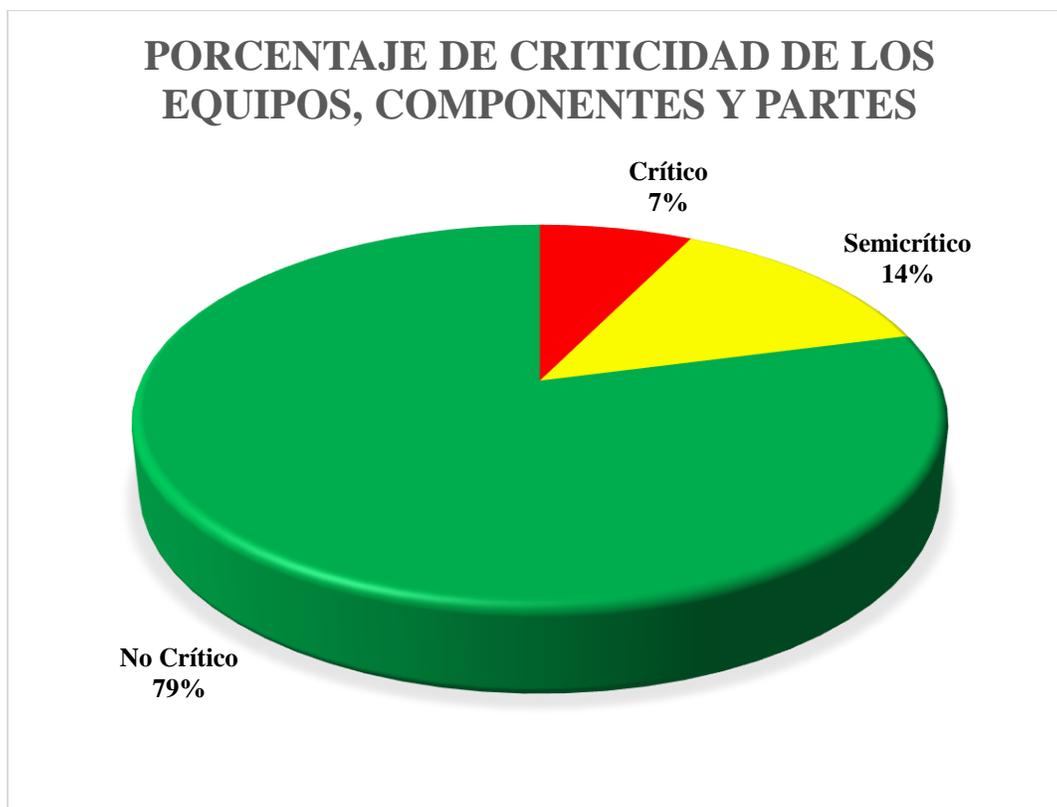
Figura 14*Matriz de Criticidad Jerarquizada.*

FRECUENCIA	5					
	4	3				1
	3	2		2	1	
	2	9	6	2	3	2
	1	23	24	23	5	4
	1	2	3	4	5	
	CONSECUENCIA					

Nota: Desarrollo de la Monografía.

Figura 15

Porcentaje de Criticidad de los Equipos, Componentes y Partes.



Nota: Desarrollo de la Monografía.

Figura 16

Matriz de Riesgos para RCM.

CONSECUENCIAS				CONSECUENCIA		PROBABILIDAD					
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN			IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE
Más de un muerto	Efectos irreversibles	>100	Internacional	Catastrófico	1						
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 100M - 10M	Nacional	Critico	2	MF1					
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 10 M- 1M	Regional	Marginal	3			MF2			
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 1M- .05M	Local	Insignificante	4						
Ninguna	No afecta el medio ambiente	<0.05M	Ninguno	Ninguno	5	MF1		MF2			
						> 10 Años A	< 10 Años B	< 5 Años C	< 2 Años D	< 6 Meses E	± 1 Mes F

NIVEL DE RIESGO

BAJO
MEDIO
ALTO

Nota: Ortiz (2021). Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 17

Definición RCM de Funciones del Regulador de Gas.

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	FUNCIONES	
Regulador de Gas	Material: Acero Inoxidable	Entrada 25 psi	Afectación al Medio ambiente: Escape de gas	Montaje visible en el Tren de Gas, entre el Filtro de Entrada y la Válvula de Descarga de Presión PRV	ENTRADAS: De gas 25 psi	Reducir la presión de entrada de 25 psi a una presión de salida entre (2.2 y 3.5 psi)	
	Marca: Cummins	Salida (2.2-3.5) psi					
						SALIDAS: De gas entre (2.2 y 3.5) psi	



Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 18*Hoja RCM del Regulador de Gas.*

<u>Funci3n</u>	<u>Descripci3n Falla Funcional</u>	<u>Modo de Falla</u>	<u>Falla Oculta</u>	<u>Evidencia</u>	<u>Descripci3n Efectos y Consecuencias</u>	<u>Consec. sobre MA y Seg.</u>	<u>Consec. sobre Prod. Y Otros</u>	<u>Efectos - Daños f3sicos</u>	<u>Correctivo</u>	<u>Impacto Econ3mico Total Del riesgo (\$)</u>
Reducir la presi3n de entrada de 25 psi a una presi3n de salida entre (2.2 y 3.5 psi)	Escape de Gas	Grieta en carcasa	NO	El operador detecta la fuga de gas por olfato y/o ruido y su origen	El operador informa, corta el suministro de gas y lo purga, luego apaga el equipo para corregir la fuga cerrando la V3lvula de Cierre de Gas GSOV	Riesgos de inhalaci3n de gas y de explosi3n	Se detiene el equipo provocando por 720 h p3rdida de generaci3n, lucro cesante	Grieta no soldable por seguridad	Cambiar Regulador de Presi3n	202.932.160
Reducir la presi3n de entrada de 25 psi a una presi3n de salida entre (2.2 y 3.5 psi)	Presi3n de salida inferior a 2.2 psi	Resorte del muelle partido	NO	El operador observa presi3n inferior a 2.2 psi en el man3metro	El operador informa, corta el suministro de gas y lo purga, luego apaga el equipo para corregir la fuga cerrando la V3lvula de Cierre de Gas GSOV	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Se detiene el equipo provocando por 720 h p3rdida de generaci3n, lucro cesante	Parte ensamblada no conforme	Cambiar Regulador de Presi3n	202.932.160
Reducir la presi3n de entrada de 25 psi a una presi3n de salida entre (2.2 y 3.5 psi)	Presi3n de salida inferior a 2.2 psi	Resorte del muelle elonga demasiado	NO	El operador observa presi3n inferior a 2.2 psi en el man3metro	El operador informa, corta el suministro de gas y lo purga, luego apaga el equipo para corregir la fuga cerrando la V3lvula de Cierre de Gas GSOV	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Se detiene el equipo provocando por 720 h p3rdida de generaci3n, lucro cesante	Parte ensamblada no conforme	Cambiar Regulador de Presi3n	202.932.160
Reducir la presi3n de entrada de 25 psi a una presi3n de salida entre (2.2 y 3.5 psi)	Presi3n de salida inferior a 2.2 psi	Obturador abre demasiado	NO	El operador observa presi3n inferior a 2.2 psi en el man3metro	El operador informa, corta el suministro de gas y lo purga, luego apaga el equipo para corregir la fuga cerrando la V3lvula de Cierre de Gas GSOV	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Se detiene el equipo provocando por 720 h p3rdida de generaci3n, lucro cesante	Parte ensamblada no conforme	Cambiar Regulador de Presi3n	202.932.160

<u>Función</u>	<u>Descripción Falla Funcional</u>	<u>Modo de Falla</u>	<u>Falla Oculta</u>	<u>Evidencia</u>	<u>Descripción Efectos y Consecuencias</u>	<u>Consec. sobre MA y Seg.</u>	<u>Consec. sobre Prod. Y Otros</u>	<u>Efectos - Daños físicos</u>	<u>Correctivo</u>	<u>Impacto Económico Total Del riesgo (\$)</u>
Reducir la presión de entrada de 25 psi a una presión de salida entre (2.2 y 3.5 psi)	Presión de salida superior a 3.5 psi	Resorte del muelle parcialmente partido	NO	El operador observa presión superior a 3.5 psi en el manómetro	El operador informa, corta el suministro de gas y lo purga, luego apaga el equipo para corregir la fuga cerrando la Válvula de Cierre de Gas GSOV	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Se detiene el equipo provocando por 720 h pérdida de generación, lucro cesante	Parte ensamblada no conforme	Cambiar Regulador de Presión	202.932.160
Reducir la presión de entrada de 25 psi a una presión de salida entre (2.2 y 3.5 psi)	Presión de salida superior a 3.5 psi	Resorte del muelle elongado poco	NO	El operador observa presión superior a 3.5 psi en el manómetro	El operador informa, corta el suministro de gas y lo purga, luego apaga el equipo para corregir la fuga cerrando la Válvula de Cierre de Gas GSOV	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Se detiene el equipo provocando por 720 h pérdida de generación, lucro cesante	Parte ensamblada no conforme	Cambiar Regulador de Presión	202.932.160
Reducir la presión de entrada de 25 psi a una presión de salida entre (2.2 y 3.5 psi)	Presión de salida superior a 3.5 psi	Obturador abre poco	NO	El operador observa presión superior a 3.5 psi en el manómetro	El operador informa, corta el suministro de gas y lo purga, luego apaga el equipo para corregir la fuga cerrando la Válvula de Cierre de Gas GSOV	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Se detiene el equipo provocando por 720 h pérdida de generación, lucro cesante	Parte ensamblada no conforme	Cambiar Regulador de Presión	202.932.160

Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ	R. Imagen	TIPO DE DECISIÓN PREVENTIVA	DESCRIPCIÓN TAREA	RECURSOS
No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambio	Inspección visual al comienzo de cada turno	Técnico mecánico
No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Inspección visual al comienzo de cada turno	Técnico mecánico
No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Inspección visual al comienzo de cada turno	Técnico mecánico
No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Inspección visual al comienzo de cada turno	Técnico mecánico
No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Inspección visual al comienzo de cada turno	Técnico mecánico
No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Inspección visual al comienzo de cada turno	Técnico mecánico
No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Inspección visual al comienzo de cada turno	Técnico mecánico

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 19

Definición de Funciones de la Válvula Solenoide.

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	FUNCIONES	
Válvula Solenoide	Material de la válvula solenoide y de su módulo de control: Acero y plástico	Fluido de trabajo: Gas Natural	Afectación al Medio ambiente: Al ir a chatarrización	Frontera final del tren de gas, ubicado entre bridas, su salida es la entrada de la alimentación de gas del motor principal	ENTRADAS: Tensión: 24 Vdc ac, Corriente Nominal: 4 A, Presión máxima 7.25 psi, Temperatura máxima de operación: 60° C, con opción de programar rango de presiones deseadas SALIDAS: Gas entre (2.2 y 3.5) psi, señal de eléctrica hacia el PLC	Verificar continuamente que la presión de salida de la Válvula Solenoide esté entre (2.2-3.5) psi	
	Presión de entrada máxima: 7.25 psi						
	Corriente máxima: 4 A						
	Rango de temperatura: -10° C a 60° C						
	Voltaje: 24 Vdc						

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 20*Hoja RCM de la Válvula Solenoide.*

Función	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	FALLA OCULTA	Evidencia	Descripción Efectos y Consecuencias	Consec. sobre MA y Seg.	Consec. sobre Prod. Y Otros	Efectos - Daños físicos	Correctivo
Verificar continuamente que la presión de salida esté entre (2.2-3.5) psi	Presión inferior a 2.2 psi	Módulo de Control con falla electrónica interna	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso por 168 h provocando pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Impacto en Producción de \$ 41517504, lucro cesante	Módulo de Control no desarmable averiado	Cambiar el Módulo de Control
Verificar continuamente que la presión de salida esté entre (2.2-3.5) psi	Presión inferior a 2.2 psi	Válvula Solenoide con falla electrónica interna por contactos pegados	NO	El operador observa que se detiene el equipo	El operador observa que se detiene el equipo; Se detiene el proceso por 168 h provocando pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Impacto en Generación de \$ 177932160, lucro cesante	Válvula Solenoide no desarmable con bloqueo interno	Cambiar la Válvula Solenoide
Verificar continuamente que la presión de salida esté entre (2.2-3.5) psi	Presión inferior a 2.2 psi	Cable de Señal hacia el PLC en circuito abierto	NO	El operador observa que se detiene el equipo	El operador observa que se detiene el equipo; Se detiene el proceso por 8 h provocando pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Impacto en Generación de \$ 8472960, lucro cesante	Cable de Señal partido	Cambio de Cable
Verificar continuamente que la presión de salida esté entre (2.2-3.5) psi	Presión superior a 3.5 psi	Módulo de Control con falla electrónica interna	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso por 168 h provocando pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Impacto en Generación de \$ 41517504, lucro cesante	Módulo de Control no desarmable averiado	Cambiar e Módulo de Control

Impacto económico total del riesgo (\$)	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ	R. Imagen	TIPO DE DECISIÓN PREVENTIVA	DESCRIPCIÓN TAREA	RECURSOS
41.944.504	Una falla en 12 años	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambiar	Mantener la parte limpia, el cuarto de máquinas ventilado, no tropezar sus conexiones y verificar que esté con el voltaje y las corrientes especificados	Técnico electromecánico; Multímetro
197.932.160	No ha ocurrido hasta la fecha	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambiar	Mantener el componente limpio, el cuarto de máquinas ventilado, no tropezar sus conexiones y verificar que esté con el voltaje y las corrientes especificados	Técnico electromecánico; Multímetro
9.596.710	No ha ocurrido hasta la fecha	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Mantener el componente limpio, el cuarto de máquinas ventilado, no tropezar sus conexiones y verificar que esté con el voltaje y las corrientes especificados	Técnico electricista
41.944.504	No ha ocurrido hasta la fecha	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambiar	Mantener la parte limpia, el cuarto de máquinas ventilado, no tropezar sus conexiones y verificar que esté con el voltaje y las corrientes especificados	Técnico electromecánico; Multímetro

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 21

Definición de Funciones del Acelerador.

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	FUNCIONES	
Acelerador	Material del Acelerador: Aleación de varios metales	Fluido de Trabajo: mezcla aire con gas natural	Afectación al Medio ambiente: Incide en la emisión de gases de escape	De posición central externa. Parte trasera del motor	ENTRADAS: Gas natural entre (2.2 y 3.5) psi, comunicación con el módulo 558	Graduar la mezcla aire-gas para ajustar el torque motor el cual da la potencia de salida del motor	
	Permite ajuste mecánico						
	Cuenta con una tarjeta electrónica de control que ajusta el porcentaje de apertura requerido según el censado de carga del motor	Garantizar la comunicación con el módulo 558					
						SALIDAS: Envío de señales de posición al módulo 558	

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 22*Hoja RCM del Acelerador.*

Función	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	FALLA OCULTA	Evidencia	Descripción Efectos y Consecuencias	Consec. sobre MA y Seg.	Consec. sobre Prod. Y Otros	Efectos - Daños físicos	Correctivo
Graduar la mezcla aire-gas para ajustar el torque motor el cual da la potencia de salida del motor	Baja potencia	Daño interno de la tarjeta Electrónica de Control	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso 192 h por pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	47448576, lucro cesante	Tarjeta Electrónica de Control	Cambiar tarjeta Electrónica de Control
Graduar la mezcla aire-gas para ajustar el torque motor el cual da la potencia de salida del motor	Baja potencia	Daño interno en el Sensor de Posición	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso 192 h por pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	47448576, lucro cesante	Sensor de Posición	Cambiar el Sensor de Posición
Graduar la mezcla aire-gas para ajustar el torque motor el cual da la potencia de salida del motor	Baja potencia	Buje plástico del Plato del Actuador partido	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso 192 h por pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	47448576, lucro cesante	Buje plástico del Actuador	Cambiar el Buje plástico del Actuador
Graduar la mezcla aire-gas para ajustar el torque motor el cual da la potencia de salida del motor	Baja potencia	Buje metálico del plato del actuador partido	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso 192 h por pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	47448576, lucro cesante	Buje metálico del Actuador	Cambiar el Buje metálico del Actuador
Graduar la mezcla aire-gas para ajustar el torque motor el cual da la potencia de salida del motor	Baja potencia	Mini rodamientos desgastados	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso 192 h por pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	47448576, lucro cesante	Mini rodamientos	Cambiar los Mini rodamientos

Graduar la mezcla aire-gas para ajustar el torque motor el cual da la potencia de salida del motor	Baja potencia	Mini rodamientos partidos	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso 192 h por pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	47448576, lucro cesante	Mini rodamientos	Cambiar los Mini rodamientos
Graduar la mezcla aire-gas para ajustar el torque motor el cual da la potencia de salida del motor	Baja potencia	Imán partido	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso 192 h por pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	47448576, lucro cesante	Imán partido	Cambiar el Imán
Graduar la mezcla aire-gas para ajustar el torque motor el cual da la potencia de salida del motor	Baja potencia	Bobina de inducción partida	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso 192 h por pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	47448576, lucro cesante	Bobina de Inducción partida	Cambiar la Bobina de inducción
Graduar la mezcla aire-gas para ajustar el torque motor el cual da la potencia de salida del motor	Baja potencia	Cable del Arnés partido	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene el proceso 8 h por pérdida de generación	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	1977024, lucro cesante	Cable del Arnés	Reparar el Cable del Arnés

Impacto económico total del riesgo (\$)	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ	R. Imagen	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA PREVENTIVA	RECURSOS
77.448.576	Una falla en 12 años	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambiar	Medir temperatura con pistola infrarroja al comienzo de cada turno y verificar desviaciones de tendencia	Técnico electromecánico
77.448.576	Sin falla aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Medir temperatura con pistola infrarroja al comienzo de cada turno y verificar desviaciones de tendencia	Técnico electromecánico
77.448.576	Sin falla aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Medir temperatura con pistola infrarroja al comienzo de cada turno y verificar desviaciones de tendencia	Técnico electromecánico
77.448.576	Sin falla aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Medir temperatura con pistola infrarroja al comienzo de cada turno y verificar desviaciones de tendencia	Técnico electromecánico
77.448.576	Sin falla aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Medir temperatura con pistola infrarroja al comienzo de cada turno y verificar desviaciones de tendencia	Técnico electromecánico

77.448.576	Sin falla aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Medir temperatura con pistola infrarroja al comienzo de cada turno y verificar desviaciones de tendencia	Técnico electromecánico
77.448.576	Sin falla aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Medir temperatura con pistola infrarroja al comienzo de cada turno y verificar desviaciones de tendencia	Técnico electromecánico
77.448.576	Sin falla aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Medir temperatura con pistola infrarroja al comienzo de cada turno y verificar desviaciones de tendencia	Técnico electromecánico
3.227.024	Sin falla aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Inspección al comienzo de cada turno	Técnico electromecánico

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 23

Definición de Funciones del Árbol de levas.

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	FUNCIONES	
Árbol de levas	Material: Acero forjado	Lubricación y fluido de trabajo: Aceite SAE 40	Afectación al Medio ambiente: Al ir a chatarrización	Dentro de la culata, en la parte superior del bloque	ENTRADAS: Piñón del Cigüeñal	Controlar la apertura y cierre de las Válvulas de Admisión y de las Válvulas de Escape	
	Rpm = 1500/2					Repartir aceite en el Motor	
						Ayuda a funcionar la bomba de combustible	
					SALIDAS: Apertura o cierre de válvulas según la posición de las levas		

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 24*Hoja RCM del Árbol de levas.*

Función	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	FALLA OCULTA	Evidencia	Descripción Efectos y Consecuencias	Consec. sobre MA y Seg.	Consec. sobre Prod. Y Otros	Efectos - Daños físicos	Correctivo
Controlar la apertura y cierre de las Válvulas de Admisión y de las Válvulas de Escape	El Motor se apaga	Rodamientos adheridos Falta de Lubricación	NO	El operador escucha ruido y observa que se detiene el equipo	Válvulas, varillas impulsadoras	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Se detiene el proceso por 1440 h, pérdida de producción de \$355864320, lucro cesante	Pistas y Rodamientos, Válvulas, Varillas Impulsadoras	Cambiar Rodamientos desgastados y partes del daño resultante
Controlar la apertura y cierre de las Válvulas de Admisión y de las Válvulas de Escape	El Motor se apaga	Ruptura de los tornillos que acoplan las dos mitades de cada Árbol de levas (Lado Escape) y (Lado Admisión)	NO	El operador escucha ruido y observa que se detiene el equipo	Válvulas, varillas impulsadoras	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Se detiene el proceso por 1440 h, pérdida de producción de \$355864320, lucro cesante	Pistas y Rodamientos, Válvulas, Varillas Impulsadoras	Cambiar Tornillos partidos y partes del daño resultante
Controlar la apertura y cierre de las Válvulas de Admisión y de las Válvulas de Escape	El Motor se apaga	Bujes partidos por vida útil, aceite contaminado	NO	El operador escucha ruido y observa que se detiene el equipo observa que se detiene el equipo	Válvulas, varillas impulsadoras	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Se detiene el proceso por 1440 h, pérdida de producción de \$355864320, lucro cesante	Pistas, Válvulas, Varillas Impulsadoras	Cambiar Tornillos partidos y partes del daño resultante
Controlar la apertura y cierre de las Válvulas de Admisión y de las Válvulas de Escape	El Motor se apaga	Levas picadas por Partículas Contaminantes	NO	El operador escucha ruido y observa que se detiene el equipo que se detiene el equipo	Válvulas, varillas impulsadoras	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Se detiene el proceso por 1440 h, pérdida de producción de \$355864320, lucro cesante	Árbol de levas, Válvulas, Varillas Impulsadoras	Cambiar Árbol de levas y partes del daño resultante

Impacto económico total del riesgo (\$)	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ	R. Imagen	TIPO DE DECISIÓN CORRECTIVA	DESCRIPCIÓN TAREA PREVENTIVA	RECURSOS
--	---------------------	-------------------------	---------------------	------------------	------------------	------------------	------------------------------------	-------------------------------------	-----------------

435.864.320	No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambiar	Verificación de niveles/engrases	Técnico mecánico
435.864.320	No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambiar	Verificación de niveles/engrases	Técnico mecánico
435.864.320	No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambiar	Verificación de niveles/engrases, seguimiento a muestras de aceite	Técnico mecánico
435.864.320	No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambiar	Verificación de niveles/engrases, seguimiento a muestras de aceite	Técnico mecánico

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 25

Definición de Funciones del Cigüeñal.

Elemento de Estudio	Características Técnicas del Elemento	Condiciones Operacionales	Condiciones Ambientales	Fronteras (Plano Diagrama)	Interfaces (Entradas y salidas)	Funciones
Cigüeñal	Materiales: Acero forjado, hierro nodular y hierro dúctil austemperizado	Fluido: Aceite SAE 40	Afectación al Medio ambiente: Durante la chatarrización	Componente mayor ubicado dentro del bloque	ENTRADAS: Movimiento hacia abajo (lineal) del Pistón durante el proceso de combustión del gas, el cual hace girar al componente mayor	Convertir el movimiento lineal del Pistón en movimiento rotativo (energía mecánica) entregada a la Caja de Engranajes
		Frecuencia: 1500 rpm				
					SALIDAS: Movimiento rotacional al Árbol de levas a través de Piñones	



Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 26

Hoja RCM del Cigüeñal.

Función	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	FALLA OCULTA	Evidencia	Descripción Efectos y Consecuencias	Consec. sobre MA y Seg.	Consec. sobre Prod. Y Otros	Efectos - Daños físicos	Correctivo
Convertir el movimiento lineal del Pistón en movimiento rotativo (energía mecánica) entregada a la Caja de Engranajes	Bloqueado	Casquetes adheridos por Falta de Lubricación	NO	El operador observa que se detiene el equipo, ruido, probable falla catastrófica en bloque	Se detiene el proceso de Generación por 3600 h	Riesgo de lesión en trabajadores, ninguno para el medio ambiente	Pérdida de generación de \$ 889660800, lucro cesante	Cigüeñal, casquetes, Biela, Bloque	Cambiar Cigüeñal, casquetes, probable daño en Biela y de Bloque
Convertir el movimiento lineal del Pistón en movimiento rotativo (energía mecánica) entregada a la Caja de Engranajes	Bloqueado	Grieta en superficies maquinadas provocó fractura	NO	El operador observa que se detiene el equipo, ruido, probable falla catastrófica en bloque	Se detiene el proceso de Generación por 3600 h	Riesgo de lesión en trabajadores, ninguno para el medio ambiente	Pérdida de generación de \$ 889660800, lucro cesante	Cigüeñal, casquetes, Biela, Bloque	Cambiar Cigüeñal, casquetes, probable daño en Biela y de Bloque

Impacto económico total del riesgo (\$)	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ	R. Imagen	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA PREVENTIVA	RECURSOS
1.189.660.800	No se ha presentado aún	MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO	BAJO	Cambio	Revisar niveles de al comienzo de cada turno, verificar ausencia de fugas de lubricante	Técnico mecánico
1.189.660.800	No se ha presentado aún	MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO	BAJO	Cambio	Manejo cuidadoso del componente mayor	Técnico mecánico

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 27

Definición de Funciones del Interruptor de Potencia.

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	FUNCIONES
Interruptor de Potencia	Material: Acero y Plástico	Tensión: 13200 V	Afectación al Medio ambiente: Cuando vaya a proceso de chatarrización	Dentro de Tablero de Protecciones del Cuarto de Potencia	ENTRADAS: Cableado de Señal del Relé Sepam 80, Barraje de 13200 V	Abrir y cerrar la alimentación de los Grupos Electroógenos
	Marca: Schneider Electric					Protección ante corrientes por encima de especificación
	Modelo: Evolis ANSI					
	Tensión Máxima: 15000 V					
	Corriente Nominal: 1200 A					
	Clase 6066					
	Tipo Industrial					
				SALIDAS: Barraje de 13200 V		



Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 28*Hoja RCM del Interruptor de Potencia.*

Función ---	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	FALLA OCULTA	Evidencia	Descripción Efectos y Consecuencias	Consec. sobre MA y Seg.	Consec. sobre Prod. Y Otros	Efectos - Daños físicos	Correctivo
Abrir y cerrar la alimentación de los Grupos Electrógenos	Bloqueado	Interruptor no operó por leva de Enchufe sucia	NO	El operador observa que el Interruptor no abrió o cerró	Se detiene el equipo por 2 h	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Pérdida de Generación de \$ 593107, lucro cesante	No	Limpiar la leva de Enchufe
Abrir y cerrar la alimentación de los Grupos Electrógenos	Bloqueado	Rodillo bloqueado	NO	El operador observa que el Generador no abrió o cerró	Se detiene el equipo por 120 h	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Pérdida de Generación de \$ 35586431, lucro cesante	Rodillo	Cambiar Rodillo
Abrir y cerrar la alimentación de los Grupos Electrógenos	Bloqueado	Mecanismo de apertura bloqueado	NO	El operador observa que el Generador no abrió	Se detiene el equipo por 144 h	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Pérdida de Generación de \$ 42703718, lucro cesante	Rodillo	Cambiar Rodillo
Abrir y cerrar la alimentación de los Grupos Electrógenos	Bloqueado	Pestañas de puesta a tierra partidas	NO	El operador observa que el Generador no abrió o cerró	Se detiene el equipo por 120 h	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Pérdida de Generación de \$ 42703718, lucro cesante	Rodillo	Cambiar Rodillo

Impacto económico total del riesgo (\$)	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ	R. Imagen	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA PREVENTIVA	RECURSOS
1.981.996	Una falla en 12 años	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Efectuar mantenimientos indicados por fábrica	Técnico electricista
118.969.765	No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Efectuar mantenimientos indicados por fábrica	Técnico electricista
142.703.718	No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Efectuar mantenimientos indicados por fábrica	Técnico electricista
142.703.718	No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparar	Efectuar mantenimientos indicados por fábrica	Técnico electricista

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 29

Definición de Funciones del Transformador Seco de 400 kVA.

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERA PLANO-DIAGRAMA	INTERFASES (Entradas/Salidas)	FUNCIONES
Transformador Seco de 400 kVA	Material: Acero y Aluminio	Temperatura de Operación: 34° C	Afectación al Medio ambiente: Al llevarlo a chatarrización	El componente va dentro de una Celda para Transformador	ENTRADAS: Tensión: 13200 V ac, Corriente Nominal: 462 A Frecuencia: 60 Hz	Reducir la Tensión de Salida manteniendo la Potencia Aparente
	Potencia aparente: 400 kVA					Alimentar cargas a 480 V
	Tensión: 13200 / 500-288 V					
	Fecha de Fabricación: 20/09/2010					Alimentar cargas a 240 V
	Fabricante: Suntec					
	Corriente Nominal: 462 A					
	Corriente de Corto Circuito: 16 kA					
	Frecuencia: 60 Hz					
	Hilos: 5					
	Grado de Protección: IP20					
				SALIDAS: Señal de Sonda de Temperatura a una HMI, Tensión de (500 - 288) Vac.		



Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 30*Hoja RCM del Transformador Seco de 400 kVA.*

Función	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	FALLA OCULTA	Evidencia	Descripción Efectos y Consecuencias	Consec. sobre MA y Seg.	Consec. sobre Prod. Y Otros	Efectos - Daños físicos	Correctivo
Reducir la Tensión de Salida en Corriente Alterna manteniendo la Potencia	No da tensión de salida	Tornillería suelta que desplaza devanados	NO	El operador identifica temperatura de salida anormal, ruido	Se detiene la Generación por la salida de sistemas de Baja Tensión (440, 220, 110) V	Se pierde el circuito de iluminación, operación insegura e incómoda	Se detiene la Generación por 1440 h y la pérdida es de \$ 427037184 COP, lucro cesante	Devanados golpeados o abiertos	Cambiar Devanados o Componente
Reducir la Tensión de Salida en Corriente Alterna manteniendo la Potencia	No da tensión de salida	Corto circuito en devanados	NO	El operador observa que se detiene el equipo y nota olor a quemado	Se detiene la Generación por la salida de sistemas de Baja Tensión (440, 220, 110) V	Se pierde el circuito de iluminación, operación insegura e incómoda	Se detiene la Generación por 1440 h y la pérdida es de \$ 427037184 COP, lucro cesante	Devanados golpeados o abiertos	Cambiar Devanados o Componente
Reducir la Tensión de Salida en Corriente Alterna manteniendo la Potencia	No da tensión de salida	Corto circuitos fase a fase	NO	El operador observa que se detiene el equipo y nota olor a quemado cerca de las borneras	Se detiene la Generación por la salida de sistemas de Baja Tensión (440, 220, 110) V	Se pierde el circuito de iluminación, operación insegura e incómoda	Se detiene la Generación por 1440 h y la pérdida es de \$ 427037184 COP, lucro cesante	Conductores y premoldeados quemados	Cambiar Conductores y Premoldeados
Reducir la Tensión de Salida en Corriente Alterna manteniendo la Potencia	No da tensión de salida	Sobre voltaje	NO	El operador observa que se detiene el equipo y nota olor a quemado, sonda de temperatura quemada	Se detiene la Generación por la salida de sistemas de Baja Tensión (440, 220, 110) V	Se pierde el circuito de iluminación, operación insegura e incómoda	Se detiene la Generación por 1440 h y la pérdida es de \$ 427037184 COP, lucro cesante	Devanados primarios quemados	Cambiar Devanados primarios del Componente
Reducir la Tensión de Salida en Corriente Alterna manteniendo la Potencia	No da tensión de salida	Circuito Abierto en el cableado de la sonda de temperatura	NO	El operador observa que se detiene el equipo y nota olor a quemado	Se detiene la Generación por la salida de sistemas de Baja Tensión (440, 220, 110) V	Se pierde el circuito de iluminación, operación insegura e incómoda	Se detiene la Generación por 8 h y la pérdida es de \$ 26224288 COP, lucro cesante	Devanados golpeados o abiertos	Cambiar Devanados o Componente

. Impacto Económico Total del Riesgo (\$)	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ	R. Imagen	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA PREVENTIVA	RECURSOS
472.537.184	No se ha presentado	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparación	Inspección diaria empezando turno, medición de temperatura con pistola	Técnico electricista
472.537.184	No se ha presentado	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparación	Inspección diaria empezando turno, medición de temperatura con pistola	Técnico electricista
472.537.184	No se ha presentado	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparación	Inspección diaria empezando turno, medición de temperatura con pistola	Técnico electricista
472.537.184	No se ha presentado	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparación	Inspección diaria empezando turno, medición de temperatura con pistola	Técnico electricista
26.252.065	No se ha presentado	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Reparación	Inspección diaria empezando turno, medición de temperatura con pistola	Técnico electricista

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 31

Definición de Funciones del Arnés.

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERA (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	FUNCIONES
Arnés	Viene dentro de un chasis metálico en su gran mayoría	Temperatura de Operación de hasta 40	Afectación al Medio ambiente: Partes no reutilizables	Viene dentro de un chasis de protección	ENTRADAS: Frecuencia: 60 Hz, Conectores de sellado seguro con los módulos del motor, sensores, borneras del GIB y aceleradores	Llevar la corriente a cualquier Sistema que la necesite en el Grupo Electrógeno
	Usualmente de seis cables No. 12 AWG	Fluido: Corriente eléctrica				
	Puede fabricarse con proveedor especializado distinto					
	Los chasises pueden reutilizarse					



Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 32*Hoja RCM del Arnés.*

Modo de Falla	FALLA OCULTA	Evidencia	Descripción Efectos y Consecuencias	Consec. sobre MA y Seg.	Consec. sobre Prod. Y Otros	Efectos - Daños físicos	Correctivo	Impacto Económico Total del Riesgo (\$)
Cableado partido	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene la Generación por 32 horas	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Pérdida de Generación por \$ 988512, lucro cesante	Arnés con daño interno	Empalmar	6.931.072
Cableado con aislamiento externo pelado	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene la Generación por 6 horas	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Pérdida de Generación por \$ 247128, lucro cesante	Arnés con daño interno	Encintar	1.732.768
Cableado con corto circuito	NO	El operador observa que se detiene el equipo	Se detiene la Generación por 360 horas	No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente	Pérdida de Generación por \$ 88966080, lucro cesante	Arnés con daño interno	Cambiar arnés	103.966.080

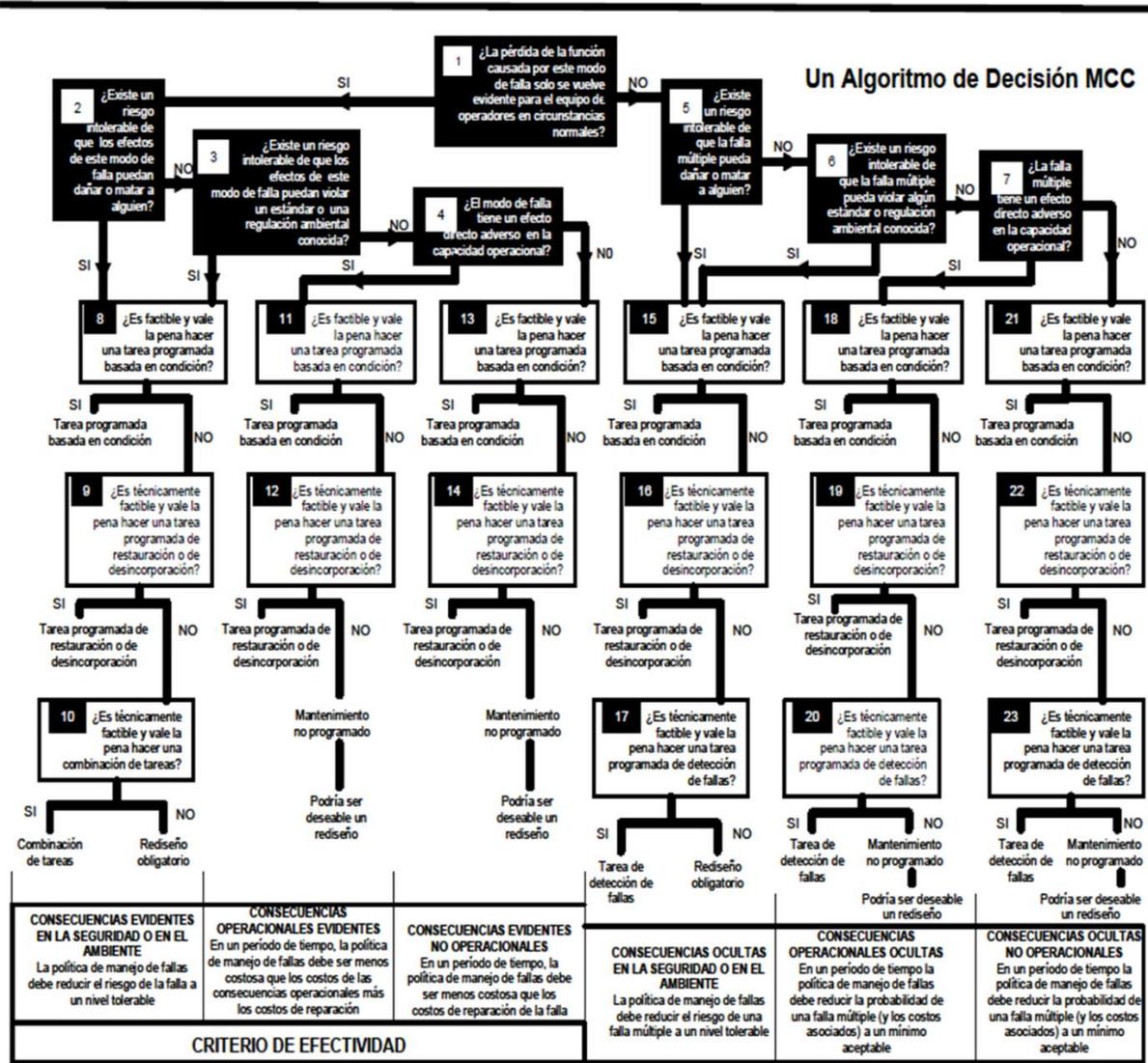
Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ	R. Imagen	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA PREVENTIVA	RECURSOS
Cuatro fallas en un año	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambio	Fabricación de nuevo arnés	Técnico electricista
No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Monitoreo	Inspección, limpieza y verificación de ajustes de conectores	Técnico electricista
No ha ocurrido aún	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	Cambio	Fabricación de nuevo arnés	Técnico electricista

Nota: Ortiz (2021) Libro de Excel de la Hoja de Trabajo RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Figura 33

Algoritmo de Decisión RCM.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)



Nota. Primer Diagrama de Decisión RCM tomado de la norma SAE JA1012.

8. Resultados de Análisis de Criticidad

Una vez validado el listado de activos con el equipo de trabajo, se procedió a calificar los siguientes aspectos: Pérdida por no venta de energía Frecuencia de Falla, Tiempo Fuera de Servicio, Costo de Reparación, Impacto en la Salud, Impacto en la Seguridad, Impacto Ambiental, Impacto Reputacional e Impacto Económico.

8.1 Formulación en el Análisis de Criticidad

Por definición, Criticidad = Frecuencia x Consecuencia.

La Frecuencia es el número de fallas que presenta el equipo, componente o parte por año.

La Consecuencia es la valorización asignada a la incidencia que provoca la falla en las áreas de salud, de seguridad, de medio ambiente y de reputación.

El Impacto Económico es el costo de la pérdida de Generación más el costo de arreglar la falla (partes y mano de obra).

La Pérdida de Generación es la Generación en kW por el Tiempo Fuera de Servicio en horas por el Margen de Contribución (\$ COP/kW), el cálculo de este último indicador conlleva variables económicas de la Planta de Generación que no se detallan por hacer parte de información de carácter clasificado.

En la Tabla 4 se aprecian los Niveles y Criterios para analizar las fallas presentadas.

En la Tabla 5 están la Valoración y la Frecuencia para cuantificar las fallas ocurridas.

En la Figura 13 aparece la Matriz de Criticidad.

En la Figura 14 se muestra la Matriz de Criticidad Jerarquizada con las cantidades de Equipos, Componentes y Partes.

En las Tablas 6 a 9 están las tablas completas de los Análisis de Criticidad por Activos.

8.1.1 Consideraciones de las Asignaciones Potencia, Margen de Contribución y TFS a los activos

La Potencia es estándar para cada parte por el aporte al funcionamiento, el margen de contribución resulta de información interna de la Planta de Generación y el TFS depende de la disponibilidad y tiempo de cambio de la parte. Los resultados se listan a continuación.

Ítem	Descripción de la Parte	Potencia del Grupo Electrónico (kW)	Margen de Contribución (COP \$ / kWh)	Tiempo Fuera de Servicio (TFS en h)
1	Caja de Engranajes (Gearbox)	1750,00	\$ 141,22	240
2	Generador Síncrono (Alternador) Stamford C1750	1750,00	\$ 141,22	168
3	Acople de Disco de Goma Arcusaflex	1750,00	\$ 141,22	120
4	Lainas de Acople	1750,00	\$ 141,22	24
5	Bomba de Prelubricación	1750,00	\$ 141,22	120
6	Bomba de Lubricación	1750,00	\$ 141,22	12
7	Motor Bomba de Prelubricación	1750,00	\$ 141,22	120
8	Termostato de Aceite (3)	1750,00	\$ 141,22	6
9	Sensor Temperatura Aceite	1750,00	\$ 141,22	1
10	Sensor Presión Aceite Prefiltros	1750,00	\$ 141,22	24
11	Sensor Presión Aceite Filtro	1750,00	\$ 141,22	24
12	Mantenedor de Nivel (Murphy LM300)	1750,00	\$ 141,22	2
13	Bomba de Lubricación Caja de Engranajes	1750,00	\$ 141,22	120
14	Bomba de Refrigeración Principal	1750,00	\$ 141,22	3
15	Enfriador de Aceite	1750,00	\$ 141,22	48
16	Postenfriador	1750,00	\$ 141,22	120
17	Radiador	1750,00	\$ 141,22	120
18	Motor Ventilador Radiador (8)	1750,00	\$ 141,22	3

19	Hélice de Motor Ventilador Radiador (8)	1750,00	\$ 141,22	2
20	Tubería de Refrigeración HT (Circuito de Alta Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	72
21	Tubería de Refrigeración LT (Circuito de Baja Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	72
22	Válvula entrada HT (Circuito de Alta Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	72
23	Válvula salida HT (Circuito de Alta Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	72
24	Válvula entrada LT (Circuito de Baja Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	72
25	Válvula salida LT (Circuito de Baja Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	72
26	Termostato HT (2) (Circuito de Alta Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	4
27	Termostato LT (2) (Circuito de Baja Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	4
28	Sensor Temperatura HT (Circuito de Alta Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	2
29	Sensor Temperatura LT (Circuito de Baja Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	2
30	Sensor Presión HT (Circuito de Alta Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	2
31	Sensor Presión LT (Circuito de Baja Temperatura)	1750,00	\$ 141,22	2
32	Enfriador de Aceite Caja de Engranajes	1750,00	\$ 141,22	72
33	Regulador de Gas	1750,00	\$ 141,22	720
34	Válvula de Cierre de Gas	1750,00	\$ 141,22	48
35	Válvula de Despresurización	1750,00	\$ 141,22	48
36	Válvula Solenoide	1750,00	\$ 141,22	720
37	Sensor de Presión Solenoide	1750,00	\$ 141,22	168
38	Turbocargador	1750,00	\$ 141,22	6
39	Aceleradores (Throttles)	1750,00	\$ 141,22	192
40	Válvula de Suministro de Combustible FSV (2)	1750,00	\$ 141,22	3
41	Sistema de Ventilación Entrada a Cuarto de Máquinas	1750,00	\$ 141,22	0
42	Filtro Entrada Cuarto de Máquinas	1750,00	\$ 141,22	0
43	Filtro de Entrada Motor	1750,00	\$ 141,22	2
44	Sensor Temperatura Múltiple (Manifold)	1750,00	\$ 141,22	1
45	Sensor Presión Múltiple (Manifold)	1750,00	\$ 141,22	144
46	Sensor Flujo Másico Gas (2)	1750,00	\$ 141,22	144
47	FOT Sensor de Flujo (Transductor de Salida de Flujo) después de la FSV	1750,00	\$ 141,22	144

48	FIT Sensor de Flujo (Transductor de Entrada de Flujo) antes de la FSV	1750,00	\$ 141,22	144
49	Múltiple (Manifold) de Mezcla	1750,00	\$ 141,22	168
50	Exosto	1750,00	\$ 141,22	120
51	Silenciador	1750,00	\$ 141,22	120
52	Chimenea	1750,00	\$ 141,22	120
53	Múltiple (Manifold) de Escape	1750,00	\$ 141,22	72
54	Bobina	1750,00	\$ 141,22	1
55	Bujía	1750,00	\$ 141,22	1
56	Sensor de Detonación (18)	1750,00	\$ 141,22	1
57	Termocupla de Cilindro (18)	1750,00	\$ 141,22	1
58	Baterías 8D 12 V	1750,00	\$ 141,22	1
59	Motor de Arranque	1750,00	\$ 141,22	2
60	Solenoides Externos del Motor de Arranque	1750,00	\$ 141,22	2
61	Culata	1750,00	\$ 141,22	8
62	Cilindro (18)	1750,00	\$ 141,22	12
63	Kit de Anillos del Pistón	1750,00	\$ 141,22	10
64	Árbol de levas	1750,00	\$ 141,22	1440
65	Cigüeñal	1750,00	\$ 141,22	3600
66	Volanta	1750,00	\$ 141,22	360
67	Sensor de Velocidad Volanta Lado A	1750,00	\$ 141,22	1
68	Sensor de Posición Volanta Lado B	1750,00	\$ 141,22	1
69	Sensor de Posición Árbol de levas	1750,00	\$ 141,22	24
70	Motor Extractor de 4.8 HP Cuarto de Máquinas	1750,00	\$ 141,22	3
71	Hélice de Motores Extractores Cuarto de Máquinas	1750,00	\$ 141,22	2
72	Interruptor de Potencia (4)	1750,00	\$ 141,22	144
73	Transformador Seco Principal Servicios auxiliares 400 kVA (1)	1750,00	\$ 141,22	1440
74	Relé Schneider Electric Sepam Motores Familia 80 (4)	1750,00	\$ 141,22	168
75	Sistema de Puesta a Tierra (1)	1750,00	\$ 141,22	48
76	PLC	1750,00	\$ 141,22	336
77	Transformador Seco Servicios Auxiliares 75 kVA (1)	1750,00	\$ 141,22	120
78	Motor Diesel 25 kVA Cummins (Planta Auxiliar)	1750,00	\$ 141,22	1080
79	CCM Radiadores 480 V	1750,00	\$ 141,22	3
80	CCM Extractores 480 V	1750,00	\$ 141,22	3
81	CCM Servicios Auxiliares 220 V	1750,00	\$ 141,22	3
82	HMI Remota	1750,00	\$ 141,22	3
83	Celdas QM	1750,00	\$ 141,22	192
84	Pararrayos	1750,00	\$ 141,22	336
85	Arnés Principal	1750,00	\$ 141,22	360

86	Transformador Seco SPT Motor	1750,00	\$ 141,22	168
87	Banco de Resistencias	1750,00	\$ 141,22	168
88	Fusibles HH para Celda QM de 130 A	1750,00	\$ 141,22	4
89	Diodos Rectificadores	1750,00	\$ 141,22	6
90	Varistores	1750,00	\$ 141,22	6
91	Interfaz Hombre Máquina (HMI)	1750,00	\$ 141,22	3
92	Caja de Instrumentación del Generador (GIB)	1750,00	\$ 141,22	48
93	Batería 12 V GIB	1750,00	\$ 141,22	2
94	Tarjeta Madre del Controlador PowerCommand (PCC 3300)	1750,00	\$ 141,22	24
95	CM700 (Módulo de Comando)	1750,00	\$ 141,22	24
96	Módulo 558 Señales de Equipo (2)	1750,00	\$ 141,22	12
97	Módulo de Ignición que controla la Capacidad de la Bobina (CCD) (2)	1750,00	\$ 141,22	2
98	Módulo de Sensores CENSE	1750,00	\$ 141,22	2
99	Módulo Auxiliar del CENSE	1750,00	\$ 141,22	2
100	Tarjeta Automática Reguladora de Voltaje (AVR)	1750,00	\$ 141,22	192
101	Tarjeta Auxiliar 105	1750,00	\$ 141,22	2
102	Tarjeta Auxiliar 104	1750,00	\$ 141,22	192
103	Relevos de 24 Vdc, 8 A, 8 pines Weidmuller u Omrom	1750,00	\$ 141,22	1
104	Módulo de Fuente de Alimentación PSU	1750,00	\$ 141,22	24
105	Inversor del PLC Central	1750,00	\$ 141,22	24
106	Termocupla Alternador DE	1750,00	\$ 141,22	6
107	Termocupla Alternador NDE	1750,00	\$ 141,22	192
108	Sensor Temperatura Devanado Alternador (3)	1750,00	\$ 141,22	24
109	Sensor de Presión Caja de Engranajes	1750,00	\$ 141,22	48
110	Sensor de Temperatura Caja de Engranajes	1750,00	\$ 141,22	5

8.1.2 Consideraciones del Porcentaje de Afectación y el Costo de Reparación de las Partes

La primera consideración fue 100% si hay riesgo de que la parte saque a la planta de operación y 0% si no la saca. El costo de reparación incluye a la parte y a la mano de obra si es con personal externo. En la parte inferior están las valoraciones.

Ítem	Descripción de la Parte	% de Afectación	Costo de la Reparación (COP \$)
1	Caja de Engranajes (Gearbox)	100,0%	\$ 31.150.000,00
2	Generador Síncrono (Alternador) Stamford C1750	100,0%	\$ 17.540.000,00
3	Acople de Disco de Goma Arcusaflex	100,0%	\$ 50.000.000,00
4	Lainas de Acople	100,0%	\$ 20.000,00
5	Bomba de Prelubricación	0,0%	\$ 5.000.000,00
6	Bomba de Lubricación	100,0%	\$ 70.000.000,00
7	Motor Bomba de Prelubricación	0,0%	\$ 1.677.000,00
8	Termostato de Aceite (3)	0,0%	\$ 578.000,00
9	Sensor Temperatura Aceite	100,0%	\$ 45.000,00
10	Sensor Presión Aceite Prefiltros	100,0%	\$ 1.400.000,00
11	Sensor Presión Aceite Filtro	100,0%	\$ 1.400.000,00
12	Mantenedor de Nivel (Murphy LM300)	100,0%	\$ 2.560.000,00
13	Bomba de Lubricación Caja de Engranajes	100,0%	\$ 6.000.000,00
14	Bomba de Refrigeración Principal	100,0%	\$ 25.000.000,00
15	Enfriador de Aceite	0,0%	\$ 10.000.000,00
16	Postenfriador	100,0%	\$ 15.000.000,00
17	Radiador	100,0%	\$ 20.000.000,00
18	Motor Ventilador Radiador (8)	0,0%	\$ 1.600.000,00
19	Hélice de Motor Ventilador Radiador (8)	0,0%	\$ 800.000,00
20	Tubería de Refrigeración HT (Circuito de Alta Temperatura)	100,0%	\$ 500.000,00
21	Tubería de Refrigeración LT (Circuito de Baja Temperatura)	100,0%	\$ 400.000,00
22	Válvula entrada HT (Circuito de Alta Temperatura)	0,0%	\$ 3.000.000,00
23	Válvula salida HT (Circuito de Alta Temperatura)	0,0%	\$ 3.000.000,00
24	Válvula entrada LT (Circuito de Baja Temperatura)	0,0%	\$ 3.000.000,00
25	Válvula salida LT (Circuito de Baja Temperatura)	0,0%	\$ 3.000.000,00
26	Termostato HT (2) (Circuito de Alta Temperatura)	100,0%	\$ 578.000,00
27	Termostato LT (2) (Circuito de Baja Temperatura)	100,0%	\$ 207.000,00
28	Sensor Temperatura HT (Circuito de Alta Temperatura)	100,0%	\$ 45.000,00
29	Sensor Temperatura LT (Circuito de Baja Temperatura)	100,0%	\$ 45.000,00
30	Sensor Presión HT (Circuito de Alta Temperatura)	100,0%	\$ 1.660.000,00
31	Sensor Presión LT (Circuito de Baja Temperatura)	100,0%	\$ 1.660.000,00
32	Enfriador de Aceite Caja de Engranajes	100,0%	\$ 20.000.000,00
33	Regulador de Gas	100,0%	\$ 25.000.000,00
34	Válvula de Cierre de Gas	0,0%	\$ 1.000.000,00
35	Válvula de Despresurización	0,0%	\$ 2.000.000,00
36	Válvula Solenoide	100,0%	\$ 20.000.000,00
37	Sensor de Presión Solenoide	100,0%	\$ 427.000,00
38	Turbocargador	100,0%	\$ 25.000.000,00

39	Aceleradores (Throttles)	100,0%	\$ 30.000.000,00
40	Válvula de Suministro de Combustible FSV (2)	100,0%	\$ 11.300.000,00
41	Sistema de Ventilación Entrada a Cuarto de Máquinas	0,0%	\$ 7.000.000,00
42	Filtro Entrada Cuarto de Máquinas	0,0%	\$ 100.000,00
43	Filtro de Entrada Motor	100,0%	\$ 3.600.000,00
44	Sensor Temperatura Múltiple (Manifold)	100,0%	\$ 185.000,00
45	Sensor Presión Múltiple (Manifold)	100,0%	\$ 4.000.000,00
46	Sensor Flujo Másico Gas (2)	100,0%	\$ 5.300.000,00
47	FOT Sensor de Flujo (Transductor de Salida de Flujo) después de la FSV	100,0%	\$ 427.000,00
48	FIT Sensor de Flujo (Transductor de Entrada de Flujo) antes de la FSV	100,0%	\$ 420.000,00
49	Múltiple (Manifold) de Mezcla	100,0%	\$ 5.000.000,00
50	Exosto	0,0%	\$ 10.000.000,00
51	Silenciador	0,0%	\$ 10.000.000,00
52	Chimenea	0,0%	\$ 15.000.000,00
53	Múltiple (Manifold) de Escape	100,0%	\$ 5.000.000,00
54	Bobina	100,0%	\$ 1.966.477,00
55	Bujía	100,0%	\$ 2.400.000,00
56	Sensor de Detonación (18)	100,0%	\$ 350.000,00
57	Termocupla de Cilindro (18)	100,0%	\$ 2.420.000,00
58	Baterías 8D 12 V	100,0%	\$ 1.000.000,00
59	Motor de Arranque	0,0%	\$ 4.165.000,00
60	Solenoides Externos del Motor de Arranque	100,0%	\$ 85.000,00
61	Culata	100,0%	\$ 15.000.000,00
62	Cilindro (18)	100,0%	\$ 20.000.000,00
63	Kit de Anillos del Pistón	100,0%	\$ 450.000,00
64	Árbol de levas	100,0%	\$ 80.000.000,00
65	Cigüeñal	100,0%	\$ 300.000.000,00
66	Volanta	100,0%	\$ 5.000.000,00
67	Sensor de Velocidad Volanta Lado A	100,0%	\$ 340.000,00
68	Sensor de Posición Volanta Lado B	100,0%	\$ 340.000,00
69	Sensor de Posición Árbol de levas	100,0%	\$ 340.000,00
70	Motor Extractor de 4.8 HP Cuarto de Máquinas	0,0%	\$ 1.000.000,00
71	Hélice de Motores Extractores Cuarto de Máquinas	0,0%	\$ 700.000,00
72	Interruptor de Potencia (4)	100,0%	\$ 100.000.000,00
73	Transformador Seco Principal Servicios auxiliares 400 kVA (1)	100,0%	\$ 45.500.000,00
74	Relé Schneider Electric Sepam Motores Familia 80 (4)	100,0%	\$ 20.000.000,00
75	Sistema de Puesta a Tierra (1)	0,0%	\$ 3.000.000,00
76	PLC	0,0%	\$ 10.000.000,00
77	Transformador Seco Servicios Auxiliares 75 kVA (1)	0,0%	\$ 8.531.250,00

78	Motor Diesel 25 kVA Cummins (Planta Auxiliar)	0,0%	\$ 30.000.000,00
79	CCM Radiadores 480 V	100,0%	\$ 400.000,00
80	CCM Extractores 480 V	0,0%	\$ 300.000,00
81	CCM Servicios Auxiliares 220 V	0,0%	\$ 150.000,00
82	HMI Remota	0,0%	\$ 6.600.000,00
83	Celdas QM	100,0%	\$ 15.000.000,00
84	Pararrayos	0,0%	\$ 1.600.000,00
85	Arnés Principal	100,0%	\$ 15.000.000,00
86	Transformador Seco SPT Motor	0,0%	\$ 4.000.000,00
87	Banco de Resistencias	0,0%	\$ 2.500.000,00
88	Fusibles HH para Celda QM de 130 A	100,0%	\$ 1.500.000,00
89	Diodos Rectificadores	100,0%	\$ 909.987,00
90	Varistores	100,0%	\$ 250.000,00
91	Interfaz Hombre Máquina (HMI)	100,0%	\$ 6.600.000,00
92	Caja de Instrumentación del Generador (GIB)	100,0%	\$ 1.000.000,00
93	Batería 12 V GIB	100,0%	\$ 90.000,00
94	Tarjeta Madre del Controlador PowerCommand (PCC 3300)	100,0%	\$ 14.300.000,00
95	CM700 (Módulo de Comando)	100,0%	\$ 27.000.000,00
96	Módulo 558 Señales de Equipo (2)	100,0%	\$ 14.000.000,00
97	Módulo de Ignición que controla la Capacidad de la Bobina (CCD) (2)	100,0%	\$ 11.700.000,00
98	Módulo de Sensores CENSE	100,0%	\$ 10.000.000,00
99	Módulo Auxiliar del CENSE	100,0%	\$ 5.100.000,00
100	Tarjeta Automática Reguladora de Voltaje (AVR)	100,0%	\$ 4.200.000,00
101	Tarjeta Auxiliar 105	100,0%	\$ 3.300.000,00
102	Tarjeta Auxiliar 104	100,0%	\$ 2.100.000,00
103	Relevos de 24 Vdc, 8 A, 8 pines Weidmuller u Omron	100,0%	\$ 50.000,00
104	Módulo de Fuente de Alimentación PSU	100,0%	\$ 1.500.000,00
105	Inversor del PLC Central	100,0%	\$ 250.000,00
106	Termocupla Alternador DE	0,0%	\$ 350.000,00
107	Termocupla Alternador NDE	0,0%	\$ 350.000,00
108	Sensor Temperatura Devanado Alternador (3)	0,0%	\$ 500.000,00
109	Sensor de Presión Caja de Engranajes	100,0%	\$ 900.000,00
110	Sensor de Temperatura Caja de Engranajes	100,0%	\$ 800.000,00

8.13 Cuantificaciones de las Frecuencias de Falla e Impactos en la Salud y la Seguridad, Ambiental y Reputacional

Se utilizó el Listado de Fallas de los Apéndices A hasta G para la Valorización de la Frecuencia de Fallas y la Tabla 5 para puntuar las Frecuencias de las Fallas. Los Impactos se evaluaron con base en las asignaciones de los Niveles y Criterios de la Tabla 4 como se observa a continuación.

Ítem	Descripción de la Parte	Valoración de Frecuencia de Fallas 2017 - 2021	Impacto en la Salud y Seguridad	Impacto Ambiental	Impacto Reputacional
1	Caja de Engranajes (Gearbox)	1	1	2	1
2	Generador Síncrono (Alternador) Stamford C1750	2	1	1	1
3	Acople de Disco de Goma Arcusaflex	2	1	1	1
4	Lainas de Acople	2	1	1	1
5	Bomba de Prelubricación	2	1	2	1
6	Bomba de Lubricación	1	1	2	1
7	Motor Bomba de Prelubricación	1	1	1	1
8	Termostato de Aceite (3)	1	1	1	1
9	Sensor Temperatura Aceite	1	1	1	1
10	Sensor Presión Aceite Prefiltros	1	1	1	1
11	Sensor Presión Aceite Filtro	1	1	1	1
12	Mantenedor de Nivel (Murphy LM300)	1	1	2	1
13	Bomba de Lubricación Caja de Engranajes	1	1	2	1
14	Bomba de Refrigeración Principal	2	1	2	1
15	Enfriador de Aceite	1	1	2	1
16	Postenfriador	1	1	2	1
17	Radiador	1	1	2	1
18	Motor Ventilador Radiador (8)	1	1	1	1
19	Hélice de Motor Ventilador Radiador (8)	1	1	1	1
20	Tubería de Refrigeración HT (Circuito de Alta Temperatura)	1	1	2	1

21	Tubería de Refrigeración LT (Circuito de Baja Temperatura)	1	1	2	1
22	Válvula entrada HT (Circuito de Alta Temperatura)	1	1	2	1
23	Válvula salida HT (Circuito de Alta Temperatura)	1	1	2	1
24	Válvula entrada LT (Circuito de Baja Temperatura)	1	1	2	1
25	Válvula salida LT (Circuito de Baja Temperatura)	1	1	2	1
26	Termostato HT (2) (Circuito de Alta Temperatura)	1	1	2	1
27	Termostato LT (2) (Circuito de Baja Temperatura)	1	1	2	1
28	Sensor Temperatura HT (Circuito de Alta Temperatura)	2	1	2	1
29	Sensor Temperatura LT (Circuito de Baja Temperatura)	1	1	2	1
30	Sensor Presión HT (Circuito de Alta Temperatura)	1	1	2	1
31	Sensor Presión LT (Circuito de Baja Temperatura)	1	1	2	1
32	Enfriador de Aceite Caja de Engranajes	1	1	2	1
33	Regulador de Gas	2	1	1	1
34	Válvula de Cierre de Gas	2	1	1	1
35	Válvula de Despresurización	2	1	1	1
36	Válvula Solenoide	1	1	1	1
37	Sensor de Presión Solenoide	2	1	1	1
38	Turbocargador	3	1	1	1
39	Aceleradores (Throttles)	3	1	1	2
40	Válvula de Suministro de Combustible FSV (2)	1	1	1	1
41	Sistema de Ventilación Entrada a Cuarto de Máquinas	1	1	1	1
42	Filtro Entrada Cuarto de Máquinas	1	1	1	1
43	Filtro de Entrada Motor	2	1	1	1
44	Sensor Temperatura Múltiple (Manifold)	1	1	1	1
45	Sensor Presión Múltiple (Manifold)	1	1	1	1
46	Sensor Flujo Másico Gas (2)	1	1	1	1
47	FOT Sensor de Flujo (Transductor de Salida de Flujo) después de la FSV	1	1	1	1

48	FIT Sensor de Flujo (Transductor de Entrada de Flujo) antes de la FSV	1	1	1	1
49	Múltiple (Manifold) de Mezcla	1	1	1	1
50	Exosto	1	1	2	1
51	Silenciador	1	1	2	1
52	Chimenea	1	1	2	1
53	Múltiple (Manifold) de Escape	1	1	1	1
54	Bobina	4	1	1	1
55	Bujía	3	1	1	1
56	Sensor de Detonación (18)	1	1	1	1
57	Termocupla de Cilindro (18)	1	1	1	1
58	Baterías 8D 12 V	1	1	1	1
59	Motor de Arranque	1	1	1	1
60	Solenoides Externos del Motor de Arranque	1	1	1	1
61	Culata	2	1	2	1
62	Cilindro (18)	1	1	2	1
63	Kit de Anillos del Pistón	2	1	1	1
64	Árbol de levas	1	1	2	1
65	Cigüeñal	1	1	2	1
66	Volanta	2	1	1	1
67	Sensor de Velocidad Volanta Lado A	1	1	1	1
68	Sensor de Posición Volanta Lado B	1	1	1	1
69	Sensor de Posición Árbol de levas	1	1	1	1
70	Motor Extractor de 4.8 HP Cuarto de Máquinas	4	1	1	1
71	Hélice de Motores Extractores Cuarto de Máquinas	1	1	2	1
72	Interruptor de Potencia (4)	2	1	1	1
73	Transformador Seco Principal Servicios auxiliares 400 kVA (1)	1	1	1	1
74	Relé Schneider Electric Sepam Motores Familia 80 (4)	1	1	1	1
75	Sistema de Puesta a Tierra (1)	1	1	1	1
76	PLC	1	1	1	1
77	Transformador Seco Servicios Auxiliares 75 kVA (1)	1	1	1	1
78	Motor Diesel 25 kVA Cummins (Planta Auxiliar)	1	1	1	1
79	CCM Radiadores 480 V	1	1	1	1
80	CCM Extractores 480 V	1	1	1	1
81	CCM Servicios Auxiliares 220 V	1	1	1	1

82	HMI Remota	2	1	1	1
83	Celdas QM	1	1	1	1
84	Pararrayos	1	1	1	1
85	Arnés Principal	4	1	1	1
86	Transformador Seco SPT Motor	1	1	1	1
87	Banco de Resistencias	1	1	1	1
88	Fusibles HH para Celda QM de 130 A	2	1	1	1
89	Diodos Rectificadores	2	1	1	1
90	Varistores	2	1	1	1
91	Interfaz Hombre Máquina (HMI)	1	1	1	1
92	Caja de Instrumentación del Generador (GIB)	1	1	1	1
93	Batería 12 V GIB	1	1	1	1
94	Tarjeta Madre del Controlador PowerCommand (PCC 3300)	1	1	1	1
95	CM700 (Módulo de Comando)	1	1	1	1
96	Módulo 558 Señales de Equipo (2)	2	1	1	1
97	Módulo de Ignición que controla la Capacidad de la Bobina (CCD) (2)	1	1	1	1
98	Módulo de Sensores CENSE	1	1	1	1
99	Módulo Auxiliar del CENSE	1	1	1	1
100	Tarjeta Automática Reguladora de Voltaje (AVR)	1	1	1	1
101	Tarjeta Auxiliar 105	1	1	1	1
102	Tarjeta Auxiliar 104	1	1	1	1
103	Relevos de 24 Vdc, 8 A, 8 pines Weidmuller u Omrom	4	1	1	1
104	Módulo de Fuente de Alimentación PSU	2	1	1	1
105	Inversor del PLC Central	2	1	1	1
106	Termocupla Alternador DE	2	1	1	1
107	Termocupla Alternador NDE	1	1	1	1
108	Sensor Temperatura Devanado Alternador (3)	1	1	1	1
109	Sensor de Presión Caja de Engranajes	3	1	1	1
110	Sensor de Temperatura Caja de Engranajes	2	1	1	1

8.1.4 Cuantificaciones por Pérdida de Generación y por Impacto Económico en COP

Se interpretan de la siguiente manera: Cuantificaciones por Pérdida de Generación es la Potencia del Grupo Electrónico por el % de Afectación por el TFS; Y por Impacto Económico en COP es el Impacto en la Generación más el Costo de la Reparación. Debajo están los resultados.

Ítem	Descripción de la Parte	Pérdida de Generación (kWh)	Impacto Económico (COP \$)
1	Caja de Engranajes (Gearbox)	420.000,00	\$ 90.460.720,00
2	Generador Síncrono (Alternador) Stamford C1750	294.000,00	\$ 59.057.504,00
3	Acople de Disco de Goma Arcusaflex	210.000,00	\$ 79.655.360,00
4	Lainas de Acople	42.000,00	\$ 5.951.072,00
5	Bomba de Prelubricación	0,00	\$ 5.000.000,00
6	Bomba de Lubricación	21.000,00	\$ 72.965.536,00
7	Motor Bomba de Prelubricación	0,00	\$ 1.677.000,00
8	Termostato de Aceite (3)	0,00	\$ 578.000,00
9	Sensor Temperatura Aceite	1.750,00	\$ 292.128,00
10	Sensor Presión Aceite Prefiltros	42.000,00	\$ 7.331.072,00
11	Sensor Presión Aceite Filtro	42.000,00	\$ 7.331.072,00
12	Mantenedor de Nivel (Murphy LM300)	3.500,00	\$ 3.054.256,00
13	Bomba de Lubricación Caja de Engranajes	210.000,00	\$ 35.655.360,00
14	Bomba de Refrigeración Principal	5.250,00	\$ 25.741.384,00
15	Enfriador de Aceite	0,00	\$ 10.000.000,00
16	Postenfriador	210.000,00	\$ 44.655.360,00
17	Radiador	210.000,00	\$ 49.655.360,00
18	Motor Ventilador Radiador (8)	0,00	\$ 1.600.000,00
19	Hélice de Motor Ventilador Radiador (8)	0,00	\$ 800.000,00
20	Tubería de Refrigeración HT (Circuito de Alta Temperatura)	126.000,00	\$ 18.293.216,00
21	Tubería de Refrigeración LT (Circuito de Baja Temperatura)	126.000,00	\$ 18.193.216,00
22	Válvula entrada HT (Circuito de Alta Temperatura)	0,00	\$ 3.000.000,00
23	Válvula salida HT (Circuito de Alta Temperatura)	0,00	\$ 3.000.000,00
24	Válvula entrada LT (Circuito de Baja Temperatura)	0,00	\$ 3.000.000,00
25	Válvula salida LT (Circuito de Baja Temperatura)	0,00	\$ 3.000.000,00
26	Termostato HT (2) (Circuito de Alta Temperatura)	7.000,00	\$ 1.566.512,00

27	Termostato LT (2) (Circuito de Baja Temperatura)	7.000,00	\$ 1.195.512,00
28	Sensor Temperatura HT (Circuito de Alta Temperatura)	3.500,00	\$ 539.256,00
29	Sensor Temperatura LT (Circuito de Baja Temperatura)	3.500,00	\$ 539.256,00
30	Sensor Presión HT (Circuito de Alta Temperatura)	3.500,00	\$ 2.154.256,00
31	Sensor Presión LT (Circuito de Baja Temperatura)	3.500,00	\$ 2.154.256,00
32	Enfriador de Aceite Caja de Engranajes	126.000,00	\$ 37.793.216,00
33	Regulador de Gas	1.260.000,00	\$ 202.932.160,00
34	Válvula de Cierre de Gas	0,00	\$ 1.000.000,00
35	Válvula de Despresurización	0,00	\$ 2.000.000,00
36	Válvula Solenoide	1.260.000,00	\$ 197.932.160,00
37	Sensor de Presión Solenoide	294.000,00	\$ 41.944.504,00
38	Turbocargador	10.500,00	\$ 26.482.768,00
39	Aceleradores (Throttles)	336.000,00	\$ 77.448.576,00
40	Válvula de Suministro de Combustible FSV (2)	5.250,00	\$ 12.041.384,00
41	Sistema de Ventilación Entrada a Cuarto de Máquinas	0,00	\$ 7.000.000,00
42	Filtro Entrada Cuarto de Máquinas	0,00	\$ 100.000,00
43	Filtro de Entrada Motor	3.500,00	\$ 4.094.256,00
44	Sensor Temperatura Múltiple (Manifold)	1.750,00	\$ 432.128,00
45	Sensor Presión Múltiple (Manifold)	252.000,00	\$ 39.586.432,00
46	Sensor Flujo Másico Gas (2)	252.000,00	\$ 40.886.432,00
47	FOT Sensor de Flujo (Transductor de Salida de Flujo) después de la FSV	252.000,00	\$ 36.013.432,00
48	FIT Sensor de Flujo (Transductor de Entrada de Flujo) antes de la FSV	252.000,00	\$ 36.006.432,00
49	Múltiple (Manifold) de Mezcla	294.000,00	\$ 46.517.504,00
50	Exosto	0,00	\$ 10.000.000,00
51	Silenciador	0,00	\$ 10.000.000,00
52	Chimenea	0,00	\$ 15.000.000,00
53	Múltiple (Manifold) de Escape	126.000,00	\$ 22.793.216,00
54	Bobina	1.750,00	\$ 2.213.605,00
55	Bujía	1.750,00	\$ 2.647.128,00
56	Sensor de Detonación (18)	1.750,00	\$ 597.128,00
57	Termocupla de Cilindro (18)	1.750,00	\$ 2.667.128,00
58	Baterías 8D 12 V	1.750,00	\$ 1.247.128,00
59	Motor de Arranque	0,00	\$ 4.165.000,00
60	Solenoide Externo del Motor de Arranque	3.500,00	\$ 579.256,00
61	Culata	14.000,00	\$ 16.977.024,00
62	Cilindro (18)	21.000,00	\$ 22.965.536,00

63	Kit de Anillos del Pistón	17.500,00	\$ 2.921.280,00
64	Árbol de levas	2.520.000,00	\$ 435.864.320,00
65	Cigüeñal	6.300.000,00	\$ 1.189.660.800,00
66	Volanta	630.000,00	\$ 93.966.080,00
67	Sensor de Velocidad Volanta Lado A	1.750,00	\$ 587.128,00
68	Sensor de Posición Volanta Lado B	1.750,00	\$ 587.128,00
69	Sensor de Posición Árbol de levas	42.000,00	\$ 6.271.072,00
70	Motor Extractor de 4.8 HP Cuarto de Máquinas	0,00	\$ 1.000.000,00
71	Hélice de Motores Extractores Cuarto de Máquinas	0,00	\$ 700.000,00
72	Interruptor de Potencia (4)	252.000,00	\$ 135.586.432
73	Transformador Seco Principal Servicios auxiliares 400 kVA (1)	2.520.000,00	\$ 401.364.320,00
74	Relé Schneider Electric Sepam Motores Familia 80 (4)	294.000,00	\$ 61.517.504,00
75	Sistema de Puesta a Tierra (1)	0,00	\$ 3.000.000,00
76	PLC	0,00	\$ 10.000.000,00
77	Transformador Seco Servicios Auxiliares 75 kVA (1)	0,00	\$ 8.531.250,00
78	Motor Diesel 25 kVA Cummins (Planta Auxiliar)	0,00	\$ 30.000.000,00
79	CCM Radiadores 480 V	5.250,00	\$ 1.141.384,00
80	CCM Extractores 480 V	0,00	\$ 300.000,00
81	CCM Servicios Auxiliares 220 V	0,00	\$ 150.000,00
82	HMI Remota	0,00	\$ 6.600.000,00
83	Celdas QM	336.000,00	\$ 62.448.576,00
84	Pararrayos	0,00	\$ 1.600.000,00
85	Arnés Principal	630.000,00	\$ 103.966.080,00
86	Transformador Seco SPT Motor	0,00	\$ 4.000.000,00
87	Banco de Resistencias	0,00	\$ 2.500.000,00
88	Fusibles HH para Celda QM de 130 A	7.000,00	\$ 2.488.512,00
89	Diodos Rectificadores	10.500,00	\$ 2.392.755,00
90	Varistores	10.500,00	\$ 1.732.768,00
91	Interfaz Hombre Máquina (HMI)	5.250,00	\$ 7.341.384,00
92	Caja de Instrumentación del Generador (GIB)	84.000,00	\$ 12.862.144,00
93	Batería 12 V GIB	3.500,00	\$ 584.256,00
94	Tarjeta Madre del Controlador PowerCommand (PCC 3300)	42.000,00	\$ 20.231.072,00
95	CM700 (Módulo de Comando)	42.000,00	\$ 32.931.072,00
96	Módulo 558 Señales de Equipo (2)	21.000,00	\$ 16.965.536,00
97	Módulo de Ignición que controla la Capacidad de la Bobina (CCD) (2)	3.500,00	\$ 12.194.256,00
98	Módulo de Sensores CENSE	3.500,00	\$ 10.494.256,00

99	Módulo Auxiliar del CENSE	3.500,00	\$ 5.594.256,00
100	Tarjeta Automática Reguladora de Voltaje (AVR)	336.000,00	\$ 51.648.576,00
101	Tarjeta Auxiliar 105	3.500,00	\$ 3.794.256,00
102	Tarjeta Auxiliar 104	336.000,00	\$ 49.548.576,00
103	Relevos de 24 Vdc, 8 A, 8 pines Weidmuller u Omrom	1.750,00	\$ 297.128,00
104	Módulo de Fuente de Alimentación PSU	42.000,00	\$ 7.431.072,00
105	Inversor del PLC Central	42.000,00	\$ 6.181.072,00
106	Termocupla Alternador DE	0,00	\$ 350.000,00
107	Termocupla Alternador NDE	0,00	\$ 350.000,00
108	Sensor Temperatura Devanado Alternador (3)	0,00	\$ 500.000,00
109	Sensor de Presión Caja de Engranajes	84.000,00	\$ 12.762.144,00
110	Sensor de Temperatura Caja de Engranajes	8.750,00	\$ 2.035.675,00

8.15 Clasificación del Impacto en la Generación

Es el Margen de Contribución (COP \$/ kWh) por la Pérdida de Generación (kWh) como se lista en la parte inferior.

Ítem	Descripción de la Parte	Impacto en la Generación (COP \$)
1	Caja de Engranajes (Gearbox)	\$ 59,310,720.00
2	Generador Síncrono (Alternador) Stamford C1750	\$ 41,517,504.00
3	Acople de Disco de Goma Arcusaflex	\$ 29,655,360.00
4	Lainas de Acople	\$ 5,931,072.00
5	Bomba de Prelubricación	\$ 0.00
6	Bomba de Lubricación	\$ 2,965,536.00
7	Motor Bomba de Prelubricación	\$ 0.00
8	Termostato de Aceite (3)	\$ 0.00
9	Sensor Temperatura Aceite	\$ 247,128.00
10	Sensor Presión Aceite Prefiltros	\$ 5,931,072.00
11	Sensor Presión Aceite Filtro	\$ 5,931,072.00
12	Mantenedor de Nivel (Murphy LM300)	\$ 494,256.00
13	Bomba de Lubricación Caja de Engranajes	\$ 29,655,360.00
14	Bomba de Refrigeración Principal	\$ 741,384.00
15	Enfriador de Aceite	\$ 0.00
16	Postenfriador	\$ 29,655,360.00
17	Radiador	\$ 29,655,360.00

18	Motor Ventilador Radiador (8)	\$ 0.00
19	Hélice de Motor Ventilador Radiador (8)	\$ 0.00
20	Tubería de Refrigeración HT (Circuito de Alta Temperatura)	\$ 17,793,216.00
21	Tubería de Refrigeración LT (Circuito de Baja Temperatura)	\$ 17,793,216.00
22	Válvula entrada HT (Circuito de Alta Temperatura)	\$ 0.00
23	Válvula salida HT (Circuito de Alta Temperatura)	\$ 0.00
24	Válvula entrada LT (Circuito de Baja Temperatura)	\$ 0.00
25	Válvula salida LT (Circuito de Baja Temperatura)	\$ 0.00
26	Termostato HT (2) (Circuito de Alta Temperatura)	\$ 988,512.00
27	Termostato LT (2) (Circuito de Baja Temperatura)	\$ 988,512.00
28	Sensor Temperatura HT (Circuito de Alta Temperatura)	\$ 494,256.00
29	Sensor Temperatura LT (Circuito de Baja Temperatura)	\$ 494,256.00
30	Sensor Presión HT (Circuito de Alta Temperatura)	\$ 494,256.00
31	Sensor Presión LT (Circuito de Baja Temperatura)	\$ 494,256.00
32	Enfriador de Aceite Caja de Engranajes	\$ 17,793,216.00
33	Regulador de Gas	\$ 177,932,160.00
34	Válvula de Cierre de Gas	\$ 0.00
35	Válvula de Despresurización	\$ 0.00
36	Válvula Solenoide	\$ 177,932,160.00
37	Sensor de Presión Solenoide	\$ 41,517,504.00
38	Turbocargador	\$ 1,482,768.00
39	Aceleradores (Throttles)	\$ 47,448,576.00
40	Válvula de Suministro de Combustible FSV (2)	\$ 741,384.00
41	Sistema de Ventilación Entrada a Cuarto de Máquinas	\$ 0.00
42	Filtro Entrada Cuarto de Máquinas	\$ 0.00
43	Filtro de Entrada Motor	\$ 494,256.00
44	Sensor Temperatura Múltiple (Manifold)	\$ 247,128.00
45	Sensor Presión Múltiple (Manifold)	\$ 35,586,432.00
46	Sensor Flujo Másico Gas (2)	\$ 35,586,432.00
47	FOT Sensor de Flujo (Transductor de Salida de Flujo) después de la FSV	\$ 35,586,432.00
48	FIT Sensor de Flujo (Transductor de Entrada de Flujo) antes de la FSV	\$ 35,586,432.00
49	Múltiple (Manifold) de Mezcla	\$ 41,517,504.00
50	Exosto	\$ 0.00
51	Silenciador	\$ 0.00
52	Chimenea	\$ 0.00
53	Múltiple (Manifold) de Escape	\$ 17,793,216.00
54	Bobina	\$ 247,128.00
55	Bujía	\$ 247,128.00
56	Sensor de Detonación (18)	\$ 247,128.00

57	Termocupla de Cilindro (18)	\$ 247,128.00
58	Baterías 8D 12 V	\$ 247,128.00
59	Motor de Arranque	\$ 0.00
60	Solenoides Externos del Motor de Arranque	\$ 494,256.00
61	Culata	\$ 1,977,024.00
62	Cilindro (18)	\$ 2,965,536.00
63	Kit de Anillos del Pistón	\$ 2,471,280.00
64	Árbol de levas	\$ 355,864,320.00
65	Cigüeñal	\$ 889,660,800.00
66	Volanta	\$ 88,966,080.00
67	Sensor de Velocidad Volanta Lado A	\$ 247,128.00
68	Sensor de Posición Volanta Lado B	\$ 247,128.00
69	Sensor de Posición Árbol de levas	\$ 5,931,072.00
70	Motor Extractor de 4.8 HP Cuarto de Máquinas	\$ 0.00
71	Hélice de Motores Extractores Cuarto de Máquinas	\$ 0.00
72	Interruptor de Potencia (4)	\$ 35,586,432.00
73	Transformador Seco Principal Servicios auxiliares 400 kVA (1)	\$ 355,864,320.00
74	Relé Schneider Electric Sepam Motores Familia 80 (4)	\$ 41,517,504.00
75	Sistema de Puesta a Tierra (1)	\$ 0.00
76	PLC	\$ 0.00
77	Transformador Seco Servicios Auxiliares 75 kVA (1)	\$ 0.00
78	Motor Diesel 25 kVA Cummins (Planta Auxiliar)	\$ 0.00
79	CCM Radiadores 480 V	\$ 741,384.00
80	CCM Extractores 480 V	\$ 0.00
81	CCM Servicios Auxiliares 220 V	\$ 0.00
82	HMI Remota	\$ 0.00
83	Celdas QM	\$ 47,448,576.00
84	Pararrayos	\$ 0.00
85	Arnés Principal	\$ 88,966,080.00
86	Transformador Seco SPT Motor	\$ 0.00
87	Banco de Resistencias	\$ 0.00
88	Fusibles HH para Celda QM de 130 A	\$ 988,512.00
89	Diodos Rectificadores	\$ 1,482,768.00
90	Varistores	\$ 1,482,768.00
91	Interfaz Hombre Máquina (HMI)	\$ 741,384.00
92	Caja de Instrumentación del Generador (GIB)	\$ 11,862,144.00
93	Batería 12 V GIB	\$ 494,256.00
94	Tarjeta Madre del Controlador PowerCommand (PCC 3300)	\$ 5,931,072.00
95	CM700 (Módulo de Comando)	\$ 5,931,072.00
96	Módulo 558 Señales de Equipo (2)	\$ 2,965,536.00
97	Módulo de Ignición que controla la capacidad de la bobina (CCD) (2)	\$ 494,256.00

98	Módulo de Sensores CENSE	\$ 494,256.00
99	Módulo Auxiliar del CENSE	\$ 494,256.00
100	Tarjeta Automática Reguladora de Voltaje (AVR)	\$ 47,448,576.00
101	Tarjeta Auxiliar 105	\$ 494,256.00
102	Tarjeta Auxiliar 104	\$ 47,448,576.00
	Relevos de 24 Vdc, 8 A, 8 pines Weidmuller u	
103	Omrom	\$ 247,128.00
104	Módulo de Fuente de Alimentación PSU	\$ 5,931,072.00
105	Inversor del PLC Central	\$ 5,931,072.00
106	Termocupla Alternador DE	\$ 0.00
107	Termocupla Alternador NDE	\$ 0.00
108	Sensor Temperatura Devanado Alternador (3)	\$ 0.00
109	Sensor de Presión Caja de Engranajes	\$ 11,862,144.00
110	Sensor de Temperatura Caja de Engranajes	\$ 1,235,675.00

8.1.6 Calificación del Impacto Económico en Puntaje (Criterios del Impacto) y de los

Resultados

La puntuación del Impacto Económico viene de la Tabla 4 donde se aprecian los Niveles y Criterios de los Impactos. El índice de Criticidad, escrito como Criticidad en la Tabla es el descrito en el Glosario, el resultado de la Consecuencia por la Frecuencia.

Ítem	Descripción de la Parte	Impacto			Criticidad
		Económico	Consecuencia	Frecuencia	
1	Caja de Engranajes (Gearbox)	4	4	1	4
2	Generador Síncrono (Alternador) Stamford C1750	4	4	2	8
3	Acople de Disco de Goma Arcusaflex	4	4	2	8
4	Lainas de Acople	2	2	2	4
5	Bomba de Prelubricación	1	2	1	2
6	Bomba de Lubricación	4	4	1	4
7	Motor Bomba de Prelubricación	1	1	1	1
8	Termostato de Aceite (3)	1	1	1	1
9	Sensor Temperatura Aceite	1	1	1	1
10	Sensor Presión Aceite Prefiltros	2	2	1	2
11	Sensor Presión Aceite Filtro	2	2	1	2
12	Mantenedor de Nivel (Murphy LM300)	1	2	1	2

13	Bomba de Lubricación Caja de Engranajes	3	3	1	3
14	Bomba de Refrigeración Principal	3	3	1	3
15	Enfriador de Aceite	2	2	1	2
16	Postenfriador	3	3	1	3
17	Radiador	3	3	1	3
18	Motor Ventilador Radiador (8)	1	1	1	1
19	Hélice de Motor Ventilador Radiador (8)	1	1	1	1
20	Tubería de Refrigeración HT (Circuito de Alta Temperatura)	3	3	1	3
21	Tubería de Refrigeración LT (Circuito de Baja Temperatura)	3	3	1	3
22	Válvula entrada HT (Circuito de Alta Temperatura)	1	2	1	2
23	Válvula salida HT (Circuito de Alta Temperatura)	1	2	1	2
24	Válvula entrada LT (Circuito de Baja Temperatura)	1	2	1	2
25	Válvula salida LT (Circuito de Baja Temperatura)	1	2	1	2
26	Termostato HT (2) (Circuito de Alta Temperatura)	1	2	1	2
27	Termostato LT (2) (Circuito de Baja Temperatura)	1	2	1	2
28	Sensor Temperatura HT (Circuito de Alta Temperatura)	1	2	2	4
29	Sensor Temperatura LT (Circuito de Baja Temperatura)	1	2	1	2
30	Sensor Presión HT (Circuito de Alta Temperatura)	1	2	1	2
31	Sensor Presión LT (Circuito de Baja Temperatura)	1	2	1	2
32	Enfriador de Aceite Caja de Engranajes	3	3	1	3
33	Regulador de Gas	5	5	2	10
34	Válvula de Cierre de Gas	1	1	2	2
35	Válvula de Despresurización	1	1	2	2
36	Válvula Solenoide	5	5	1	5
37	Sensor de Presión Solenoide	3	3	2	6
38	Turbocargador	3	3	3	9
39	Aceleradores (Throttles)	4	4	3	12
40	Válvula de Suministro de Combustible FSV (2)	3	3	1	3

41	Sistema de Ventilación Entrada a Cuarto de Máquinas	2	2	1	2
42	Filtro Entrada Cuarto de Máquinas	1	1	1	1
43	Filtro de Entrada Motor	1	1	2	2
44	Sensor Temperatura Múltiple (Manifold)	1	1	1	1
45	Sensor Presión Múltiple (Manifold)	3	3	1	3
46	Sensor Flujo Másico Gas (2)	3	3	1	3
47	FOT Sensor de Flujo (Transductor de Salida de Flujo) después de la FSV	3	3	1	3
48	FIT Sensor de Flujo (Transductor de Entrada de Flujo) antes de la FSV	3	3	1	3
49	Múltiple (Manifold) de Mezcla	3	3	1	3
50	Exosto	2	2	1	2
51	Silenciador	2	2	1	2
52	Chimenea	3	3	1	3
53	Múltiple (Manifold) de Escape	3	3	1	3
54	Bobina	1	1	4	4
55	Bujía	1	1	3	3
56	Sensor de Detonación (18)	1	1	1	1
57	Termocupla de Cilindro (18)	1	1	1	1
58	Baterías 8D 12 V	1	1	1	1
59	Motor de Arranque	1	1	1	1
60	Solenoides Externos del Motor de Arranque	1	1	1	1
61	Culata	3	3	2	6
62	Cilindro (18)	3	3	1	3
63	Kit de Anillos del Pistón	1	1	2	2
64	Árbol de levas	5	5	1	5
65	Cigüeñal	5	5	1	5
66	Volanta	4	4	2	8
67	Sensor de Velocidad Volanta Lado A	1	1	1	1
68	Sensor de Posición Volanta Lado B	1	1	1	1
69	Sensor de Posición Árbol de levas	2	2	1	2
70	Motor Extractor de 4.8 HP Cuarto de Máquinas	1	1	4	4
71	Hélice de Motores Extractores Cuarto de Máquinas	1	2	1	2

72	Interruptor de Potencia (4)	5	5	2	10
73	Transformador Seco Principal Servicios auxiliares 400 kVA (1)	5	5	1	5
74	Relé Schneider Electric Sepam Motores Familia 80 (4)	4	4	1	4
75	Sistema de Puesta a Tierra (1)	1	1	1	1
76	PLC Transformador Seco Servicios	2	2	1	2
77	Auxiliares 75 kVA (1) Motor Diesel 25 kVA Cummins	2	2	1	2
78	(Planta Auxiliar)	3	3	1	3
79	CCM Radiadores 480 V	1	1	1	1
80	CCM Extractores 480 V	1	1	1	1
81	CCM Servicios Auxiliares 220 V	1	1	1	1
82	HMI Remota	2	2	2	4
83	Celdas QM	4	4	1	4
84	Pararrayos	1	1	1	1
85	Arnés Principal	5	5	4	20
86	Transformador Seco SPT Motor	1	1	1	1
87	Banco de Resistencias	1	1	1	1
88	Fusibles HH para Celda QM de 130 A	1	1	2	2
89	Diodos Rectificadores	1	1	2	2
90	Varistores	1	1	2	2
91	Interfaz Hombre Máquina (HMI)	2	2	1	2
92	Caja de Instrumentación del Generador (GIB)	3	3	1	3
93	Batería 12 V GIB	1	1	1	1
94	Tarjeta Madre del Controlador PowerCommand (PCC 3300)	3	3	1	3
95	CM700 (Módulo de Comando)	3	3	1	3
96	Módulo 558 Señales de Equipo (2)	3	3	2	6
97	Módulo de Ignición que controla la Capacidad de la Bobina (CCD) (2)	3	3	1	3
98	Módulo de Sensores CENSE	3	3	1	3
99	Módulo Auxiliar del CENSE	2	2	1	2
100	Tarjeta Automática Reguladora de Voltaje (AVR)	4	4	1	4
101	Tarjeta Auxiliar 105	1	1	1	1
102	Tarjeta Auxiliar 104	3	3	1	3
103	Relevos de 24 Vdc, 8 A, 8 pines Weidmuller u Omrom	1	1	4	4

104	Módulo de Fuente de Alimentación PSU	2	2	2	4
105	Inversor del PLC Central	2	2	2	4
106	Termocupla Alternador DE	1	1	2	2
107	Termocupla Alternador NDE	1	1	1	1
108	Sensor Temperatura Devanado Alternador (3)	1	1	1	1
109	Sensor de Presión Caja de Engranajes	3	3	3	9
110	Sensor de Temperatura Caja de Engranajes	1	1	2	2

8.1.7 Listado de Partes Críticas

Las Parte Críticas son las siguientes ocho (el 7%) según la calificación de su Consecuencia y/o Frecuencia:

No.	Descripción	Consecuencia	Frecuencia	Criticidad
33	Regulador de Gas	5	2	Crítica
36	Válvula Solenoide	5	1	Crítica
39	Aceleradores (Throttles)	4	3	Crítica
64	Árbol de levas	5	1	Crítica
65	Cigüeñal	5	1	Crítica
72	Interruptor de Potencia (4)	5	2	Crítica
73	Transformador Seco Principal Servicios auxiliares 400 kVA (1)	5	1	Crítica
85	Arnés Principal	5	4	Crítica

8.1.8 Listado de Partes Semi críticas

Las Partes Semi críticas son las siguientes quince (el 14%) con base en los resultados de su Consecuencia y/o Frecuencia:

No.	Descripción	Consecuencia	Frecuencia	Criticidad
1	Caja de Engranajes (Gearbox)	4	1	Semi crítica
2	Generador Síncrono (Alternador) Stamford C1750	4	2	Semi crítica
3	Acople de Disco de Goma Arcusaflex	4	2	Semi crítica
6	Bomba de Lubricación	4	1	Semi crítica
38	Turbocargador	3	3	Semi crítica
54	Bobina	1	4	Semi crítica

61	Culata	3	2	Semi crítica
66	Volanta	4	2	Semi crítica
70	Motor Extractor de 4.8 HP Cuarto de Máquinas	1	4	Semi crítica
74	Relé Schneider Electric Sepam Motores Familia 80 (4)	4	1	Semi crítica
83	Celdas QM	4	1	Semi crítica
96	Módulo 558 Señales de Equipo (2)	3	2	Semi crítica
100	Tarjeta Automática Reguladora de Voltaje (AVR)	4	1	Semi crítica
103	Relevos de 24 Vdc, 8 A, 8 pines Weidmuller u Omrom	1	4	Semi crítica
109	Sensor de Presión Caja de Engranajes	3	3	Semi crítica

Quedaron 87 partes no críticas (el 79%).

Las Estrategias de Mantenimiento se visualizaron desde 2021 cuando se estuvo elaborando el Plan de Monografía y se comenzaron a aplicar en 2022 a nivel de prueba mientras se llevan estadísticas descriptivas de al menos un año. Por lo pronto, ya se observa una mejora en uno de los indicadores más importantes para la Planta de Generación y es la Disponibilidad.

Tomando los Períodos de Mantenibilidad de las Tablas de Tiempos No Disponibles por Mantenimiento en 2021 y 2022 hasta abril, se armó la Tabla 10.

9. Análisis de la Disponibilidad

Mora (2009) define la Disponibilidad como la relación entre el tiempo en que funciona debidamente el equipo y el tiempo en que puede operar, esto es:

$$\text{Disponibilidad} = \text{Confiabilidad} / (\text{Confiabilidad} + \text{Mantenibilidad}) = \text{Tiempo Operacional} / (\text{Tiempo Operacional} + \text{Tiempo de Reparación de la Falla}).$$

La Confiabilidad es cuatro meses continuos sin fallas, esto es:

$$365 \text{ días} \times (24 \text{ h} / 1 \text{ día}) = 8760 \text{ h}, \text{ entonces } 8760 / 3 = 2920 \text{ h}.$$

Reemplazando los valores de horas en la Fórmula de Disponibilidad:

$$\text{Disponibilidad 2021} = 2920 / (2920 + 271.58) = 91.15\%.$$

$$\text{Disponibilidad 2022} = 2920 / (2920 + 60.5) = 97.97\%.$$

$$\text{Diferencia de Disponibilidad} = \text{Disponibilidad 2022} - \text{Disponibilidad 2021} = 6.82\%.$$

La información clave como Gerente de Mantenimiento es que:

De 2920 h de tiempo operacional de cuatro meses comparativos entre 2021 y 2022, $(2920 * 0.0682) = \text{Confiabilidad} * \text{Diferencia de Disponibilidad} = 199.14 \text{ h}$ de venta de energía que si se venderán en 2022 y que no se vendieron respecto a 2021.

Ahora, La ganancia de venta de energía en 2022 es:

[El tiempo de venta de energía en 2022 * (Potencia Generada por el equipo * el Factor de Potencia ajustado) * Margen de Contribución], reemplazado valores:

$$(199.14 \text{ h}) * (1750 \text{ kW} * 0.96) * (141.22 \text{ COP} / \text{kWh}) = \$47.245.885 \text{ millones de COP}.$$

10. Resultados del RCM

El RCM dictaminó las siguientes Actividades de Mantenimiento para los Equipos

Críticos:

Para el Regulador de Gas: Inspección al comienzo de cada turno, limpieza y tener partes en bodega.

Para la Válvula Solenoide de Gas: Inspección al comienzo de cada turno, limpieza y tener partes en bodega.

Para el Acelerador: Inspección y Registro de temperatura al inicio de cada turno, tener Arneses en estados conformes, partes en bodega.

Para el Árbol de levas: Monitoreo de aceite al comienzo de cada turno, manipulación adecuada en los mantenimientos, tener visualizado uno para compra en el menor tiempo posible.

Para el Cigüeñal: Monitoreo de aceite al comienzo de cada turno, manipulación adecuada en los mantenimientos, tener visualizado uno para compra en el menor tiempo posible.

Para el Interruptor Schneider Electric Evolis: Efectuar los mantenimientos preventivos según las indicaciones del fabricante.

Para el Transformador Seco Suntec de 400 kVA: Inspección y monitoreo de temperatura al comienzo de cada turno, mantener contacto regular con un fabricante reconocido para verificar que tengan en inventario o que lo fabriquen en el menos tiempo posible.

Para el Arnés Principal: Cambiar los existentes por fallas y vida útil, Se encontró un proveedor local que puede construirlos similares a los de fábrica con mejor relación costo/beneficio.

Los Planes de Mantenimiento (M0 a M6) que forman la Estrategia de Mantenimiento están en las tablas 11 al 18, se creó el nuevo Plan de Mantenimiento M0 a las 750 horas como parte del plan de mejora, se adicionaron cuatro actividades a las treinta y ocho del Plan de Mantenimiento M1, se sumaron cinco actividades a las cuarenta y cuatro que forman el Plan de Mantenimiento M2, se ingresaron once actividades a las sesenta del Plan de Mantenimiento M3, se anexaron cinco actividades a las cincuenta y tres del Plan de Mantenimiento M4 y por último se adicionaron cinco actividades al Plan de Mantenimiento de setenta actividades M5.

11. Conclusiones

- Se encontraron veintiún activos de tipo eléctrico, veintisiete activos de tipo estático, cuarenta y cuatro activos de tipo de instrumentación y dieciocho activos de tipo rotativo.
- Al terminar el Análisis de Criticidad al Motor Principal y a los Componentes, Equipos y Partes que más lo pueden afectar, se encontró que el Impacto más representativo en la Planta de Generación es el Económico.
- Las Partes Críticas y las Semi críticas fueron un 21% de las partes totales revisadas en el Análisis de Criticidad.
- En la aplicación de RCM a las partes críticas, los riesgos económicos fueron los de mayor peso.
- El Análisis RCM no arrojó macro mejoras sino tareas de frecuencia diaria que refuerzan a las incluidas en las actualizaciones de las Estrategias de Mantenimiento.
- El Análisis RCM permitió agregar ocho Tareas de Mantenimiento que sirven para varios componentes críticos e ir formando así la Estrategia de Mantenimiento.

- Se incluyó el Mantenimiento M0 a las setecientas cincuenta horas con dieciséis actividades para reforzar el Mantenimiento Preventivo y por ende la Estrategia de Mantenimiento.
- Se crearon y/o reubicaron treinta Tareas de Mantenimiento en los Planes de Mantenimiento M1 a M6 que hacen parte de la Estrategia de Mantenimiento.
- La Disponibilidad, indicador clave de una Planta de Generación, mejoró puesto que aumentó, el período (2022) con las Estrategias de Mantenimiento Actualizadas superó en un 6.82% al período (2021) cuando no se tenían actualizadas las Estrategias.
- El aumento de la Disponibilidad se ve reflejado en un Aumento de Producción, es decir un incremento en la Venta de Energía de la Planta en más de cuarenta y siete millones de COP (\$ 47.245.885) a favor de 2022 con respecto a 2021.

12. Recomendaciones

- Esta Monografía servirá de base para aplicar el Análisis de Criticidad a las Plantas que pertenecen al Grupo Empresarial dueño de la Planta de Generación.
- En 2022 se continuará nutriendo la Base de Datos de Mantenimiento especificando los accionamientos de los CCM, partes del Alternador y de la Caja de Engranajes que puedan ser conseguidas con fábrica.

Referencias Bibliográficas

Consuegra, G, y Scalzo, A. (2017). Definición de Estrategias de Mantenimiento para los Activos Críticos y Semi críticos de una Planta de Producción de Ácido Sulfúrico, basado en la Metodología de Análisis de Criticidad (Tesis de Especialización). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

García, S. (2003). Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Editorial García de Santos.

González, Fernández, F. J. (Segunda Edición). (2005). Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. Editorial Fundación Confemetal.

Haro, F. Grupo Generador de Energía Eléctrica: ¿Gas o Diésel?. Generac Industrial.
<https://blog.generaclatam.com/planta-de-generación-de-energía-eléctrica>

IEC 60300-3-11 (1999). Guía de Aplicación - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Comisión Electrotécnica Internacional.

Integra Markets Escuela de Gestión Empresarial (2018). Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial. Editorial Integra Markets.

ISO 14224 (2016). Industrias de Petróleo, Petroquímica y Gas Natural - Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. Estándar Británico.

ISO 55000 (2014). Gestión de Activos - Aspectos Generales, Principios y Terminología.

Mora Gutiérrez, L. A. (2009). Mantenimiento. Planeación, Ejecución y Control. Editorial Alfaomega.

Ortiz Plata, D. (2017). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad -RCM-. Guía Práctica.

Ortiz Plata, D (2021) Libro del Modelo de la Hoja de Trabajo en Excel de RCM. Clase de Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Cohorte XII. Barranquilla.

Park, A. (Segunda Edición). (1998). Gestión de Instalaciones. Una Explicación. Editorial Globo Rojo.

SAE JA1012 (2018). Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

Wooding, C., Kitchen A. y Glover, R.M. (2010). Guía de Mantenimiento Global para Grupos Electrónicos QSV91G. Grupo de Servicio para Negocios de Soluciones de Energía Cummins.

Apéndices

Apéndice A

Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2017.

MES	ORIGEN	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO	HORA INICIAL	HORA FINAL	TI	CORRECTIVO	OBSERVACIONES
Enero	Generadores	Falla en Motor #2 Turbo A7	21/01/2017 8:35:00	21/01/2017 8:45:00	0:10:00	Reemplazo de Turbo	Se reemplaza turbo por el que se encontraba en stock para G4
Febrero	Generadores	Falla Shutdown Motor #2	01/02/2017 8:27:00	01/02/2017 8:32:00	0:05:00	Reemplazo de Relés	Se estableció falla a causa de relés con mal contacto en GIB
	Generadores	Disparo en GIB G1 de 440 - PSU averiada	21/02/2017 3:57:00	21/02/2017 4:00:00	0:03:00	*	Revisar tema con Operador, No debió pasar
Marzo	Generadores	Desv Temp en A6 de G1 - Carga alta saca todo el sistema	24/03/2017 13:15:00	24/03/2017 13:32:00	0:17:00	*	Se realiza calibración y cambio de bujias
Abril	Generadores	Apertura de Circuito por Sobrecarga y evitar falla total	22/04/2017 0:00:00	22/04/2017 0:00:00	0:00:00	*	G3 no disponible - Falla de Throttle
	Generadores	Apertura de Circuito por Sobrecarga	24/04/2017 8:25:00	24/04/2017 8:40:00	0:15:00	*	Falla de Throttle
	Generadores	G3 se sale por falla en sensor de presión de aceite del	18/05/2017 11:38:00	18/05/2017 11:45:00	0:07:00	Ajuste de Sensor	
Mayo	Generadores	Alta presión de gas en línea principal - Salida de todos los motores, superaron los 5 psi	19/05/2017 14:52:00	19/05/2017 14:56:00	0:04:00	*	Se realiza alibración de valvula reguladora en G2 - Pendientes las demas máquinas
	Generadores	Desv Temp en A9 de G1 - Carga alta saca todo el sistema - Bobina de Encendido Sulfatada	25/05/2017 15:22:00	25/05/2017 15:25:00	0:03:00	Cambio de Bobina	Se programa Cambio general de Bobinas, presentan tiempo de operación cumplido
Junio	Generadores	Se hace apertura de cto para atender falla en G2 por daño en bobina	15/06/2017 2:52:00	15/06/2017 3:09:00	0:17:00	Cambio de Bobina	Se tiene programado cambio de todas las bobinas
	Generadores	Falla de bobina en G2 - Salida del Sistema	17/06/2017 18:31:00	17/06/2017 18:44:00	0:13:00	*	Se realiza cambio de todas las bobinas del motor G2 - Pdte cambio en G1
Agosto	Generadores	G1 presenta desviación por falla en bujia - Salida del Sistema por sobrecarga en los demas motores	26/08/2017 14:00:00	26/08/2017 14:14:00	0:14:00	Cambio de Bujia	Se programa mtto preventivo a generador

Nota. Base de datos de la Planta de Generación.

Apéndice B

Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2018.

MES	HORA	DESCRIPCIÓN EVENTO	CORRECTIVOS Y OBSERVACIONES	ORIGEN	HORA INICIO	HORA FINAL	TI
may-18	744:00:00	Falla de Detonaciones	Se presenta salida de G3 por detonaciones fuertes en A2, se reemplaza bujía larga vida por convencional y asegurar operación. Pdte revisión bujía larga vida	Generadores	11/05/2018 15:06:00	11/05/2018 15:14:00	0:08:00
		Disparo de Fusible G1	Se presenta disparo de fusible QM de G1 y ocasiona deslastre de los otros 3 motores por condición de sobrecarga	Generadores	23/05/2018 11:05:00	23/05/2018 12:05:00	1:00:00
jun-18		Falla Knocking G1	Se presentan Knocking en puesto A1 de G1 ocasionando salida del sistema. Este puesto presentó en días anteriores daño subito de bujía y bobina. Se programa videocheck. Luego de las inspecciones se encontró culata con paso de refrigerante en asiento de valvula	Generadores	12/06/2018 11:48:00	12/06/2018 11:54:00	0:06:00
jul-18		Falla de Modulo de Control Desv Temp	Salida debido a desv de temp en banco B del motor #1, parece daño de modulo de ignición. Demas motores no soportan la alta carga. Se reemplaza modulo CCD	Generadores	16/07/2018 12:42:00	16/07/2018 12:59:00	0:17:00
sep-18	720:00:00	Falla Sobrecarga	Motores Operativos 1,2 y 3. Se presenta pico de carga de 5.100 kW oscilante. Motor #4 indisponible por reparación de throttle. G2 presenta detonaciones y se va a shutdown, sin oportunidad de bajar carga. Motores restantes salen de generación. Cto B se cierra tarde por daño de motor de arranque de G1.	Generadores	12/09/2018 10:59:00	12/09/2018 11:03:00	0:04:00
oct-18	744:00:00	Generadores/Falla Operación	Se presenta salida de sistema por falla conexión thottle A de G4. En rutina no se detecta desconexión continua y motor se apaga por falla de comunicación. G3 no soporta toda la carga del sistema.	Generadores	01/10/2018 7:15:00	01/10/2018 7:24:00	0:09:00
dic-18		Sistema 24 V	Operador presenta durante turno, apagado constante del PLC central, en revisión encuentra inversor en falla (posiblemente del día anterior no se percataron de esto y dejaron el sistema sin respaldo de baterías) interruptores arrojan falla 74 y se sale el sistema. Nuevamente se tarda en poder reestablecer cto B debido a motores de arranque	Generadores	18/12/2018 4:00:00	18/12/2018 4:49:00	0:49:00

Nota. Base de datos de la Planta de Generación.

Apéndice C

Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2019.

MES	HORA ME	No Falla	Clasificación	Equipo - Raíz	Causa	Carga Momento de Fala				Hora Inicio	Hora Final	TT	Descripción Causa - Raíz
mar-19	744:00:00	9	Motor	Motor No 2	Falla Mecánica	1355	1350	Ind	1300	30/03/2019 8:50:00	30/03/2019 8:53:00	0:03:00	Daño en Arcusaflex. Motor arrojó sobre velocidad
		18	Motor	Motor No 1	Falla de Control					29/05/2019 11:36:00	29/05/2019 11:40:00	0:04:00	Termocupla de rodamiento DE averiada ocasiona salida de Motor y sistema
may-19	744:00:00	19	Motor	Motor No 4	Falla Mecánica	1650	1650	1550	-	30/05/2019 10:04:00	30/05/2019 10:10:00	0:06:00	Se presentó daño en empaque de tapa ocasionando perdida de aceite y salida de motor por bajo nivel. Se deslastra cto A
		21	Motor	Motor No 1	Falla Mecánica					17/06/2019 8:40:00	17/06/2019 8:42:00	0:02:00	Detonaciones en G1 a causa de turbo frenado
jun-19	720:00:00	22	Motor	Motor No 1	Falla Mecánica	-	1700	1700	1650	18/06/2019 7:48:00	18/06/2019 7:52:00	0:04:00	Motor No 1 presentó falla de throttle al sincronizar y no da tiempo de deslastrar carga
		41	Motor	Motor No 1	Falla de Control	1200	Ind	1250	1150	12/08/2019 0:00:00	12/08/2019 0:00:00	0:00:00	Daño en sensor de Temp de HT
ago-19	744:00:00	44	Motor	Motor No 1	Falla Mecánica	1250	-	1250	1200	26/08/2019 18:05:00	26/08/2019 18:08:00	0:03:00	Falla en Turbo A3 de Motor No 1. Se deslastra un cto para evitar salida
		45	Motor	Motor No 2	Falla de Control	Ind	1250	1200	1150	27/08/2019 17:38:00	27/08/2019 17:40:00	0:02:00	Falla de Control Can Data Link en motor No 2
oct-19		51	Motor	Motor No 1	Falla Mecánica					29/10/2019 6:51:00	29/10/2019 8:25:00	1:34:00	Daño de Turbo B7
nov-19	720:00:00	55	Motor	Motor No 2	Falla de Control					14/11/2019 13:39:00	14/11/2019 13:46:00	0:07:00	Falla de Control Can Data Link en motor No 2
										14/11/2019 13:39:00	14/11/2019 13:45:00	0:06:00	

Nota. Base de datos de la Planta de Generación.

Apéndice D

Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2020 (parte 1).

MES	HORA MES	No Falla	Equipo - Raíz	Causa	Carga Momento de Fala			Hora Inicio	Hora Final	TI	Descripción Causa - Raíz	
ene-20	744:00:00	2	Motor No 2	Falla de Control	1147	1214	Ind	1100	07/01/2020 17:30:00	07/01/2020 17:45:00	0:15:00	Falla de control en Motor No 2. Pcc no muestra parametros
		4	Motor No 3	Falla de Control	900	-	850	950	08/01/2019 7:20:00	08/01/2019 7:25:00	0:05:00	Motor No 3 presenta averia en sensor de temperatura del Gearbox, mostrando alta temp
		14	Motor No 2	Falla Mecánica	1500	1500	1500		03/03/2020 14:12:00	03/03/2020 14:13:00	0:01:00	Motor No 2 presentó falla por Throttle y sobrecarga Motores No 1 y No 3. Se restable servicio al minuto con G4. Sin embargo en el ascenso de carga se decidió abrir Cto A por 8 minutos para evitar sobrecargas.
mar-20	744:00:00	17	Motor No 1	Falla de Control	1450	1400			19/03/2020 3:00:00	19/03/2020 3:01:00	0:01:00	Se presentó oscilación de carga en motor No 1, este tiene comportamiento de frenado soltando y recibiendo carga. Tema que ya se revisó el fin de semana y se encontró roce leve de turbo B7 adicional se verificará calibración de modulos 558 que en ocasiones anteriores fue causa del mismo sintoma
		18	Motor No 3	Falla Mecánica		1200		1200	28/03/2020 9:35:00	28/03/2020 9:37:00	0:02:00	G4 presentó detonaciones por lo cual se ingresó G3, sin embargo presentóa desv de temperatura en B9 luego de sacar G4 y arrastra sistema. Se realizó en días pasados cambio de bujia y bobina. Se programará cambio de termocupla
abr-20	720:00:00	20	Motor No 2	Falla de Control		900		900	08/04/2020 7:00:00	08/04/2020 7:03:00	0:03:00	Se presentó falla de comunicación en motor No 2 por CAN DATA LINK FAILURE código 781, sacando de generación el motor y el sistema por sobrecarga de la G4. Motor pemaneció sin mostrar parametros.
		37	Motor No 2	Falla de Control	1200	1200		1100	17/06/2020 10:04:00	17/06/2020 10:06:00	0:02:00	Se sale G2 por falla de control en sensor de presion del Gear-Box. Empalme realizado antes, se soltó

Nota. Base de datos de la Planta de Generación.

Apéndice E

Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2020 (parte 2).

MES	HORA MES	No Falla	Equipo - Raíz	Causa	Carga Momento de Fala			Hora Inicio	Hora Final	TT	Descripción Causa - Raíz	
jul-20	744:00:00	44	Motor No 1	Falla Mecánica	1100	Ind	1100	1100	28/07/2020 11:05:00	28/07/2020 11:13:00	0:08:00	Se presentó desv de temp en cilindro A1 de Motor No 1. Se evidenció que estaba trabajando con bujia convencional y resorte en mal estado. Se reemplaoa por bujia conv y nueva extensión
		50	Motor No 2	Falla de Control	1200	1200	0	1200	24/08/2020 0:00:00	24/08/2020 0:00:00	0:00:00	Se presentó falla por baja presión de aceite en bomba de GIB. Se presume daño de sensor
sep-20	720:00:00	54	Motor No 2	Falla de Control	1300	1350	Ind	1250	28/09/2020 15:20:00	28/09/2020 15:23:00	0:03:00	Motor No 2 presentó falla en Throttle por "Throt Ctrl Out of Adj" - "Throt Ctrl 2 Out of Adj" - "Throt Ctrl Cmd Shutd" - "Unknown Fault"
		55	Motor No 2	Falla de Control	1100	1100	Ind	1100	05/10/2020 10:20:00	05/10/2020 10:21:00	0:01:00	Motor No 2 presentó falla en Throttle por "Throt Ctrl Out of Adj" - "Throt Ctrl 2 Out of Adj" - "Throt Ctrl Cmd Shutd" - "Unknown Fault" - Se evidencia oscilaciones previas y Throttle Banco A se fue a 0
oct-20	744:00:00	56	Motor No 1	Falla de Control	1150	1150	Ind	1100	06/10/2020 8:36:00	06/10/2020 9:00:00	0:24:00	Motor No 1 presentó nuevamene falla de control "Can Child Com Incorrect". Estas señales se habían puenteado con un cable de control altemo por posible falla en ameses.
		58	Motor No 1	Falla de Control	1100	0	1100	1100	18/11/2020 17:02:00	18/11/2020 17:06:00	0:04:00	Aux Aldemar Acosta manifiesta que ingresó al cuarto de máquina No 1 a tomar los datos de operación del equipo debido a que HMI remota no le funcionan los botones, y dice que al momento de undir boton reset Motor se apagó



<http://www.sectorelectricidad.com/15471/como-se-mide-la-confiabilidad-de-un-sistema-electrico-que-son->

▶ ...
Eventos 2017
Eventos ZFB 2018
Eventos ZFB 2019
Eventos ZFB 2020
Eventos ZFB 2021
Eventos ZFB 2022
Análisis 3 ai ...
+
◀
Área del grá

Nota. Base de datos de la Planta de Generación.

Apéndice F

Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2021.

Mes	Fecha	TT	Descripción Causa - Raíz	Modo de falla	Equipo en falla
Ene	07/01/2021	0:09:00	Se presenta detonaciones en Cilindros A1 y A6. Se revisa estado de elementos Ok. Bujías Larga vida con 3500 h de uso. Pdte. Monitoreo de Bobinas. Se cambió bobina.	Bobina fuera de vida útil	Bobina
Ene	25/01/2021	0:01:00	Motor 3 presentó desviación en B7. Operador sincronizó G4 y evitó falla de sistema. Sin embargo, luego durante prueba apagó el Motor 4 y volvió a fallar el motor. Se evidenciaron filtros de aire muy saturados, se cambiaron. Se realizó ajuste de mezcla.	Saturación de Filtro	Filtro de aire
Feb	03/02/2021	0:01:00	Falla de Motor 2 por alarma de Throttles fuera de ajustes. Se encontró cableado de control averiado con partes del conductor expuestas, se normalizó condición.	Falla Cableado Throttles	Throttles
Feb	03/02/2021	0:03:00	Motor 4 presentó falla por alta presión de gas y desviación inminente en puesto B2. Se inició revisión sobre la causa raíz del tema. Se identificó problema en la bobina y se cambió.	Bobina fuera de vida útil	Bobina
Mar	19/03/2021	0:03:00	Falla de Motor 4 por detonaciones en B8 seguido de alta presión de Gas. Por experiencia anterior en el tipo de falla se presume falla de la bobina de ignición, por lo cual se cambió.	Bobina fuera de vida útil	Bobina
Abr	14/04/2021	39:00:00	Se detectaron laines en el piso del cuarto de motores del generador 2 y altas vibraciones. Se puso fuera de servicio la máquina, se inspeccionó y se identificaron laines del acople flexible gearbox - alternador en mal estado. Se instalaron laines de Alfacer.	Fractura Laines Acople	Gearbox
Abr	17/04/2021	51:00:00	Durante la inspección del generador 2 se detectó tornillo de soporte del motor puesto A1 fracturado, se realizó extracción y cambio para normalizar condición.	Fractura Tornillo de Soporte	Motor
Sep	10/09/2021	0:02:00	Se Salió G3 por under frequency load dump, se revisó Arcusaflex encontrando todo normal, al parecer fue una oscilación fuerte lo que ocasionó la salida del generador, se sincronizó sin novedad. Se debe programar calibración de mezcla.	Calibración de Mezcla	Módulo de Control
Sep	11/09/2021	0:02:00	Se salió G1 por falla de comunicación al momento de tomar datos, la HMI indicó: Estableciendo comunicación y se salió G1. No hubo salida de sistema, la G2 y la G3 asumieron sin novedad.	En investigación	Motor
Sep	18/09/2021	0:04:00	Se presentó falla en G3 sacando sistema, al momento de la verificación en los Sepam se observó falla en 1 y 2 tensión -59 y en 3 frecuencia 81m y mostrando falla en los cierres de G1 y G2, en G3 apagado controlado. Se recuperó el sistema con las tres plantas.	Calibración de Mezcla	Módulo de Control
Sep	18/09/2021	0:02:00	Se salió nuevamente sistema por G3, al momento de la verificación en los Sepam se observó la falla en 1 frecuencia 81m en 2 tensión -59 y en la 3 retorno p-32p, se llegó a la conclusión que el primer evento fue la causa raíz. Se dejó G3 por fuera y se retoma operación con G1 y con G2.	Calibración de Mezcla	Módulo de Control
Sep	19/09/2021	0:01:00	Se salió G3 por desviación del factor de potencia, sacando al sistema. Se logró retomar con G2 la cual se encontraba disponible luego que se le realizara mantenimiento.	Calibración de Mezcla	Módulo de Control

Sep	19/09/2021	0:01:00	Se salió G2 por falla de desviación de temperatura en puesto A5 (EGT 9(A5) Abnormal rate) ocasionando salida del sistema. Se restableció con G3 y con G1. Se sincronizó G2 por la no confiabilidad de G3.	Falla en Bobina	Bobina
Sep	19/09/2021	0:03:00	Se sincroniza G3 y se aplicó low demand a G2 por desviación en puesto A5 el cual se ataca enseguida. Al momento de estar interviniendo G2 se salió G3 ocasionando salida del sistema. Se restableció con G1 y con G2 quedando normal. Al revisar G2 se encontró extensión de bobina del tipo pin con el caucho dilatado por temperatura y con el pin por debajo de su nivel idóneo. Se cambió éste quedando operativo.	Falla en Bobina	Bobina
Sep	20/09/2021	0:00:00	El 20/9/2021 se decidió sacar de servicio la G3 por los siguientes síntomas: Cilindro B5 caída de avance de chispa menor a 15, Oscilación de carga en rampa de subida (100 - 800), Oscilaciones mecánicas y eléctricas en throttles - FCV saltos grandes y saltos en FP (0.94 a 1), Falla en Gas Flow Incorrect y Gas Flow 2 incorrect. Para estos temas se han realizado las siguientes actividades: Verificación de la corredera volante, corrección de conexiones sensor de velocidad y cambio de relevo de señal de solenoide de gas.	Falla en Relé de Solenoide gas	GIB
Sep	20/09/2021	0:01:00	Se salió generadora por falla (engine hot shutdown) se verificaron estados prendiéndola en vacío y se sincronizó de nuevo. Se revisó posible falla en conexiones del GIB. Se revisó diferencia de voltaje entre HMI y valor real de 23.8 y 25.4 Se detectó cableado PCC TB 10 suelto. Se corrigió situación / Limpieza conectores IC red señal) / Tarjeta 101 limpieza de pines a bornera por suciedad de aceite / se reforzó cable GIB 24 V con cubierta aislante.	Falla Cableado PCC TB 10	GIB
Sep	20/09/2021	120:00:00	El 20/9/2021 se decidió sacar de servicio la G#3 por los siguientes síntomas: Cilindro B5 con caída de avance de chispa menor a 15, Oscilación de carga en rampa de subida (100 - 800), Oscilaciones mecánicas y eléctricas en throttles - FCV saltos grandes y saltos en FP (0.94 a 1), Falla en Gas Flow Incorrect y Gas Flow 2 incorrect. Para estos temas se han realizado las siguientes actividades: Verificación de corredera de la volante, corrección de conexiones del sensor de velocidad y cambio del relé señal de solenoide de gas. Se realizaron las siguientes actividades el proveedor del servicio: Calibración de throttles, cambio de base KM12 y KM15, se realiza ajuste de mezcla quedando a 9.02%	Falla en Relé de Solenoide Gas	GIB
Sep	21/09/2021	0:02:00	Se salió generadora por falla (engine hot shutdown) se verificaron estados prendiéndola en vacío y se sincronizó de nuevo. Se revisó. Posible falla en conexiones del GIB. Se inspeccionó la diferencia de voltaje entre HMI y valor real de 23.8 y 25.4 Se detectó cableado PCC TB 10 suelto se realizó corrección de esta situación / Limpieza conectores IC (red señal) / Tarjeta 101 limpieza de pines a bornera por suciedad de aceite / se reforzó cable GIB 24 V con cubierta aislante.	Falla Cableado PCC TB 10	GIB
Sep	21/09/2021	0:04:00	Se salió generadora por falla (engine hot shutdown) se verifican estados prendiéndola en vacío y se sincronizó de nuevo. Se revisó posible falla en conexiones del GIB se coordinará revisión. Se revisó diferencia de voltaje entre HMI y valor real de 23.8 y 25.4 Se detectó cableado PCC TB 10 suelto. Se realizó corrección de esta situación / Limpieza conectores IC (red señal) / Tarjeta 101 limpieza de pines a bornera por suciedad de aceite / se reforzó cable GIB 24 V con cubierta aislante.	Falla Cableado PCC TB 10	GIB
Oct	04/10/2021	0:30:00	Salió alarma de bajo voltaje en HMI, pero se revisaron voltajes en la PSU y la reguladora y todo bien, se limpió conector J20 y demás con limpia contactos, se encendió quedando operativa.	Bobinado Alternador	Alternador
Oct	04/10/2021	541:00:00	En recorrido por planta se encontró fuga de aceite en bomba de prepublicación se observó el retenedor expulsado, posibles causas pueden ser el retenedor, una falta de empaque o falla interna de la bomba. Se recomienda cambio del componente menor.	Falla Retenedor-Bomba de Prepublicación	Bomba de Prelubricación
Oct	12/10/2021	855:00:00	Se presentaron oscilaciones fuertes en la tensión y en el factor de potencia, se hizo inspección visual de tablero de control del alternador, se hizo ajuste de conectores en el AVR, inspección visual en conectores de excitatriz y PCC 3300. Se encontró un conector del AVR flojo / Se midió aislamiento del alternador, se inspeccionó la QM, se revisaron diodos rectificadores. Se reemplazaron los seis diodos, se limpió el estator excitatriz.	Bobinado Alternador	Alternador

Oct	14/10/2021	0:02:00	Se encendió G3 por aumento de carga, pero al momento de buscar sincronismo salió falla de cierre, se abrió el interruptor, nuevamente se encendió y se logró sincronizar con G1 y con G4. Todo conforme.	Falla Interruptor	Interruptor de Potencia
Oct	20/10/2021	0:11:00	Se salió G4 por falla (EGT10 (B5) Abnormal rate) arrastrando el sistema, carga al momento del evento 2300 kW, se intentó encender G3 pero respondió, se intentó girar y no tenía piñón de giro, la G2 no respondió por falla de alta presión de gas, se despresurizó y no dio arranque, se pasó piñón de giro de G1 a G3 y el motor de arranque no respondió, se pasó la bomba de prepublicación de G2 a G1, la G2 entró en línea, se encendió G1 y se sacó G2, se intervino G4 encontrando extensión de bobina con pin de contacto a la bobina aislado, se cambió extensión de bobina quedando disponible, se intervino G3 impulsando solenoide del motor de arranque con una palanca aislada, el motor giró y se probó en manual quedando disponible.	Falla Extension de Bobina	Bobina
Oct	24/10/2021	0:03:00	Salida de sistema ocasionada por falla en G4 (EGT A4 Abnormal rate), a su vez sacó a G1 por sobrecarga, en el momento 1850 kW. Se restableció el sistema con G1 y con G3. Se intervino puesto A4 de G4 encontrando contacto principal de bobina de ignición partido debido a alta temperatura ocasionando la fuga de su aceite refrigerante en plena operación. Se reemplazó por otra bobina de ignición.	Falla de Bobina	Bobina
Oct	25/10/2021	0:03:00	Salida del sistema por fuerte detonación en puesto B5 G#3 (Knock 10 B5 critical Hi) sacando al motor G1 por sobrecarga. Se realizó cambio de culata puesto B5.	Falla en Culata	Culata
Oct	31/10/2021	7:00:00	Continuando con la revisión de los eventos en el puesto B5 de la G3, los cuales ocasionaban caída del avance de chispa, se hicieron las siguientes actividades: Calibración de mezcla, cambio de bujía, cambio de bobina, cambio de termocupla, revisión del módulo de ignición. Se procedió a realizar cambio de culata debido a las evidencias encontradas en el asiento de la culata, se observa quemado excesivo producido por paso de aceite.	Falla en Culata	Culata
Nov	03/11/2021	5:00:00	Falla de bomba de prepublicación, sacó retenedor en G4. Se desmontó retenedor de la bomba y se realizó cambio por retenedor en stock, se realizó montaje en G1.	Falla Retenedor-Bomba de Prepublicación	Bomba de Prelubricación
Nov	03/11/2021	0:02:00	Salida del sistema por fuerte detonación en puesto B5 G4 (Knock 10 B5 critical Hi) sacando al motor G1 y al motor G4 por sobrecarga. Se tiene programado una calibración de mezcla del motor por parte del representante de la marca.	Calibración de Mezcla	Módulo de Control
Nov	06/11/2021	0:00:00	Mientras se efectuaba calibración de mezcla del motor G#4 se realizó modificación de parámetro y al momento de intentar sincronizar nuevamente el equipo, hubo problema en el sincronismo lo que ocasionó una perturbación en los motores sacando el sistema.	En investigación	Motor
Nov	13/11/2021	11:00:00	Continuando con la revisión de los eventos en el puesto B5 de la G3 los cuales ocasionaban caída del avance de chispa, se hicieron las siguientes actividades: Calibración de mezcla, cambio de bujía, cambio de bobina, cambio de termocupla, revisión de módulo de ignición. Se procedió a realizar cambio de culata debido a las evidencias encontradas en el asiento de la culata, se observó quemado excesivo producido por paso de aceite. Se siguió presentando evento en puesto B5 de la G3 por lo que se realizó levantamiento de línea de potencia identificando el paso de aceite, los anillos estaban encontrados y el del medio tenía un gap mayor que el estándar (1.2 mm vs 1.4 mm). Se procedió a cambiar anillos y sellos de camisa.	Falla Anillo del Pistón	Cilindro

Nov	13/11/2021	24:00:00	Cuando comenzaron las pruebas en vacío, el motor presentó oscilaciones (no permitió al momento de intentar sincronizar). Se revisó Throttle intercambiándolo con el del motor G2 funcionando correctamente, adicionalmente se revisaron sensores de posición y de velocidad y se revisó el interruptor. El representante de motores revisara calibración de control. Se identificó desgaste en corredera volante se debe programar cambio.	Interferencia Sensor de Posición	Sensor de posición volante
Nov	17/11/2021	0:10:00	Se salió G4 por (Knock 2 (B1) Critical Hi). al momento de la salida quedaron G1 y G3 con carga de 3650 kW aproximadamente. Se toma la decisión de abrir circuito A para evitar salida total del sistema. Se intervino G4 realizando cambio de extensión en puesto B1 ya que era de pin (en mal estado). Se habilitó G4 para sincronizar y al final de la tarde se realizó mantenimiento completo a todas las bobinas y extensiones de la G4.	Falla Resorte Extension de Bobina	Bobina
Nov	19/11/2021	0:04:00	Se salió G4 por (Knock) Critical Hi) en algunos puestos. Al momento de la salida quedaron G1 y G3 con carga de 3850 kW aproximadamente. Se tomó la decisión de abrir circuito A al instante para evitar salida total del sistema. Se sincronizó de nuevo G4. (13:17 se sincronizó G4 y se cerró circuito A, a las 13:24 se salió G4 arrastrando al sistema de nuevo, a las 13:28 se prendió G1 cerrando el circuito A, a las 13:32 se sincronizó G4 y se cerró el circuito B. El motor de arranque de G3 falló y se procedió a cambiar por el de bodega, a las 14:15 se sincronizó G3 y se aplicó low demand a G4.	Saturación de Filtro	Filtro de aire
Nov	24/11/2021	0:05:00	G4 entregó carga como si se aplicara low demand, se abrió circuito A para evitar salida del sistema por completo, se revisó G4 no se encontró nada. A las 11:31 se sincronizó G4 y se cerró el circuito A.	Cable partido Rotor al poste del Varistor	Alternador
Nov	24/11/2021	0:03:00	G4 empezó a entregar carga y se salió mostrando alarma (Genset CB fail to close, se intentó prender en vacío, al momento de aumentar a 1500 rpm salió alarma de excitation fail, se verificaron y se midieron varistores y puentes diodo, AVR, voltaje PMG. En la inspección se observó que una de las líneas que va desde la excitatriz a un varistor estaba partida, se reparó la línea y se cambió el varistor quedando disponible.	Varistor con cable desprendido	Alternador
Nov	25/11/2021	0:01:00	A las 10:37 se salió G4 por detonaciones fuertes en puesto A1. A las 10:38 se encendió G1 y se cerró el circuito A. A las 10:45 se sincronizó G3 y se cerró el circuito B. G4 quedó disponible. Se le atribuyó la falla a la pérdida de potencia en un turbocompresor por un problema en la Válvula Bellows.	Fractura de Bellows	Motor
Nov	26/11/2021	0:10:00	Se procedió a encender G4 por alta carga, pero no encendió por problemas en el contactor de cierre del motor de arranque. Se instaló el contactor de la G3.	Contactor con cierre pegado	Motor de Arranque
Nov	27/11/2021	112:00:00	Inconvenientes con el deslastre de carga, se identificó pérdida de aislamiento en el alternador. A la espera con el proveedor para realizar las pruebas respectivas. Se encontró problema de aislamiento en el alternador G4. Se tomó la decisión de utilizar el alternador 2 que vino del overhaul para instalarlo en esta posición, se envió alternador 4 a overhaul.	Bajo Aislamiento del Rotor Excitatriz	Alternador
Nov	28/11/2021	0:03:00	Se salió G1 por desviaciones de temperatura en los puestos A1 Y A5 deslastrándole la carga a G3 ocasionando que salida del sistema.	En investigación	Motor
Dic	09/12/2021	0:17:00	Motor no sobrepasó 250 rpm y se apagó, se verificaron conectores de los sensores de las FCV, modulo 558, sensor de rpm, relevos de ignición, se le dio arranque y continuó con la falla, se reiniciaron los módulos IC. Después de varios intentos encendió la unidad, se pasó a automático y se sincronizó.	Falla de Comunicación	Módulo de Control

Dic	25/12/2021	3:30:00	Motor no sobrepasó 250 rpm y se apagó, se verificaron conectores de los sensores de las FCV, modulo 558, sensor de rpm, relevos de ignición, se le dio arranque y continuó con la falla, se reiniciaron los módulos IC. Después de varios intentos encendió la unidad, se pasó a automático y se sincronizó.	Fuga de Aceite	Turbocompresor
-----	------------	---------	--	----------------	----------------

Nota. Base de datos de la Planta de Generación.

Apéndice G

Salidas de Circuitos por Fallas en Grupos Electrógenos en 2022.

Fecha	Mecanismo de falla	Síntoma	TT	Descripción Causa – Raíz	Modo de falla	Equipo en falla
09/01/2022	Falla Eléctrica	Desviaciones	0:03:00	Se salió el sistema por falla de desviación de temperatura en el puesto B3 de G1. Se procedió a restablecer con G3 y con G2, a los 13 minutos se sincronizó G4 para inspeccionar el puesto B3 de G1, encontrando la bobina floja, la extensión era de pin y estaba hundido, se le instaló una extensión convencional y se probó en vacío y luego con carga.	Falla en Extensión de Bobina	Bobina
11/01/2022	Falla Instrumentación y Control	Perdida de Señal	2:42:00	Se salió el sistema por falla en G1, oscilación de carga y entrega de carga súbita. Se restableció sincronizando G4 y G2, cerrando ambos circuitos, se revisó G1 encontrando cables del sensor de presión del gearbox desgastados, se corrigieron, se limpió conector de este mismo, se encontró en el GIB conector en mal estado (seguro del alojamiento partido), se colocó amarre. Se realizó revisión de falla por baja presión de aceite en el Gearbox, cable de control entregando señal inadecuada, se identificó conector a GIB flojo, se corrigió la condición y se continuaron pruebas en el motor. Se cambió Arnés por el de Alfacer.	Falla en el Conector del Sensor de Presión	GIB
12/01/2022	Falla Instrumentación y Control	Parada súbita	4:10:00	Se sacó G1 porque empezó a deslastrar la carga asumiendo G2 y G3 sin novedad, se sincronizó G4 asumiendo normal. Se realizó revisión de falla por baja presión de aceite en el Gearbox, cable de control entregando señal inadecuada, se identificó conector a GIB flojo, se corrigió la condición y se continuaron pruebas en el motor. Se cambió Arnés por el de Alfacer.	Falla en el Conector del Sensor de Presión	GIB
13/01/2022	Falla Instrumentación y Control	Desviaciones	0:00:07	Al sincronizar G2, la G3 arrojó desviación de temperatura en el puesto B5 debido al cambio brusco que tuvo al entregar su carga, G3 se salió por lo anterior. Luego G2 trató de estabilizarse, pero se salió por "Genset CB fail to close". Se disparó Relé Sepam (freq 81). Antes de la salida del sistema se logró encender G1 y ésta restableció el sistema a los siete segundos con ambos circuitos.	En investigación	Motor

14/01/2022	Falla Eléctrica	Batería Baja	0:15:00	G2 mostró alarma por Low Battery Voltage, se revisó voltaje de alimentación de la PCC y se encontraba en 20,1 Vdc. Se verificó conexión de baterías, alimentación de reguladora sin novedades, se identificó luz de testigo en fusible (F7) del GIB parpadeando al tocarlo y se subió el voltaje a 25 V. Se reemplazó fusible (5 A) y se normalizó la condición.	Falla en Fusible	GIB
17/01/2022	Falla Instrumentación y Control	Perdida de Señal	0:02:00	Se salió el sistema por falla desconocida, se procedió a restablecer el sistema con G1 y cerrando el circuito B. Se asumió una carga de 820 kW y nuevamente se salió sistema. Se realizó revisión de falla por baja presión de aceite en el Gearbox, se revisó cableado de control dando la señal adecuada, se identificó conector a GIB flojo, se corrigió la condición y se continuaron las pruebas en el motor. Se realizó puente las borneras de la tarjeta 101 - 4 borneras 7 y 8. Se cambió el arnés por el de Alfacer.	Falla en Conector del Sensor de Presión	GIB
17/01/2022	Falla Instrumentación y Control	Perdida de Señal	0:05:00	Se salió G1 sola sin presentar salida del sistema, ya que las máquinas G2 y G4 asumieron la carga que quedó en el sistema porque se logró abrir el circuito A. Por orden del Ing. Andrés Gómez se cerró el circuito A y en ese momento se salió todo el sistema. En conclusión, se logró diagnosticar que la falla la causó la G1 por desgaste en el alojamiento del conector del sensor de presión del Gearbox. Cuando se encontraban en sincronismo las máquinas, se abrió circuito A para ingreso de carga y se salió el sistema por sobretensión. La causa se identifica por picos de corriente del cliente de mayor consumo del circuito A. Se intentó cierre de circuito A y se disparó por diferencial la fase 1.	Falla en Conector del Sensor de Presión	GIB
18/01/2022	Falla Instrumentación y Control	Perdida de Señal	17:00:00	Se presentó salida de motor G2 por falla en comunicación del Throttle, se quedaba en 0, realizamos la verificación y se encontró cableado del arnés principal deteriorado (cableado sucio con aceite y pelado). Adicionalmente, se encontró el Módulo 558 lado B con conexiones flojas. Se probó y se salió nuevamente por Throttle. Se intercambiaron puestos A y B del Throttle cambiando la falla en B, se realizaron pruebas del Throttle en otro motor para descartar falla. Se realizó revisión y se encontró falla en el Throttle. Quedó G4 indisponible.	Falla en Módulos y en Throttle	Throttles
18/01/2022	Falla Instrumentación y Control	Perdida de Señal	164:00:00	Se recibió Throttle reparado por el contratista, se instaló en banco A de la G#4 y se realizaron pruebas normalizando la condición.	Falla en Módulos y en Throttle	Throttles

04/02/2022	Falla Instrumentación y Control	Detonaciones	1:00:00	Se salió el sistema por salida de G3 ocasionada por falla del sensor de flujo másico lado no conducido de la máquina, además se encontró el sensor de temperatura del múltiple de entrada flojo y con mucha ceniza, se corrigió el sensor de flujo con amarres plásticos y se normalizó el sensor del múltiple limpiándolo, se probó quedando conforme. Se salió G3, inicialmente presentó alarma en el sensor de flujo masico de gas se verificaron sensores, en la revisión se detectó sensor del múltiple flojo. Esto pudo ser la causa raíz del evento ya que ocurrieron detonaciones por alta temperatura que el sensor no mostró y no fue posible intervenir a tiempo.	Falla Sensor de Temperatura Múltiple	Sensor de Temperatura Múltiple
12/02/2022	Falla Instrumentación y Control	Aceleraciones	1:56:00	Se salió G2 por falla (throt ctrl of adj) (throt ctrl cmt shutd) asumiendo carga G1 y G3, se procedió a encender G4 quedando en sincronismo. Se realizaron limpiezas de los conectores de los Throttles, reiniciando fallas, se sincronizó de nuevo G2 y se salió por la misma falla a los seis minutos. Se realizó cambio de Throttle del puesto A de G4 con el puesto A de G2. Se normalizó G2. La G#4 quedó indisponible el día 14/02/2022, se lubricaron los bujes con WD40, se realizó recalibración y se instalaron.	Falla Cableado Throttles	Throttles
12/02/2022	Falla Eléctrica	Desviaciones	0:03:00	Se salió G4 por desviación de temperatura en el puesto B2, se reinició y se sincronizó de nuevo, luego en el puesto cayó la temperatura a 453° C, se le dieron golpes de carga y se recuperó de nuevo, a las 3:01 se apagó G4 y se intervino el puesto verificando bujía y bobina, B2 bobina en puesto B1 y bujía en puesto B3.	En investigación	Motor
04/04/2022	Falla Instrumentación y Control	En investigación	0:07:00	Se salió G3 mostrando solo Engine hot shutdown. Se hizo revisión en el GIB y los conectores de módulos encontrando todo bien.	Falla de Relevó	GIB
05/04/2022	Falla Instrumentación y Control	Lectura anormal de Instrumentación	1:13:00	Se salió G3 mostrando Engine hot shutdown acompañada de Int Man Tmp Abnrml. Se procedió a cambiar el Sensor de Temperatura del múltiple. Al momento de tratar de arrancar nuevamente, el Motor de arranque falló por daño en el Piñón del Béndix. Se procedió a desmontar el Motor de Arranque y se instaló el de bodega..	Falla Sensor de Temperatura Manifold	Sensor de Temperatura Manifold

12/04/2022	Falla Eléctrica	Parada súbita	0:00:45	Se salió G# por falla desconocida. HMI mostró múltiples fallas por posible pérdida de alimentación 24 Vdc en el control. Se realizó inspección en todas las tarjetas auxiliares y PCC 3.3 sin encontrar nada anormal. Se revisó PSU a la cual le entran 440 V y de salida 24 V, pero se encontró salida en 29 V, se realizó ajuste del potenciómetro y se reguló a 24 V. Se colocó PSU y la reguladora de la G4 en G3. Se realizaron pruebas de G3 fuera del motor y se instalaron en G4. Se encontró puenteada la reguladora G3 y la salida de las baterías averiada.	Descalibración de PSU	PSU
12/04/2022	Falla Instrumentación y Control	Parada súbita	0:01:00	Se salió el sistema por falla de pérdida de 440 V y se apagó la pantalla de la G3 y se salió todo el sistema, se restableció el sistema con la G1 cerrando ambos circuitos todo normal. Se instaló motor extractor. Hubo un disparo de 24 V en todas las máquinas DC power supply, se conectó instalación se aterrizó el 440 V.		
17/04/2022	Falla Instrumentación y Control	Falla Sincronización	7:40:00	Problema de sincronización de la G3, se intentó cerrar sin poder realizarlo, no encontraba sincronismo. Se encontró oscilación de tensiones hasta 13900 (valor nominal 13600). Se limpiaron los relevos, se colocaron las siguientes partes de G4 en la G3: PCC3300, CM700, Tarjeta Auxiliar de AVR, Tarjeta Auxiliar 101, se realizaron múltiples pruebas, la máquina arrojó la misma falla en el sincronismo y por este motivo se volvieron a colocar los componentes de la G4 en su lugar, se calibraron los Throttles, se revisó el sensor de velocidad, se realizó limpieza, se encendió y se pasó a 1500 rpm, continuaron las oscilaciones, se procedió a pasar a modo automático, la máquina logró sincronizar, corrigiendo sus oscilaciones y manteniendo parámetros operacionales de funcionamiento.	Desajuste de Sensor de velocidad	Sensor de Posición Volanta
21/04/2022	Falla Mecánica	Detonaciones	0:02:00	Salida del sistema por detonaciones en G3, luego salió alarma (load dump) se salió debido a la alta temperatura al ingreso de la mezcla, sacando el sistema. Se restableció el sistema con G#1 y G#2.		
03/05/2022	Falla Eléctrica	Falla Arranque	0:40:00	Al momento de intentar sincronizar la G3 falló el Motor de Arranque por calentamiento y botando humo. A las 06:11 se abrió el circuito A para evitar salida del sistema, se procedió a desmontar el Motor de Arranque de la G4 y se instaló en G3 sin novedad. A las 6:35 se encendió G3 mostrando parámetros operacionales y se sincronizó de manera normal.		

03/05/2022	Detonaciones	0:47:00	Se salió el sistema completo por fuertes detonaciones en la G1 y por Sensor de Presión de HT ocasionando salida de G2 y de G3 por sobrecarga, se reiniciaron los equipos, encendiendo de nuevo con G3 y cerrando el circuito B, se sincronizó G2 y se cerró el circuito A. G1 presentó problema con el Sensor de Presión, se procedió a cambiarlo y a adicionarle refrigerante, se sincronizó de nuevo, quedando tres unidades operativas.
	Sobrecarga		

Nota. Base de datos de la Planta de Generación.