

Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM – para los Grupos Electrónicos de  
Modelo QSX15 de la compañía Copower Ltda.

Gustavo Alberto Amaya Nossa

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

Director

Daniel Ortiz Plata

Magister en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2026

### **Dedicatoria**

A Dios, por todas sus bendiciones que nos da cada día, por la oportunidad de vivir y tener una Familia.

Dedico este logro a mis Padres, que siempre han creído en mí, y me han brindado su apoyo incondicional; a pesar de que mi Padre ahora está en el cielo, sé que continúa acompañándome en cada momento de mi vida.

A mi Esposa y mi Hijo, quienes llegaron a complementar mi vida, dándome su apoyo incondicional y motivación para cada día lograr nuevas metas.

### **Agradecimientos**

Agradezco profundamente a mis Padres quienes siempre han sido un apoyo incondicional, por sus palabras de motivación.

A mi Esposa, por su paciencia, por estar siempre conmigo apoyándome incondicionalmente a lograr mis metas, a mi hermoso Hijo, quien con su alegría me inspira a lograr mis metas.

A la empresa Copower Ltda por facilitarme el tiempo y darme los espacios necesarios para asistir a clase y a las diferentes actividades académicas, para cumplir con los requisitos del programa.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarme una educación de calidad y permitirme crecer profesionalmente en esta área de la ingeniería.

A mi director de proyecto de grado el Ingeniero Daniel Ortiz Plata, por orientarme con claridad, para desarrollar este proyecto de grado de manera satisfactoria.

A todos los integrantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica y especialmente a los integrantes de la especialización de gerencia de mantenimiento que hacen posible la especialización.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	13
1. Objetivos.....	16
1.1 Objetivo General.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. Justificación del Plan Propuesto .....	17
3. Análisis de la Literatura .....	18
3.1 Marco Teórico.....	18
3.2 Marco Conceptual.....	19
3.2.1 Mantenimiento Preventivo.....	20
3.2.2 Modo de falla .....	20
3.2.3 Mecanismo de Falla .....	20
3.2.4 Falla.....	20
3.2.5 Falla Oculta.....	20
3.2.6 Contexto Operacional .....	20
3.3 Marco Legal .....	21
4. Metodología .....	22
4.1 Preliminares .....	22
4.2 Desarrollo.....	23
4.3 Características del Grupo Electrónico QSX15.....	23
4.4 AMEF Análisis del Modo y Efecto de Fallas .....	24
4.4.1 Definición de las Fronteras .....	24

4.4.2 Análisis Funcional .....	25
4.4.3 Entradas, Salidas y Funciones.....	26
4.4.4 Análisis de Riesgos .....	40
4.4.5 Actividades de Mantenimiento .....	47
4.5 Listado de Repuestos y Stock Mínimo .....	58
4.6 Costos de los Mantenimientos Correctivos.....	72
4.6.1 Costos por Concepto de Repuestos.....	72
4.6.2 Costos por Conceptos de Mano de Obra y Logística.....	75
5. Conclusiones.....	76
6. Recomendaciones .....	78
Referencias Bibliográficas .....	79

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Elemento de estudio, condiciones operacionales y ambientales</i> .....	26
Tabla 2 <i>Entradas, salidas, funciones y falla funcional del grupo electrógeno QSX15</i> .....	27
Tabla 3 <i>Modos y efectos de falla, análisis de consecuencias y riesgos, acción correctiva</i> .....	28
Tabla 4 <i>Análisis de Riesgos</i> .....	41
Tabla 5 <i>Actividades de mantenimiento</i> .....	50
Tabla 6 <i>Listado de partes y clasificación según su uso y disponibilidad en el mercado</i> .....	58
Tabla 7 <i>Elementos requeridos para la corrección de fallas</i> .....	73
Tabla 8 <i>Costos de mantenimientos correctivos por concepto de mano de obra y logística</i> .....	75

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Jerarquización del grupo electrógeno QSX15</i> .....	22
Figura 2 <i>Grupo electrógeno QSX15</i> .....	24
Figura 3 <i>Definición de fronteras del grupo generador QXS15</i> .....	25
Figura 4 <i>Matriz de análisis de riesgos</i> .....	41
Figura 5 <i>Diagrama de decisión RCM</i> .....	49

## **Lista de Apéndices**

**Apéndice A.** Definición de funciones

**Apéndice B.** Análisis de modos y efecto de fallas

**Apéndice C.** Matriz de riesgos

**Apéndice D.** Listado de repuestos

**Apéndice E.** Costo de repuestos

**Apéndice F.** Costo de mano de obra

Nota. Los apéndices están adjuntos

## Glosario

**Alternador:** elemento eléctrico que transforma la energía mecánica generada por el motor de combustión interna en energía eléctrica en forma de corriente alterna, parte esencial para el funcionamiento de los grupos electrógenos.

**Bancada:** base del motor donde se monta y asegura el cigüeñal; además, cumple un papel fundamental en el sistema de lubricación.

**Buje:** es un elemento que aloja y sirve para que se deslicen ciertos componentes mecánicos, como los ejes de levas de válvulas e inyectores.

**Biela:** es el componente que une al pistón con el cigüeñal y convierte el movimiento lineal en rotativo en el cigüeñal.

**Grupo Electrónico:** sistema conformado por un motor de combustión interna acoplado a un generador eléctrico, cuya función principal es suministrar energía eléctrica de manera independiente, actuando como fuente primaria ante fallos o ausencia de la red eléctrica convencional.

**Inyector:** pulveriza el combustible diésel mezclándolo con el aire en la cámara de combustión.

**Lubricante:** sustancia que se utiliza principalmente para reducir la fricción entre piezas móviles y protegerlas del desgaste, en componentes como cojinetes, cigüeñales y ejes de levas.

**Manual del fabricante:** documento que contiene especificaciones técnicas, incluyendo lista de componentes, instrucciones de operación, rutinas de mantenimiento y guías para la reparación del equipo o maquinaria.

**Overhaul:** reparación mayor de un motor de combustión interna, en la cual se reemplazan o restauran la mayoría de sus componentes críticos, con el objetivo de devolver el motor a condiciones funcionales equivalentes a las de Fábrica.

**Repuesto:** componente utilizado para reemplazar un elemento que ha cumplido su vida útil o que presenta fallas en un equipo.

**Vibración:** movimiento oscilatorio de componentes, como los cojinetes rodantes, poleas y bombas de aceite o agua, cuya medición permite detectar fallas incipientes y anticiparse a ellas.

## Resumen

**Título:** Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM – Para Los Grupos Electrónicos de Modelo QSX15 de la Compañía Copower Ltda. \*

**Autor:** Gustavo Alberto Amaya Nossa \*\*

**Palabras Clave:** RCM, Mantenimiento centrado en confiabilidad, AMEF, mantenimiento preventivo, grupo eléctrico, motor QSX15, alternador.

**Descripción:** Esta monografía tiene como propósito formular un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para los grupos eléctricos modelo QSX15 de propiedad de la empresa Copower Ltda. Estos equipos cumplen una función clave como fuente principal de energía en proyectos industriales y especialmente en sectores con altas exigencias de continuidad como el Oil & Gas.

La propuesta surge ante la necesidad de mejorar los niveles actuales de disponibilidad y confiabilidad, ya que se han presentado algunas fallas que generan paradas no programadas, costos adicionales y afectación a los compromisos operativos. A partir del análisis técnico de los equipos y la recopilación de información operativa, se identifican los modos de falla más representativos y se establecen acciones de mantenimiento preventivo ajustadas a los ambientes de trabajo de los equipos.

Adicionalmente, sugiere prácticas para optimizar el manejo de repuestos y consumibles, priorizando aquellos componentes que tienen mayor impacto y rotación dentro de la operación. Esto permitirá mejorar la eficiencia del mantenimiento y reducir los tiempos de respuesta frente a fallas.

El resultado final es un plan diseñado para adaptarse a las condiciones y necesidades específicas de Copower Ltda., orientado a tomar decisiones técnicas más acertadas, evitar paradas inesperadas y extender la vida útil de los grupos eléctricos.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Daniel Ortiz Plata. Magister en Gerencia de Mantenimiento.

### Abstract

**Title: Reliability-Centered Maintenance Plan – RCM – for QSX15 Generator Sets of the Company Copower Ltda.\***

**Author(s): Gustavo Alberto Amaya Nossa\*\***

**Key Words: RCM, reliability-centered maintenance, RCM, preventive maintenance, generator set, QSX15 engine, alternator.**

**Description:** This monograph aims to develop a maintenance plan by applying the Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology to the QSX15 model generator sets owned by Copower Ltda. These units play a crucial role as the main power source in industrial projects, particularly in sectors that demand high operational continuity, such as the Oil & Gas industry.

The proposal arises from the need to enhance the current levels of availability and reliability, as several failures have led to unplanned shutdowns, additional costs, and impacts on operational commitments. Based on a technical analysis of the equipment and the collection of operational data, the most representative failure modes are identified, and preventive maintenance actions are established, adjusted to the specific working environments of the equipment.

Additionally, the document proposes practices to optimize spare parts and consumables management, prioritizing components with the highest operational impact and turnover. This approach will improve maintenance efficiency and reduce response times in the event of failures.

The final outcome is a maintenance plan tailored to the specific conditions and needs of Copower Ltda., designed to support better technical decision-making, prevent unexpected stoppages, and extend the service life of the generator sets.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Daniel Ortiz Plata. Master in Maintenance Management.

## Introducción

La empresa Copower Ltda., dedicada al diseño, operación y mantenimiento de sistemas de generación, ha tenido ciertos eventos en algunos generadores que representaron paradas no programadas en grupos electrógenos modelo QSX15. Estas unidades, fundamentales para garantizar el suministro eléctrico continuo en proyectos del sector Oil & Gas, han presentado interrupciones que afectan directamente la disponibilidad del servicio, disminuyéndola en ocasiones hasta un 90%, cuando los contratos exigen valores del 95%. Fallas en cojinetes de biela y bancada, alternadores y engranajes de distribución, no sólo comprometen el funcionamiento de los equipos, pueden, adicionalmente, generar sobre costo de hasta un 35% por concepto de reparaciones y mano de obra y pueden reducir la facturación mensual hasta en un 15%. Por lo cual; la Gerencia ha manifestado la necesidad fortalecer los planes de mantenimiento, que sean más confiables y alineados a las exigencias operacionales de los Clientes.

A nivel general, para este modelo de generadores, se desarrollaban las actividades de mantenimiento basados en las recomendaciones estándar del Fabricante (OEM) y la experiencia acumulada durante la operación. Sin embargo, estas prácticas no han sido suficientes para garantizar la confiabilidad y disponibilidad requeridas debido a que no siempre contemplan el contexto operacional, las calidades y tipo de combustibles, el perfil de carga y las condiciones ambientales, que suelen ser variables. En este escenario, la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) surge como una alternativa técnica y estratégicamente viable para enfrentar la problemática. El RCM, originalmente desarrollado en la industria aeronáutica, permite estructurar planes de mantenimiento basados en el análisis funcional de los equipos, los

modos de falla potenciales y reales, y sus consecuencias, priorizando acciones según su impacto sobre la operación, la seguridad y los costos.

Este trabajo tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para los grupos electrógenos QSX15 de la empresa Copower Ltda. La meta es lograr un aumento en la disponibilidad operativa hasta un 97% y, como complemento, una reducción del 15% en los costos asociados al mantenimiento. Para ello, se realizará una caracterización detallada de los equipos, se identificarán los modos de falla críticos y se elaborará un listado de los componentes, repuestos requeridos para el grupo electrógeno QSX15, a partir de los manuales de partes del fabricante Cummins. Posteriormente, se evaluarán las consecuencias de dichos modos de falla y se definirán las acciones de mantenimiento que sean las más técnicas y económicamente viables para la compañía.

El impacto de este estudio se evidencia tanto en el ámbito técnico como organizacional. Técnicamente, permitirá estructurar un plan de mantenimiento que no sólo responda a las condiciones reales de las operaciones, sino que también optimice la vida útil de los componentes, reduzca la probabilidad de fallas, mejore los indicadores de confiabilidad y disminuyan el uso de recursos técnicos necesarios para realizar las actividades del tipo mantenimiento correctivo. Desde el punto de vista económico, se proyecta una disminución significativa de los costos operativos, al minimizar paradas no programadas y mejorar la planificación de recursos. En el ámbito organizacional, este proyecto fortalecerá las capacidades del Personal Técnico, brindándoles herramientas metodológicas para la toma de decisiones y consolidando una cultura de mantenimiento preventivo basada en datos y análisis de riesgos.

En cuanto al enfoque metodológico, se empleará el estándar SAE JA1011 como base para la aplicación del RCM, complementado con la recopilación de datos históricos de fallas, la consulta de manuales técnicos del fabricante y el conocimiento del Personal de operación y mantenimiento. De esta manera, se permitirá actualizar el plan de mantenimiento para que sea viable y adaptable a las necesidades de la Empresa, contribuyendo a su sostenibilidad y competitividad en el sector Oil & Gas.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Realizar un plan de mantenimiento preventivo para los grupos electrógenos QSX15, basado en la metodología RCM que permita aumentar la disponibilidad a un 97% y disminuir los costos en un 15% en los planes de mantenimiento.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Identificar los modos de falla en el grupo electrógenos QSX15, a través de la metodología RCM para realizar una correcta gestión sobre los mismos.

Enumerar el listado de los componentes del grupo electrógenos QSX15, a través de los manuales de partes de Cummins, para determinar los repuestos a usar en cada rutina de mantenimiento.

## **2. Justificación del Plan Propuesto**

La compañía Copower Ltda. ha trabajado con planes de mantenimiento para los grupos electrógenos QSX15 que se construyeron con base a los planes de mantenimientos sugeridos por el representante de la marca OEM y con la experiencia obtenida durante la operación de este modelo de equipo. Estos planes de mantenimiento son generales, no contemplan los diferentes ambientes de operación, tipos de combustibles suministrados, no hay una metodología estipulada para realizar los planes de mantenimiento preventivos, que le permita a la Compañía sacar el máximo provecho de todos los componentes y a su vez tener valores de confiabilidad y disponibilidad alineados a las exigencias de nuestros Clientes.

Usando la metodología RCM, se busca actualizar el plan de mantenimiento preventivo para que sea más adecuado para los grupos generadores QSX15, económicamente viable y que genere los resultados requeridos por la Gerencia de la Compañía.

En ocasiones se ha tenido una disponibilidad del 90%, el objetivo es alcanzar una disponibilidad del 97%, de igual forma; disminuir el costo de los mantenimientos en un 15%.

### 3. Análisis de la Literatura

#### 3.1 Marco Teórico

“El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) fue desarrollado inicialmente por la industria comercial de aviación para mejorar la seguridad y la confiabilidad de sus equipos” (SAE, 1999, pág. 1).

“Como resultado, ha habido un crecimiento de la demanda internacional por una norma que imponga los criterios que cualquier proceso deba cumplir para ser llamado “MCC”.” (SAE, 1999, pág. 1).

La metodología RCM cuenta con 7 preguntas, las cuales deben ser resueltas en orden.

- a. ¿Cuáles son las funciones y estándares de ejecución asociados con el activo, en su actual contexto operacional?
- b. ¿En qué forma falla el equipo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?
- c. ¿Qué causa la falla funcional?
- d. ¿Qué sucede cuando falla?
- e. ¿Qué ocurre si falla?
- f. ¿Qué puede hacerse para evitar la falla?
- g. ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla? (SAE, 1999, pág. 6).

De acuerdo con lo mencionado, el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo para los grupos electrógenos QSX 15, se va a desarrollar aplicando la metodología RCM, apoyándome principalmente en la norma SAE JA1011, la cual cuenta con un resumen de la metodología.

### **3.2 Marco Conceptual**

El mantenimiento se ha venido realizando desde hace muchos años, el cual en sus principios se realizaba en gran porcentaje en mantenimiento correctivo, se tenían diferentes tipos de máquinas, de equipos, que requerían las fábricas para cumplir con determinadas funciones, pero no había claridad sobre las actividades de mantenimiento programadas, se usaban los equipos hasta que fallaban, inclusive no había una persona especialista en el área del mantenimiento, pero debía encontrar la forma de colocar nuevamente en servicio el equipo, no contaban con protocolos o procedimientos establecidos para realizar estas tareas.

A medida que pasaron los años, se empezó a dar mayor importancia al tema de indisponibilidades extendidas, las cuales repercutían directamente en los costos de producción, seguridad de las personas y el medio ambiente; así mismo, el nivel de complejidad de las máquinas fue incrementando, haciendo que se creara un departamento o área dedicada al mantenimiento, se empezó a pasar del mantenimiento netamente correctivo a preventivo, inclusive el fabricante ya entregaban manuales y rutinas definidas para los diferentes equipos; más adelante se fueron implementando técnicas de mantenimiento, que aumentaron la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, como el análisis de vibraciones, análisis de aceite, termografía, los cuales juntos permiten tener una idea del estado de los equipos, permitiendo tomar acciones tempranas, que permite anticiparnos a las fallas.

### **3.2.1 Mantenimiento Preventivo**

“El mantenimiento preventivo es un enfoque proactivo del mantenimiento de equipos y maquinaria, que incluye inspecciones, revisiones y reparaciones programadas para evitar fallos y prolongar la vida útil de los activos” (EMAINT, 2023).

### **3.2.2 Modo de falla**

Es cualquier evento, condición o circunstancia que, de manera razonablemente posible, pueda causar que un activo o sistema entre en un estado de falla. Incluye tanto las fallas que ya han ocurrido en equipos similares y bajo condiciones comparables, como aquellas que se previenen actualmente mediante estrategias de mantenimiento, e incluso las que aún no se han presentado, pero se consideran probables dentro del contexto operacional (Moubray, 2004)

### **3.2.3 Mecanismo de Falla**

“Proceso que lleva a falla. El proceso puede ser físico, químico, lógico, o una combinación de estos” (Ortiz Plata, 2021, pág. 6).

### **3.2.4 Falla**

Es la condición en la cual el equipo pierde su funcionalidad, puede ser de manera parcial o total

### **3.2.5 Falla Oculta**

“Falla que no es evidente para el personal de operación, en condiciones normales” (Organización Internacional de Normalización, 2016, pág. 16).

### **3.2.6 Contexto Operacional**

Las funciones que cumple un activo, las posibles formas en que puede fallar, las consecuencias derivadas de esas fallas y las estrategias para gestionarlas no están determinadas únicamente por la naturaleza del activo, sino también por las condiciones específicas en que este

opere. En consecuencia, es necesario establecer claramente dichas condiciones antes de definir cómo se abordarán sus posibles fallas (Sociedad de Ingenieros Automotrices, 2002).

### **3.3 Marco Legal**

Para el desarrollo del plan de mantenimiento se van a seguir principalmente las siguientes normas:

SAE JA1011

SAE JA1012

IEC 60300-3-11

ISO 14224

## 4. Metodología

### 4.1 Preliminares

En la etapa preliminar, resulta importante definir la taxonomía que permita establecer la jerarquía del grupo electrógeno QSX15, lo cual es esencial para comprender con claridad las condiciones operativas en las que se desempeña, el tipo de industria en el que está instalado y las exigencias específicas de su entorno de operación.

#### Figura 1

*Jerarquización del grupo electrógeno QSX15*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

## 4.2 Desarrollo

Durante el desarrollo se aplicará la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) para evaluar el grupo electrógeno Cummins QSX15. Primero, a través del AMEF, se identificarán los diferentes modos de falla del equipo, razonablemente probables de ocurrir en el contexto operativo, sus consecuencias, riesgos y criticidad de cada componente.

Posteriormente, se seleccionaron las estrategias de mantenimiento más efectivas para cada modo de falla detectada, priorizando aquellas que mejoran la confiabilidad y disponibilidad del generador. Este análisis también considera aspectos técnicos y económicos para asegurar que las acciones propuestas sean viables y eficientes en el contexto operativo real del equipo.

El resultado es un plan de mantenimiento adaptado a las necesidades específicas de la Empresa, que busca disminuir las paradas no programadas, los costos de mantenimiento, aumentar la disponibilidad y prolongar la vida útil del grupo electrógeno QSX15, mejorando así su desempeño general.

## 4.3 Características del Grupo Electrónico QSX15

El grupo electrógeno QSX15 está equipado con un motor diésel Cummins de 15 litros, enfriado por refrigerante. Cuenta con filtros de aceite y de combustible con separador de agua, además de una válvula de drenaje incorporada para el aceite lubricante. Dispone de un motor de arranque eléctrico y un alternador de 24 VDC, junto con un gobernador electrónico para el control de velocidad.

Incorpora un filtro de aire y un alternador con rodamiento único. El conjunto está montado sobre el chasis del grupo electrógeno, el cual integra motor, generador, radiador, alternador y tablero de control.

**Figura 2**

*Grupo electrógeno QSX15*



*Nota.* Grupo electrógeno QSX15, el equipo se encuentra dentro de una cabina insonorizada.

#### **4.4 AMEF Análisis del Modo y Efecto de Fallas**

##### **4.4.1 Definición de las Fronteras**

Para delimitar con precisión los elementos que constituyen el objeto de estudio, se establece la definición de fronteras del sistema analizado. En este caso, se excluyen del alcance los siguientes componentes: cabina insonora, el tanque principal de almacenamiento de combustible diésel, el tanque de nivel constante, las tuberías y mangueras que llevan el combustible hacia el sistema de filtros trampa. De igual forma, no se consideran dentro del análisis los sistemas de cableado de potencia hacia las cargas, ni el cable de control para la comunicación entre grupos generadores.

Por el contrario, se incluyen dentro de las fronteras del estudio los elementos principales del grupo electrógeno, tales como el radiador, el motor de combustión interna, el alternador de

corriente alterna (AC), el sistema de control y de filtración de combustible que forman parte del equipo.

Esta delimitación permite focalizar el análisis en los subsistemas críticos para la operación y confiabilidad del generador, teniendo definido el alcance de nuestro estudio, optimizando así el enfoque del mantenimiento y evaluación.

### **Figura 3**

*Definición de fronteras del grupo generador QXS15*



*Nota.* El generador está montado sobre una cabina insonorizada.

#### **4.4.2 Análisis Funcional**

A continuación, en la tabla 1 podremos observar el elemento de estudio, las condiciones operacionales y ambientales.

**Tabla 1***Elemento de estudio, condiciones operacionales y ambientales*

<b>Elemento de Estudio</b>	<b>Condiciones Operacionales</b>	<b>Condiciones Ambientales</b>
GRUPO ELECTRÓGENO QSX15	Generar energía eléctrica $\geq$ al 60% de su potencia nominal (500 kW)	Grupo Generador al Ambiente
		* Cero fugas de aceite
		* Cero fugas de refrigerante
		Ambiente al Grupo Generador
		* Temperatura ambiente
		* Humedad relativa en el sitio

*Nota.* Esta tabla muestra las condiciones operacionales y ambientales del grupo electrógeno QSX15.

#### **4.4.3 Entradas, Salidas y Funciones**

En la tabla 2, podremos observar las diferentes entradas, salidas y funciones del grupo electrógeno QSX15.

**Tabla 2***Entradas, salidas, funciones y falla funcional del grupo electrógeno QSX15*

<b>Interfases (Entradas/Salidas)</b>	<b>Cód Fun.</b>	<b>Funciones</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Falla Funcional</b>
		Suministrar combustible al motor a		
<b>ENTRADAS:</b>	F01	una presión entre 250 y 280 PSI	FF01	No suministra combustible
* Combustible diésel		para mantener operación continua.		
* Aceite (SAE 15W-40) 23 GLS.	F02	Proveer aire limpio para la combustión y expulsar gases sin contrapresión, con restricción máxima de 5 inHg en el tubo de escape.	FF02	No provee aire limpio o expulsa gases con contrapresión
* Refrigerante 15 GLS.				
* Aire limpio	F03	Bombear aceite a una presión entre 35 y 60 psi para lubricar las partes móviles del motor.	FF03	No mantiene presión adecuada de lubricación
<b>SALIDAS:</b>		Regular la temperatura del motor		
* Energía Eléctrica a 60 Hz	F04	manteniéndola entre 170 y 200 °F durante la operación.	FF04	No mantiene la temperatura adecuada
* Gases de escape	F05	Controlar y proteger el funcionamiento del grupo	FF05	No controla o protege el grupo electrógeno
* Aceite usado				

* Refrigerante usado	electrógeno mediante sensores,		
* Aire caliente	gobernación y automatización.		
* Descarga a tierra	Generar energía eléctrica en		
	corriente alterna a 60 Hz $\pm$ 2 % y	F06	No genera energía con
	voltaje regulado $\pm$ 2 %, para suplir		parámetros correctos
	carga crítica.	FF06	

*Nota.* Esta tabla muestra las entradas, funciones y fallas del elemento de estudio, el grupo electrógeno QSX15.

**Tabla 3**

*Modos y efectos de falla, análisis de consecuencias y riesgos, acción correctiva*

Cód. MF	Modo de Falla	Falla Oculta	Análisis de Consecuencias y Riesgos	Correctivo
MF01	Filtro de combustible se obstruye por acumulación de partículas.	No	Baja presión de combustible y flujo de combustible, Pérdida de potencia	Cambiar filtro de combustible
MF02	Filtro de combustible acumula agua libre, causando corrosión y obstrucción.	No	Baja presión de combustible y flujo de combustible, Pérdida de potencia	Cambiar filtro de combustible
MF03	Inyectores sufren erosión y corrosión por agua libre en el combustible.	No	Aumento de temperatura de los gases de escape, ruido anormal, vibraciones,	Reparar inyectores

			Aumento de emisiones, desgaste en los mecanismos internos del inyector	
MF04	Bomba de combustible reduce caudal por desgaste interno.	No	Ruido en la bomba, baja presión de combustible, Mecanismos internos dañados	Reparar bomba de combustible
MF05	Válvula solenoide de combustible interrumpe flujo por desgaste interno.	No	Parada inmediata del motor, Solenoide dañada	Cambiar válvula solenoide
MF06	Línea de combustible presenta fuga por deterioro, envejecimiento	No	Combustible en el suelo o sobre el equipo, Contaminación ambiental, riesgo de accidentes por derrame	Cambiar mangueras de combustible
MF07	Filtro de aire reduce el flujo de aire por acumulación de polvo	No	Humo negro, pérdida de potencia, Contaminación ambiental, filtro saturado	Cambiar filtro de aire
MF08	Intercooler se rompe por el impacto de partículas	No	Pérdida de presión de aire, reducción del flujo de aire, Humo negro, aumento en consumo de combustible	Soldar Intercooler

MF09	Tubería de admisión se fractura por vibraciones excesivas	No	Ruido anormal, Daño progresivo a componentes.	Soldar tubería
MF10	Turbocargador reduce presión por desgaste en los rodamientos por falta de lubricación.	No	Pérdida de potencia, ruidos anormales, Paro inesperado, aumento de emisiones	Revisar lubricación y reemplazar rodamientos
MF11	Turbocargador reduce presión por obstrucción en la entrada de aire	No	Pérdida de potencia, humo negro, Aumento consumo de combustible, contaminación	Cambiar filtro de aire, inspeccionar admisión
MF12	Manguera de admisión se rompe por degradación del material	No	Pérdida de presión, fugas visibles o sonidos de escape, Pérdida de potencia, aumento de emisiones contaminantes	Cambiar manguera
MF13	Abrazadera de manguera se rompe por torque incorrecto	No	Fugas de aire y ruido, Reducción de potencia, aumento de emisiones contaminantes	Cambiar abrazadera

MF14	Carcasa del filtro de aire pierde hermeticidad por ruptura de ganchos de sujeción de la tapa	No	Fugas de aire, pérdida de presión, ruido anormal, Ingreso de partículas al motor	Cambiar tapa
MF15	Tubería de escape retiene gases por hollín acumulado	No	Humo denso, ruido, Contaminación ambiental, tubería con hollín	Limpiar tubería
MF16	Silenciador pierde estanqueidad por corrosión superficial	No	Olor fuerte, fuga de gases de escape, Contaminación ambiental, daño en sistema de escape	Soldar tubería
MF17	Silenciador pierde estanqueidad por fisuras en uniones	No	Olor fuerte, fuga de gases de escape, Contaminación ambiental, daño en sistema de escape	Soldar tubería
MF18	Nivel de aceite disminuye por fuga en juntas o conexiones	No	Alarma aceite, aceite en el suelo, Daños en el motor, contaminación ambiental	Revisar y reparar fugas
MF19	Bomba de aceite pierde presión por desgaste en impulsores	No	Presión baja, Daños en el motor	Reparar o cambiar bomba de aceite

MF20	Bujes de los engranes gripados por falta de lubricación	No	Ruido anormal, Pérdida de potencia, daño progresivo	Cambio de engranes
MF21	Bujes de los engranes gripados por corrosión	No	Ruido anormal, Pérdida de potencia, daño progresivo	Cambio de engranes
MF22	Bujes de los engranes gripados por erosión	No	Ruido anormal, Pérdida de potencia, daño progresivo	Cambio de engranes
MF23	Dientes de los engranes se fracturan por falta de lubricación	No	Ruido anormal, Daño mecánico crítico, paro inesperado	Cambio de engranes
MF24	Casquetes de biela gripados por lubricación insuficiente	No	Ruido metálico, aumento de temperatura de aceite, Daño en cigüeñal y bielas paro del motor	Cambio de casquetes y bielas
MF25	Casquetes de biela gripados por erosión	No	Ruido metálico, aumento de temperatura de aceite, Daño en cigüeñal y bielas paro del motor	Cambio de casquetes y bielas
MF26	Casquetes de biela gripados por corrosión	No	Ruido metálico, aumento de temperatura de aceite, Daño en cigüeñal y bielas paro del motor	Cambio de casquetes y bielas

MF27	Casquetes de bancada gripados por falta de lubricación	No	Ruido y vibración en motor, Daño en bancada, reducción de vida útil	Cambio de casquetes, rectificar bloque
MF28	Casquetes de bancada gripados por erosión	No	Ruido, caída de presión de aceite, Afectación del círculo de bancada	Cambio de casquetes, rectificar bloque
MF29	Casquetes de bancada gripados por corrosión	No	Ruido, caída de presión de aceite, Afectación del círculo de bancada, daño del cigüeñal	Cambio de casquetes, rectificar bloque
MF30	Cigüeñal se fractura por fatiga por sobrecarga	No	Ruido fuerte, paro inmediato, Afectación del círculo de bancada, daño del cigüeñal	Cambio de cigüeñal
MF31	Ejes de levas se erosionan por partículas de sílice	No	Ruidos, pérdida de sincronización, Fallo en válvulas, pérdida de potencia	Cambio de eje de levas

	Bujes de los balancines se gripan por lubricación deficiente	No	Ruidos, golpes en motor, Daño de los balancines y eje de levas	Cambio de eje de levas y balancines
MF32				
	Bujes de ejes de levas se gripan por lubricación deficiente	No	Ruidos, golpes en motor, Daño de los balancines y eje de levas	Cambio de eje de levas y balancines
MF33				
	Bujes de ejes de levas se erosionan por sílice en el aceite	No	Ruidos, golpes en motor, Daño de los balancines y eje de levas	Cambio de eje de levas y balancines
MF34				
	Cilindros pierden el bruñido debido a presencia de sílice	No	Aumento de consumo de aceite, humo excesivo, Daño en cilindros	Cambio de cilindros
MF35				
	Cilindros pierden bruñido debido a baja carga de trabajo	No	Aumento de consumo de aceite, humo excesivo, Daño en cilindros	Cambio de cilindros
MF36				
	Retenedor delantero permite paso de aceite por desgaste del labio de sellado.	No	Pérdida de presión de aceite, Contaminación ambiental por fugas, riesgo de daño al motor	Remplazar retenedor
MF37				
	Retenedor trasero permite paso de aceite por desgaste del labio de sellado.	No	Pérdida de presión de aceite, Contaminación	Remplazar retenedor
MF38				

			ambiental por fugas, riesgo de daño al motor	
MF39	Bomba de agua no envía agua al motor por desgaste en sello mecánico	No	Temperatura alta, alarma, Parada de motor, contaminación ambiental	Reparar o cambiar bomba de agua
MF40	Bomba de agua no envía agua al motor por desgaste en el eje	No	Temperatura alta, alarma, Parada de motor, contaminación ambiental	Reparar o cambiar bomba de agua
MF41	Termostato permanece cerrado por obstrucción interna	No	Temperatura excesiva, Parada de motor, daños en el motor	Cambiar termostato
MF42	Termostato permanece abierto por acumulación de sedimentos en sistema de refrigeración	No	Menor temperatura en el control, pero se percibe más caliente el motor, Aumento de la temperatura en los componentes internos del motor	Cambiar termostato
MF43	Termostato permanece abierto por pérdida de tensión en el resorte interno	No	Menor temperatura en el control, pero se percibe más caliente el motor, Aumento	Cambiar termostato

			de la temperatura en los componentes internos del motor	
MF44	Carcasa de caja de termostatos fuga por corrosión por concentración inadecuada de aditivos en el refrigerante	No	Fugas visibles de refrigerante y corrosión en superficie, Pérdida de refrigerante, reducción en capacidad de enfriamiento, posible parada del motor	Cambiar caja de termostatos
MF45	Base del filtro de refrigerante fuga por corrosión por concentración inadecuada de aditivos en el refrigerante	No	Fugas visibles de refrigerante en la unión del filtro con la base, Pérdida de refrigerante, reducción en capacidad de enfriamiento, posible parada del motor	Cambiar base del filtro
MF46	Radiador se rompe por el impacto de partículas	No	Pérdida de refrigerante, sobrecalentamiento, Contaminación Ambiental, parada del motor	Soldar radiador

MF47	Radiador presenta fugas por corrosión	No	Pérdida de refrigerante, sobrecalentamiento, Contaminación Ambiental, parada del motor	Reparar o cambiar radiador
MF48	Radiador se obstruye por acumulación de sedimentos	No	Temperatura alta, baja circulación, Parada del motor	Limpieza del radiador
MF49	Cubo de ventilador frenado por ausencia de grasa en el rodamiento	No	Ruido anormal, vibración, Daño del cubo de ventilador	Cambio del cubo de ventilador
MF50	Polea se frena por ausencia de grasa en el rodamiento	No	Ruido metálico, Daño de la polea y correa	Cambio de la polea y correa
MF51	Patín tensor pierde tensión por fatiga del resorte interno	No	Pérdida de tensión en la correa, vibraciones, Daño del patín tensor y correa	Reemplazo del patín tensor
MF52	Rodamiento del patín tensor presenta desgaste por falta de lubricación	No	Ruido metálico, aumento de temperatura, Daño del patín tensor y correa	Reemplazo del patín tensor
MF53	Aceite lubricante pasa al sistema de refrigerante por	No	Mezcla de aceite con refrigerante,	Reemplazo o reparación

	deterioro del empaque de culata.		sobrecalentamiento, Baja presión de aceite	de empaque de culata
MF54	Aceite lubricante pasa al sistema de refrigerante por fisura en el enfriador de aceite.	No	Mezcla de aceite con refrigerante, sobrecalentamiento, Baja presión de aceite	Reparación o reemplazo del enfriador de aceite
MF55	Sensor de velocidad pierde señal por desconexión del cableado	No	Alarmas, variación de velocidad, Paro inesperado	Revisar cableado y sensores
MF56	Gobernador de velocidad regula incorrectamente por alteración en los circuitos internos	No	Fluctuación de velocidad, Paro inesperado	Cambiar tarjeta gobernadora
MF57	Gobernador de velocidad regula incorrectamente por ajuste inadecuado.	No	Fluctuación de velocidad, Paro inesperado	Ajustar gobernación
MF58	Actuador de control de combustible se detiene por desgaste de piezas internas	No	Vibración, velocidad inestable, Paro inesperado	Cambiar actuador
MF59	Sensor de temperatura emite señales erróneas por suciedad	No	Alarmas, lecturas erradas, Paro inesperado	Limpiar sensores

MF60	Cableado de control presenta cortocircuito por deterioro del aislamiento	No	Paro repentino, alarma, Daño en el cableado	Revisar y cambiar cableado
MF61	Botón de paro de emergencia no acciona por suciedad	Si	Imposibilidad de detener el motor en situación de emergencia, Riesgo para seguridad del operador, daño del equipo	Cambio del paro de emergencia
MF62	Botón de paro de emergencia no acciona por desgaste interno	Si	Imposibilidad de detener el motor en situación de emergencia, Riesgo para seguridad del operador, daño del equipo	Cambio del paro de emergencia
MF63	Estator quemado por bajo aislamiento	No	Ausencia de voltaje AC, Ausencia de tensión en el alternador, daño del estator	Reparar o cambiar estator
MF64	Rotor quemado por bajo aislamiento	No	Ausencia de voltaje AC, Ausencia de tensión en el alternador, daño en el rotor	Reparar o cambiar rotor
MF65	Rotor pierde campo magnético por interrupción	No	Ausencia de voltaje AC, Ausencia de tensión en el alternador	Cambiar diodos

	del circuito de excitación por diodos abiertos.			
MF66	Rotor vibra por lubricación insuficiente en rodamiento del lado libre del generador.	No	Vibración del alternador, Daño del rodamiento	Cambiar rodamiento
MF67	Regulador de voltaje (AVR) no suministra corriente a la excitatriz por interrupción en circuito interno.	No	Voltaje de salida en generador en cero, Paro del generador, pérdida total de energía	Cambiar tarjeta AVR
MF68	Regulador de voltaje (AVR) suministra corriente insuficiente a la excitatriz alteración en circuito interno.	No	Voltaje de salida en generador bajo, Disminución de potencia y estabilidad del sistema	Cambiar tarjeta AVR
MF69	Regulador de voltaje (AVR) suministra corriente excesiva a la excitatriz por alteración en los circuitos internos de la AVR.	No	Voltaje de salida en generador alto, Riesgo de daños a equipos	Cambiar tarjeta AVR

#### 4.4.4 Análisis de Riesgos

A continuación, con el apoyo de la matriz de riesgos, se determinan las consecuencias y probabilidades asociadas a cada modo de falla identificado.

**Figura 4***Matriz de análisis de riesgos*

CONSECUENCIAS				CONSECUENCIA		PROBABILIDAD					
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN			IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE
Mas de un muerto	Efectos irreversibles	>100	Internacional	Catastrofico	1	A1	B1	C1	D1	E1	F1
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 100M - 30M	Nacional	Critico	2	A2	B2	C2	D2	E2	F2
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 30 M- 7M	Regional	Marginal	3	A3	B3	C3	D3	E3	F3
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 7M- 2M	Local	Insignificante	4	A4	B4	C4	D4	E4	F4
Ninguna	No afecta el medio ambiente	<2M	Ninguno	Ninguno	5	A5	B5	C5	D5	E5	F5
						> 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.* Fuente: Modificado de (Ortiz Plata, Pgmanten, 2009).

**Tabla 4***Análisis de Riesgos*

Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Humano	R. Ambiental	R. Económica	R. Imagen
1 en 6 meses	Medio	E5	E4	E4	E4
1 en 6 meses	Medio	E5	E4	E4	E4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D4	D3	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D4	D3	D4

1 en 6 meses	Medio	E5	E5	E5	E4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D5	D4
1 en 6 meses	Medio	E5	E4	E5	E4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D4	D4	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D5	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D3	D4	D4	D4
1 en menos de 5 años	Bajo	C5	C4	C5	C4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D5	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D5	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D5	D3	D5
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D4	D4

1 en menos de 2 años	Medio	D5	D4	D4	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D4	D4
1 en 6 meses	Medio	E4	E4	E4	E4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D4
1 en menos de 2 años	Alto	D4	D4	D2	D3
1 en menos de 2 años	Alto	D4	D4	D2	D3
1 en menos de 2 años	Alto	D4	D4	D2	D3
1 en menos de 2 años	Alto	D4	D4	D2	D3
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D3
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D3
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D3

1 en menos de 2 años	Alto	D4	D4	D2	D2
1 en menos de 2 años	Alto	D4	D4	D2	D2
1 en menos de 2 años	Alto	D4	D4	D2	D2
1 en menos de 2 años	Alto	D4	D4	D2	D2
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D3
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D3
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D3
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D3
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D4

1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D4	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D4	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D3	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D4	D4
1 en menos de 5 años	Medio	C5	C5	C4	C4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D4	D3	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D4	D3	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D4	D3	D4
1 en menos de 5 años	Medio	C5	C5	C4	C4
1 en menos de 5 años	Medio	C5	C5	C4	C4

1 en 6 meses	Alto	E4	E4	E3	E3
1 en 6 meses	Medio	E5	E5	E4	E4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D5	D4	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D5	D4	D4
1 en menos de 5 años	Medio	C4	C4	C3	C3
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D4	D3	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D5	D4	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D5	D4	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D4	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D4	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D4	D4	D4

1 en menos de 5 años	Bajo	C4	C4	C4	C4
1 en menos de 5 años	Medio	C3	C4	C3	C3
1 en menos de 5 años	Medio	C3	C4	C3	C3
1 en menos de 5 años	Medio	C3	C3	C3	C3
1 en menos de 5 años	Medio	C3	C3	C3	C3
1 en menos de 2 años	Medio	D5	D4	D4	D4
1 en menos de 2 años	Medio	D4	D5	D4	D3
1 en 6 meses	Medio	E4	E5	E4	E4
1 en 6 meses	Medio	E4	E5	E4	E4
1 en 6 meses	Medio	E4	E5	E4	E4

---

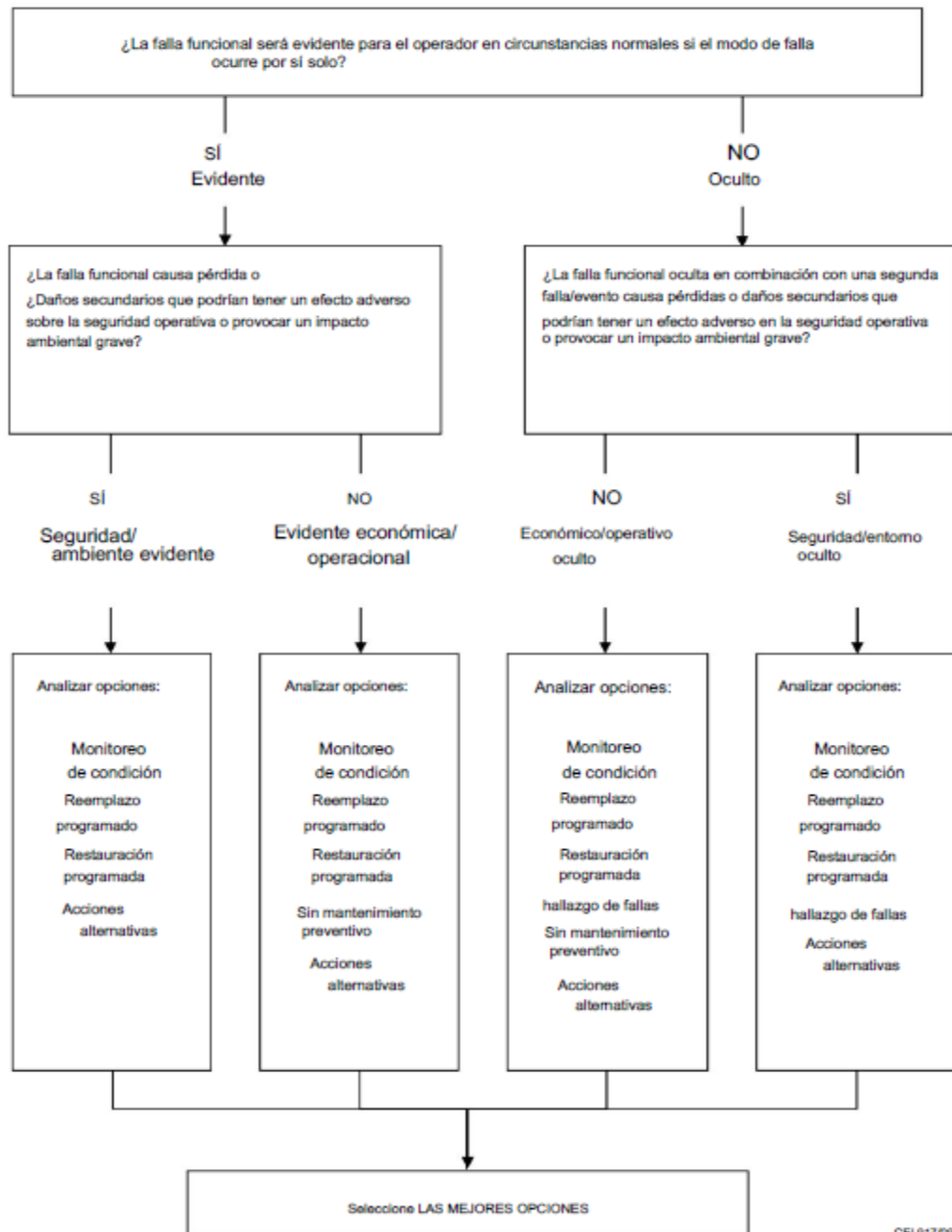
#### ***4.4.5 Actividades de Mantenimiento***

Una vez definido el elemento de estudio, se establecieron las condiciones operacionales y ambientales, así como las entradas, salidas, funciones, fallas funcionales y los diferentes modos de

falla, junto con la acción correctiva correspondiente; utilizando el diagrama de decisión, se definió el tipo de mantenimiento a aplicar, la descripción de la tarea, la frecuencia, los recursos necesarios para llevarla a cabo y el código correspondiente a cada tarea.

Figura 5

Diagrama de decisión RCM



*Nota.* Esta imagen nos permite seleccionar las diferentes estrategias de mantenimiento.

Tomada de (Comisión Electrotécnica Internacional, 2009, pág. 27)

**Tabla 5***Actividades de mantenimiento*

<b>TIPO DE DECISIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN TAREA</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Valor</b>	<b>RECURSOS</b>	<b>Cod. Tarea</b>
Monitoreo	Revisar que el filtro trampa no este saturado reemplazar el filtro antes de saturarse	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT01
Monitoreo	Revisar que el combustible no contenga agua, drenar filtros trampa	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT02
Mejora técnica	Instalar una primera etapa de filtros trampa	Única vez	Única vez	Técnico Mecánico	CT03
Reacondicionamiento programado	Reparar bomba de agua	Horas	12000	Técnico Mecánico	CT04
Monitoreo	Medir resistencia óhmica	Horas	1500	Técnico Electricista	CT05
Monitoreo	Revisar que la manguera no este cristalizada	Horas	1500	Técnico Mecánico	CT06

Monitoreo	Revisar que el filtro haga buen sello con la carcasa	Horas	350	Técnico Mecánico	CT07
Mejora técnica	Instalar mallas en las guardas del ventilador Verificar el estado de la malla	Única vez	Única vez	Técnico Mecánico	CT08
Monitoreo	Inspeccionar que la malla no esté rota	Horas	350	Técnico Mecánico	CT09
Monitoreo	Medir vibraciones y hacer ajustes	Horas	6000	Técnico CBM	CT10
Monitoreo	Verificar lubricación	Horas	350	Técnico Mecánico	CT11
Monitoreo	Verificar que no haya obstrucción en la entrada de aire	Horas	350	Técnico Mecánico	CT12
Monitoreo	Revisar que la manguera no este cristalizada	Horas	1500	Técnico Mecánico	CT13
Mejora técnica	Torquear abrazaderas con torquímetro	Instalación	Durante la instalación	Técnico Mecánico	CT14
Mejora técnica	Instalar tapa de acuerdo con el procedimiento	Instalación	Durante la instalación	Técnico Mecánico	CT15

Reacondicionamiento programado	Calibrar válvulas e inyectores de combustible	Horas	6000	Técnico Mecánico	CT16
Reacondicionamiento programado	Pintar silenciador con pintura de alta temperatura	Horas	6000	Técnico Mecánico	CT17
Mejora técnica	Verificar estado de soldadura antes de poner en marcha	Instalación	Durante la instalación	Técnico Mecánico	CT18
Monitoreo	Revisar que no haya fugas de aceite	Horas	350	Técnico Mecánico	CT19
Reacondicionamiento programado	Cambiar bomba de aceite	Horas	12000	Técnico Mecánico	CT20
Monitoreo	Revisar presión de aceite	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT21
Monitoreo	Tomar muestras de aceite	Horas	350	Técnico Mecánico	CT22
Monitoreo	Tomar muestras de aceite	Horas	350	Técnico Mecánico	CT23
Monitoreo	Revisar presión de aceite	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT24

Monitoreo	Revisar presión de aceite	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT25
Monitoreo	Tomar muestras de aceite	Horas	350	Técnico Mecánico	CT26
Monitoreo	Tomar muestras de aceite	Horas	350	Técnico Mecánico	CT27
Monitoreo	Revisar presión de aceite	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT28
Monitoreo	Tomar muestras de aceite	Horas	350	Técnico Mecánico	CT29
Monitoreo	Tomar muestras de aceite	Horas	350	Técnico Mecánico	CT30
Mejora técnica	Configurar protecciones por sobrecarga	Única vez	Única vez	Técnico Mecánico	CT31
Monitoreo	Tomar muestras de aceite	Horas	350	Técnico Mecánico	CT32
Monitoreo	Revisar presión de aceite	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT33
Monitoreo	Revisar presión de aceite	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT34

Monitoreo	Tomar muestras de aceite	Horas	350	Técnico Mecánico	CT35
Monitoreo	Tomar muestras de aceite	Horas	350	Técnico Mecánico	CT36
Monitoreo	El equipo debe trabajar como mínimo al 35% de su capacidad nominal	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico Técnico Electricista	CT37
Monitoreo	Revisar visualmente que no esté humedeciendo la carcasa	Semanal	Semanal	Técnico Mecánico	CT38
Monitoreo	Revisar visualmente que no esté humedeciendo la carcasa	Semanal	Semanal	Técnico Mecánico	CT39
Monitoreo	Revisar presión de refrigerante	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT40
Monitoreo	Revisar presión de refrigerante	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT41
Monitoreo	Revisar la temperatura de refrigerante	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT42

Monitoreo	Revisar la temperatura de refrigerante	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT43
Monitoreo	Revisar la temperatura de refrigerante	Días Cal.	Diario	Técnico Mecánico	CT44
Monitoreo	Revisar concentración de aditivos	Horas	3000	Técnico Mecánico	CT45
Monitoreo	Revisar concentración de aditivos	Horas	3000	Técnico Mecánico	CT46
Mejora técnica	Instalar mallas en las guardas del ventilador Verificar el estado de la malla	Única vez	Única vez	Técnico Mecánico	CT47
Monitoreo	Revisar concentración de aditivos	Horas	3000	Técnico Mecánico	CT48
Monitoreo	Revisar estado del refrigerante	Horas	6000	Técnico Mecánico	CT49
Monitoreo	Medir juego axial y radial	Horas	3000	Técnico Mecánico	CT50
Monitoreo	Medir juego axial y radial	Horas	3000	Técnico Mecánico	CT51
Monitoreo	Medir tensión del resorte	Horas	3000	Técnico Mecánico	CT52

Monitoreo	Medir juego axial y radial	Horas	3000	Técnico Mecánico	CT53
Monitoreo	Revisar nivel de refrigerante y estado	Horas	350	Técnico Mecánico	CT54
Monitoreo	Revisar nivel del aceite y estado	Horas	350	Técnico Mecánico	CT55
Monitoreo	Revisar estado del cableado	Horas	1500	Técnico Mecánico	CT56
Monitoreo	Medir señal de salida PWM	Horas	1500	Técnico Mecánico	CT57
Mejora técnica	Realizar procedimiento del fabricante	Única vez	Única vez	Técnico Electricista	CT58
Monitoreo	Realizar simulación de apertura y cierre	Horas	3000	Técnico Electricista	CT59
Monitoreo	Realizar limpieza con limpia contactos	Horas	3000	Técnico Electricista	CT60
Monitoreo	Cambiar arnés del motor	Horas	22000	Técnico Electricista	CT61
Búsqueda de falla oculta	Realizar prueba de funcionamiento	Horas	1500	Técnico Electricista	CT62
Búsqueda de falla oculta	Realizar prueba de funcionamiento	Horas	1500	Técnico Electricista	CT63

Monitoreo	Realizar prueba de resistencia de aislamiento e índice de polarización	Horas	6000	Técnico Electricista	CT64
Monitoreo	Realizar prueba de resistencia de aislamiento e índice de polarización	Horas	6000	Técnico Electricista	CT65
Monitoreo	Realizar prueba de resistencia de aislamiento	Horas	6000	Técnico Electricista	CT66
Monitoreo	Cambiar rodamiento	Horas	6000	Técnico Electricista	CT67
Monitoreo	Realizar simulación de entrega de corriente	Horas	1500	Técnico Electricista	CT68
Monitoreo	Realizar simulación de entrega de corriente	Horas	1500	Técnico Electricista	CT69
Monitoreo	Realizar simulación de entrega de corriente	Horas	1500	Técnico Electricista	CT70

---

#### 4.5 Listado de Repuestos y Stock Mínimo

Se elaboró un listado de los repuestos más utilizados durante los últimos años de operación de los equipos QSX15. Siguiendo la metodología ABC, los repuestos se clasificaron de acuerdo con su frecuencia de uso y disponibilidad en el mercado. De esta manera, se identificaron como:

- **Repuestos tipo A:** aquellos de alta rotación o uso frecuente, que deben mantenerse siempre en stock para garantizar la disponibilidad operativa del equipo.
- **Repuestos tipo B:** aquellos con una frecuencia de uso moderada, que pueden adquirirse con facilidad con los proveedores habituales.
- **Repuestos tipo C:** aquellos de baja rotación o de uso poco probable, cuya adquisición puede gestionarse bajo pedido cuando sean requeridos.

**Tabla 6**

*Listado de partes y clasificación según su uso y disponibilidad en el mercado*

ITEM	NÚM. DE PARTE	DESCRIPCIÓN	CANT. POR EQUIPO	REP. TIPO A	REP. TIPO B2	REP. TIPO C
1	5413782	Cabeza de cilindro QSX15	1			X
2	5579438	Kit reparación de cabeza de cilindro QSX15	1		X	
3	3104445	Asiento de válvula de admisión cabeza de cilindro QSX15	12		X	
4	3679537	Asiento de válvula de escape cabeza de cilindro QSX15	12		X	

5	5614733	Asiento de válvula de escape cabeza de cilindro QSX15	12		X
6	3680883	Cuñas de válvulas cabeza de cilindro QSX15	48		X
7	3685996	Válvula de admisión cabeza de cilindro QSX15	12		X
8	4026657	Guía válvula cabeza de cilindro QSX15	24		X
9	4101454	Válvula de escape cabeza de cilindro QSX15	12		X
10	4356366	Capuchón, sello de válvula QSX15	24		X
11	3680884	Rotador válvulas cabeza de cilindro QSX15	24		X
12	3679551	Resorte de válvulas cabeza de cilindro QSX15	24		X
13	3412352	Camisilla del inyector cabeza de cilindro QSX15	6		X
14	3689759	Tapa válvulas motor QSX15	1		X
15	3104392	Empaque de tapa válvulas QSX15	1	X	

16	4309097	Kit bujes cabeza de cilindro QSX15	1		X
17	4319031	Buje eje levas de inyectores QSX15	4		X
18	4319032	Buje eje levas de inyectores QSX15	3		X
19	3685690	Buje eje de levas de válvula QSX15	7		X
20	3678506	Tornillo corto de cabeza de cilindro QSX15	26		X
21	2882087	Casqueteria de biela bipartida QSX15	6	X	
22	5693813	Kit overhaul mayor QSX15	1		X
23	3678756	Aro sello tubo succión de aceite cárter QSX15	1	X	
24	5406110	Kit casquetes de bancada QSX15	1	X	
25	4026684	Empaque cárter QSX15	1	X	
26	4357177	Válvula de alivio de presión de aceite QSX15	1	X	
27	4352144	Empaquetadura superior QSX15	1	X	
28	3680602	Empaque carcasa de termostato QSX15	1	X	

29	3684336	Empaque caja de termostato QSX15	1	X	
30	4299124	Oring redondo frontal árbol de levas de inyectores QSX15	1	X	
31	4299125	Oring redondo frontal árbol de válvulas QSX15	1	X	
32	5658176	Oring triangular frontal árbol de levas de inyectores QSX15	1	X	
33	5719778	Oring triangular frontal árbol de levas de inyectores QSX15	1	X	
34	4962721	Empaque rosado tapa frontal superior QSX15	1	X	
35	3680324	Empaque descarga turbocargador QSX15	1	X	
36	4907446	Empaque central del múltiple de escape QSX15	1	X	
37	4907447	Empaque múltiple de escape QSX15	4	X	
38	4907448	Empaque central múltiple de escape QSX15	1	X	
39	3042544	O ring seal QSX15	1	X	
40	3330537	O ring inyector QSX15	6		X

41	3330538	O ring inyector QSX15	6		X
42	3347937	O ring verde inyector QSX15	6		X
43	3347939	O ring negro inyector QSX15	6		X
44	3678762	Sello manguera descarga turbocargador QSX15	1	X	
45	3678770	Empaque codo múltiple de admisión QSX15	1	X	
46	3680284	Empaque codo ECM módulo de control QSX15	1	X	
47	3682177	Empaque codo turbocargador QSX15	1	X	
48	4299098	Empaque de cabeza de cilindro QSX15	1	X	
49	4965689	Empaque IFSM QSX15	1	X	
50	4985660	O ring eje de levas QSX15	1	X	
51	4985661	O ring eje de levas QSX15	1	X	
52	4089255	Cavity plug QSX15	4	X	
53	5693706	Kit cilindro QSX15	6		X
54	6374547	Caucho cilindro QSX15	6		X
55	4376246	Kit pistón QSX15	6		X
56	5633496	Kit de anillos motor QSX15	6		X

57	2869635	Anillo de compresión del pistón QSX15	6		X
58	5532286	Anillo de compresión del pistón QSX15	6		X
59	5612621	Anillo de aceite del pistón QSX15	6		X
60	4025393	Turbocargador QSX15	1		X
61	4026884	Empaque escape del turbocargador QSX15	1	X	
62	3171368	Empaque escape del turbocargador QSX15	1	X	
63	4298242	Espárragos turbocargador QSX15	4		X
64	3818824	Tuercas de los espárragos turbocargador QSX15	4		X
65	4955590	Empaquetadura inferior QSX15	1	X	
66	4955383	Kit retenedor delantero QSX15	1	X	
67	4965569	Kit retenedor trasero cigüeñal QSX15	1	X	
68	3684338	Empaque carcasa filtro de refrigerante QSX15	1	X	
69	4965690	Empaque ubicado en el engrane para girar motor QSX15	1	X	

70	4393176	Empaque metálico parte trasera motor QSX15	1	X
71	4985562	Empaque metálico parte delantera motor QSX15	1	X
72	3689755	Empaque carcasa enfriador de aceite QSX15	1	X
73	3102109	O ring seal QSX15	2	X
74	3103015	Grommet seal QSX15	1	X
75	3678606	O ring carcasa enfriador de aceite QSX15	1	X
76	3678724	O ring seal QSX15	1	X
77	3678846	O ring seal cárter QSX15	1	X
78	3678912	O ring seal cárter QSX15	1	X
79	4059172	O ring tubo conexión bomba de refrigerante QSX15	1	X
80	4918681	Spacer QSX15	1	X
81	4962722	Empaque tapa inferior distribución QSX15	1	X
82	4955830	Kit enfriador de aceite QSX15	1	X
83	4966084	Orings enfriador de aceite QSX15	2	X

84	4965483	Tornillo enfriador de aceite QSX15	4		X
85	3687058	Rociador de pistón tipo nuevo QSX15	6		X
86	3103836	Correa ventilador QSX15	1	X	
87	3100141	Correa alternador QSX15	1	X	
88	4010315	Válvula antirretorno QSX15	2		X
89	5693748	Actuador de tiempo QSX15	2	X	
90	5693747	Actuador de dosificación QSX15	2	X	
91	3689630	Engrane libre superior QSX15	1		X
92	3685252	Eje central engrane libre superior QSX15	1		X
93	3680240	Espaciador engrane libre superior QSX15	1		X
94	3681273	Arandela de lubricación QSX15	2		X
95	3681174	Tornillos engrane QSX15	8		X
96	3693161	Kit engrane libre de concepto inferior QSX15	1		X
97	3681149	Arandela de engrane QSX15	1		X
98	3680260	Eje central engrane libre inferior QSX15	1		X

99	2877507	Kit engrane eje de levas de inyectores QSX15	1	X
100	3680817	Tornillo engrane eje de levas inyectores QSX15	1	X
101	2869656	Arandela engrane eje de levas inyectores QSX15	1	X
102	3102742	Engrane eje de levas de válvulas QSX15	1	X
103	3102739	Espaciador árbol eje de levas válvulas QSX15	1	X
104	100128	Cuña del engrane eje de levas válvula QSX15	1	X
105	3102740	Arandela del engrane eje de levas válvula QSX15	1	X
106	3678882	Tornillo engrane eje de levas válvula QSX15	1	X
107	4298626	Eje de levas de válvulas QSX15	1	X
108	3100363	Eje de levas de inyectores QSX15	1	X
109	5484228	Kit balancín válvulas de escape banco delantero QSX15	3	X

110	5484230	Kit balancín válvulas de admisión banco frontal QSX15	3		X
111	5484229	Kit balancín válvulas de escape banco trasero QSX15	3		X
112	5484231	Kit balancín banco trasero válvulas de admisión QSX15	3		X
113	4311991	Kit balancín inyectores QSX15	6		X
114	3050692	Automático, motor de arranque QSX15	1	X	
115	5679854	Bomba de aceite QSX15	1	X	
116	5473363	Bomba de refrigerante QSX15	1	X	
117	4318607	Carcasa filtro de refrigerante QSX15	1		X
118	4089431	Bomba de engranes QSX15	1	X	
119	LF9070	Filtro de aceite QSX15	1	X	
120	FS1040	Filtro de combustible QSX15	1	X	
121	WF2126	Filtro de refrigerante QSX15	1	X	
122	AF25708M	Filtro de aire QSX15	1	X	
123	3090769	Filtro peter para motor QSX15	1	X	
124	4076598	Filtro malla QSX15	1	X	
125	0503-2164	Manguera admisión negra QSX15	2	X	

126	0503-2154	Manguera admisión naranja QSX15	2	X
127	0503-2568	Manguera de venteo motor 3/8 " QSX15	1	X
128	3680196	Polea libre de la correa del alternador QSX15	1	X
129	3064406	Rodamiento polea libre correa alternador QSX15	1	X
130	3074482	Retenedor polea libre correa alternador QSX15	1	X
131	3935013	Guarda polvo polea libre del alternador y ventilador QSX15	2	X
132	3680283	Eje polea libre correa alternador QSX15	1	X
133	145551	Aro sello polea libre correa del alternador QSX15	1	X
134	3681587	Polea libre correa del ventilador QSX15	1	X
135	3104029	Tensor de correa de ventilador QSX15	1	X
136	3104027	Tensor de correa alternador QSX15	1	X

137	3690535	Termostato de aceite QSX15	1	X	
138	3681726	Tubo de llenado de aceite QSX15	1		X
139	4001926	Válvula reguladora de presión combustible 320 psi QSX15	1	X	
140	3042619	Compucheck para medir presión combustible QSX15	2		X
141	3348322	Válvula reguladora de presión combustible 250 psi QSX15	1	X	
142	4024808	Solenoides 12 VDC bomba iny. QSX15	1	X	
143	129839	Lamina solenoide QSX15	1	X	
144	129768	Lamina cóncava válvula solenoide QSX15	1	X	
145	2868741	Cubo del ventilador QSX15	1		X
146	2872195	Empaque bomba de engranes motor QSX15	1	X	
147	RSK-5001	Kit de diodos y varistor alternador QSX15	1	X	
148	4062569	Inyector motor Cummins QSX15	6		X
149	3681221	Tornillo eje de balancines QSX15	24		X

150	4309175	Modulo electrónico ECM 570 QSX15	1		X
151	3016627	Alternador Delco Remy 20si 24 VDC 35a QSX15	1	X	
152	3680082	Polea alternador QSX15	1	X	
153	5367762	Motor de arranque Delco Remy 39 MT 24 VDC CW QSX15	1	X	
154	4921599	Sensor posición cigüeñal y de eje de levas QSX15	1	X	
155	4954905	Sensor de temperatura de refrigerante QSX15	1	X	
156	4921473	Sensor de presión y temperatura de admisión QSX15	1	X	
157	4921475	Sensor de presión y temperatura de aceite QSX15	1	X	
158	4921499	Sensor presión de combustible QSX15	1	X	
159	3104388	Kit tornillos centrales tapa válvula QSX15	4		X
160	3946326-S	Indicador de restricción QSX15	1	X	
161	C490-0037	Transformador de corriente QSX15	3	X	

162	4973081	Tapa frontal distribución inferior QSX15	1		X
163	0402-0779- 07	Soporte motor caucho QSX15	4		X
164	5362256	Bomba de transferencia QSX15	1	X	
165	180213	Tornillos de ventilador QSX15	6		X
166	3680773	Carcasa del termostato QSX15	1		X
167	3681787	Carcasa termostatos QSX15	1		X
168	3904446	Tornillo hexagonal caja de termostatos QSX15	4		X
169	3904987	Tornillo caja termostato QSX15	2		X
170	3691444	Cigüeñal QSX15	1		X
171	3681054	Cuña aro de tonos QSX15	1		X
172	3689001	Aro de tonos QSX15	1		X
173	3680542	Engrane cigüeñal QSX15	1		X
174	3068935	Cuña adaptador cigüeñal QSX15	2		X
175	4965400	Adaptador cigüeñal QSX15	1		X
176	4059393	Carcasa de engranes frontal QSX15	1		X

---

## **4.6 Costos de los Mantenimientos Correctivos**

### ***4.6.1 Costos por Concepto de Repuestos***

A continuación, se presenta un listado de los componentes que han sido requeridos durante la atención de fallas, ya sea porque estos mismos se han visto afectados o porque forman parte de los elementos que deben reemplazarse conjuntamente al intervenir los componentes afectados. Estos elementos se consideran críticos dentro del sistema, ya que su desgaste o deterioro prematuro impactan directamente la disponibilidad, confiabilidad, el MTBF, el MTTR y el desempeño general de los equipos de generación. La ocurrencia de estas fallas ha generado sobrecostos, tanto por la necesidad de sustituir los componentes involucrados, como por el tiempo de inactividad asociado a las intervenciones correctivas necesarias para restablecer el funcionamiento de los equipos.

Con la aplicación del nuevo plan de mantenimiento desarrollado, se busca eliminar o reducir de manera significativa los diferentes modos de falla, mediante la gestión planificada de las actividades preventivas, la detección temprana de fallas. Así mismo, el listado constituye una referencia técnica para el seguimiento del desempeño del nuevo plan de mantenimiento, permitiendo evaluar su efectividad en la reducción de fallas y mejoras en la continuidad operativa de los generadores.

**Tabla 7***Elementos requeridos para la corrección de fallas*

<b>ITEM</b>	<b>NÚM. DE PARTE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR PARCIAL</b>
1	3104392	Empaque de tapa válvulas QSX15	1	\$ 297.826	\$ 297.826
2	5406110	Kit casquetes de bancada QSX15	1	\$ 1.237.486	\$ 1.237.486
3	4026684	Empaque cárter QSX15	1	\$ 375.000	\$ 375.000
4	4352144	Empaquetadura superior QSX15	1	\$ 3.979.412	\$ 3.979.412
5	3680602	Empaque carcasa de termostato QSX15	1	\$ 131.845	\$ 131.845
6	3684336	Empaque caja de termostato QSX15	1	\$ 113.010	\$ 113.010
7	5633496	Kit de anillos motor QSX15	6	\$ 1.050.993	\$ 6.305.958
8	4955590	Empaquetadura inferior QSX15	1	\$ 2.499.947	\$ 2.499.947
9	3689630	Engrane libre superior QSX15	1	\$ 2.657.457	\$ 2.657.457
10	3685252	Eje central engrane libre superior QSX15	1	\$ 455.200	\$ 455.200
11	3680240	Espaciador engrane libre superior QSX15	1	\$ 266.645	\$ 266.645

12	3681273	Arandela de lubricación engrane QSX15	2	\$ 246.895	\$ 493.790
13	3681174	Tornillos engrane libre QSX15	8	\$ 40.057	\$ 320.457
14	3693161	Kit engrane libre de concepto inferior QSX15	1	\$ 4.856.841	\$ 4.856.841
15	3681149	Arandela de engrane QSX15	1	\$ 282.352	\$ 282.352
16	3680260	Eje central engrane libre inferior QSX15	1	\$ 560.755	\$ 560.755
17	3102742	Engrane eje de levas de válvulas QSX15	1	\$ 2.095.286	\$ 2.095.286
18	3102739	Espaciador árbol eje de levas válvulas QSX15	1	\$ 354.520	\$ 354.520
19	LF9070	Filtro de aceite QSX15	1	\$ 232.211	\$ 232.211
20	FS1040	Filtro de combustible QSX15	1	\$ 111.667	\$ 111.667
21	WF2126	Filtro de refrigerante QSX15	1	\$ 196.382	\$ 196.382
22	3680542	Engrane cigüeñal QSX15	1	\$ 2.375.387	\$ 2.375.387
23	3068935	Cuña adaptador cigüeñal QSX15	1	\$ 52.252	\$ 52.252
24	4965400	Adaptador cigüeñal QSX15	1	\$ 3.264.256	\$ 3.264.256
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>\$ 33.515.942</b>

#### 4.6.2 Costos por Conceptos de Mano de Obra y Logística

Adicionalmente, a los repuestos requeridos se generan costos por conceptos de mano de obra y logística, los generadores se encuentran en su mayoría en campos petroleros; lo cual implica viáticos, tiquetes aéreos y alquiler de camionetas para los desplazamientos en los campos.

**Tabla 8**

*Costos de mantenimientos correctivos por concepto de mano de obra y logística*

ITEM	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1	Técnico Mecánico	Hora	32	\$ 33.058	\$ 1.057.851
2	Técnico Electricista	Hora	32	\$ 33.058	\$ 1.057.851
3	Viáticos	Dia	8	\$ 250.000	\$ 2.000.000
4	Tiquetes aéreos	Trayecto	4	\$ 800.000	\$ 3.200.000
5	Alquiler camioneta	Dia	4	\$ 558.000	\$ 2.232.000
				<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 9.547.702</b>

## 5. Conclusiones

Se aplicó de forma práctica la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) a los grupos electrógenos de modelo QSX15 de la empresa Copower Ltda.

Este proceso permitió estructurar un plan de mantenimiento ajustado a las condiciones reales de la operación, reemplazando la práctica de seguir únicamente las recomendaciones del Fabricante de los equipos. A través del análisis funcional, la identificación de los modos de fallas y la evaluación de sus consecuencias, se definieron estrategias de mantenimiento orientadas a garantizar la continuidad operativa de los equipos.

Se evidenció que los sistemas de lubricación, combustible y refrigeración son los de mayor incidencia en la ocurrencia de fallas que afectan la disponibilidad y confiabilidad. Por lo cual, se establecieron tareas específicas para cada modo de falla, priorizando aquellas que tienen un impacto real en la prevención de fallas críticas y en la reducción de paradas no programadas. Este plan de mantenimiento permitirá tener una mejora significativa en la disponibilidad de los generadores y un uso eficiente de los recursos técnicos y económicos de la Empresa.

El desarrollo de la metodología RCM, con la clasificación de los modos de falla, aportaron una visión clara de las prioridades dentro del mantenimiento, generando un cambio de mentalidad en el Personal operación y mantenimiento, orientando las labores hacia una cultura más preventiva, basada en el análisis y la toma de decisiones fundamentadas en la confiabilidad del equipo.

Se estableció una base estructurada sobre la cual se puede continuar fortaleciendo la gestión del mantenimiento. Además, la metodología desarrollada es aplicable a otros modelos de generadores.

Contribuye a la sostenibilidad de las operaciones al reducir costos, tiempos de parada, riesgos ambientales y una percepción positiva por parte de los Clientes.

## 6. Recomendaciones

Reforzar los procedimientos e instructivos de inspección y control de los sistemas más críticos, especialmente los de lubricación, combustible y refrigeración, que son los que mayor impacto tienen sobre el correcto funcionamiento del grupo generador QSX15. Incorporar técnicas predictivas como el análisis de aceite, la medición de vibraciones.

Mantener la capacitación continua del Personal técnico en la metodología RCM y en las buenas prácticas de instalación, montaje, operación y diagnóstico. La calidad del trabajo humano sigue siendo un factor determinante en la confiabilidad de los equipos, por lo que fortalecer las competencias técnicas del Personal debe ser una prioridad.

Utilizar herramientas digitales o software de gestión de mantenimiento (CMMS) para documentar las actividades, los repuestos utilizados y las horas de operación. Esto facilitará la trazabilidad de las intervenciones y permitirá una evaluación más constante de la efectividad del plan de mantenimiento a través del tiempo.

### Referencias Bibliográficas

Comisión Electrotécnica Internacional. (2009). *IEC 60300-3-11*. Comisión Electrotécnica Internacional.

EMAINT. (2023). *Qué es el mantenimiento preventivo?* EMAINT:  
<https://www.emaint.com/es/what-is-preventive-maintenance/>

Moubray, J. M. (2004). *RCM II*. Aladon Ltda.

Organización Internacional de Normalización. (2016). *ISO 14224*. ISO.

Ortiz Plata, D. (2009). *Pgmanten*.

Ortiz Plata, D. (2021). Modo de Falla v2021104 - presentación.

SAE, D. p. (1999). *SAE JA1011 Issued AUG1999*.

Sociedad de Ingenieros Automotrices. (2002). *SAE JA1012*.