

# Universidad Nacional de Ingeniería

## Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

### **Mantenimiento Preventivo Centrado en la Confiabilidad para mejorar la Disponibilidad de la flota Jumbos de los Equipos Trackless en una Unidad Minera**

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborado por

Ronald Stany De la Cruz Díaz

 [0009-0009-5284-5578](https://orcid.org/0009-0009-5284-5578)

Asesor

MSc. Benjamin Angel Flores Zavala

 [0000-0002-4593-9826](https://orcid.org/0000-0002-4593-9826)

LIMA – PERÚ

2025

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Citar/How to cite              | (De la Cruz, 2025)                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Referencia/Reference           | De la Cruz, R. (2025). <i>Mantenimiento Preventivo Centrado en la Confiabilidad para mejorar la Disponibilidad de la flota Jumbos de los Equipos Trackless en una Unidad Minera</i> . [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI. |
| Estilo/Style:<br>APA (7ma ed.) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

## Lista de Contenido

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| Lista de Contenido .....                                       | iii       |
| Lista de Tablas .....                                          | vi        |
| Lista de Figuras .....                                         | vii       |
| RESUMEN.....                                                   | ix        |
| ABSTRACT .....                                                 | x         |
| INTRODUCCIÓN.....                                              | xi        |
| <b>CAPITULO I: Generalidades .....</b>                         | <b>1</b>  |
| 1.1. Antecedentes de la Investigación .....                    | 1         |
| 1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio..... | 3         |
| 1.3. Formulación del Problema .....                            | 6         |
| 1.3.1. Problema Principal .....                                | 6         |
| 1.3.2. Problemas Secundarios .....                             | 6         |
| 1.4. Justificación e Importancia .....                         | 7         |
| 1.5. Objetivos.....                                            | 7         |
| 1.5.1. Objetivo General.....                                   | 7         |
| 1.5.2. Objetivos Específicos.....                              | 8         |
| 1.6. Hipótesis .....                                           | 8         |
| 1.6.1. Hipótesis General.....                                  | 8         |
| 1.6.2. Hipótesis Específicas.....                              | 8         |
| 1.7. Variables y Operacionalización de variables .....         | 9         |
| 1.7.1. Operacionalización de variables .....                   | 9         |
| 1.8. Metodología de la Investigación .....                     | 10        |
| 1.8.1. Unidad de Análisis.....                                 | 10        |
| 1.8.2. Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación.....             | 10        |
| 1.8.3. Diseño de la Investigación .....                        | 10        |
| 1.8.4. Fuentes de Información.....                             | 11        |
| 1.8.5. Población y Muestra .....                               | 11        |
| 1.8.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....    | 11        |
| 1.8.7. Análisis y Procesamiento de Datos .....                 | 11        |
| <b>CAPITULO II: Marco Teórico y Marco Conceptual .....</b>     | <b>12</b> |
| 2.1. Bases Teóricas.....                                       | 12        |
| 2.1.1. Minería .....                                           | 12        |
| 2.1.2. Mina .....                                              | 12        |
| 2.1.3. Mina a cielo abierto .....                              | 12        |

|                                                                                           |                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.4.                                                                                    | Mina subterránea.....                                                         | 12        |
| 2.1.5.                                                                                    | Ciclo de minado en minería subterránea.....                                   | 13        |
| 2.1.6.                                                                                    | Equipos de Perforación: .....                                                 | 13        |
| 2.1.7.                                                                                    | Jumbo.....                                                                    | 14        |
| 2.1.8.                                                                                    | Jumbo Boomer S1D de Epiroc.....                                               | 14        |
| 2.1.9.                                                                                    | Mantenimiento .....                                                           | 29        |
| 2.1.10.                                                                                   | Mantenimiento Correctivo .....                                                | 29        |
| 2.1.11.                                                                                   | Mantenimiento Preventivo.....                                                 | 29        |
| 2.1.12.                                                                                   | Mantenimiento predictivo .....                                                | 30        |
| 2.1.13.                                                                                   | Plan de Mantenimiento.....                                                    | 30        |
| 2.1.14.                                                                                   | Disponibilidad.....                                                           | 30        |
| 2.1.15.                                                                                   | Tiempo medio entre fallas (MTBF).....                                         | 31        |
| 2.1.16.                                                                                   | Tiempo medio de reparación (MTTR).....                                        | 32        |
| 2.1.17.                                                                                   | Análisis de criticidad .....                                                  | 32        |
| 2.1.18.                                                                                   | Metodología de Análisis de Criticidad de los Puntos.....                      | 33        |
| 2.1.19.                                                                                   | Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....          | 34        |
| 2.1.20.                                                                                   | Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE).....                              | 44        |
| 2.1.21.                                                                                   | El Diagrama de Decisión de RCM .....                                          | 46        |
| 2.2.                                                                                      | Marco Conceptual: Definición de términos o conceptos.....                     | 49        |
| <b>CAPITULO III: Desarrollo del Trabajo de Investigación.....</b>                         |                                                                               | <b>53</b> |
| 3.1.                                                                                      | Análisis de criticidad para determinar el componente más crítico .....        | 53        |
| 3.2.                                                                                      | Identificación de las funciones del Motor Diesel .....                        | 57        |
| 3.3.                                                                                      | Identificación de las fallas funcionales del Motor Diesel.....                | 58        |
| 3.4.                                                                                      | Análisis de Modos de Falla y Efectos aplicado al Motor Diesel.....            | 58        |
| 3.4.1.                                                                                    | Identificación de los modos y efectos de falla del Motor Diesel.....          | 58        |
| 3.4.2.                                                                                    | Elaboración de la Hoja de Información RCM del Motor Diesel.....               | 62        |
| 3.5.                                                                                      | Aplicación del Diagrama de Decisión RCM y registro de tareas propuestas ..... | 65        |
| 3.5.1.                                                                                    | Elaboración de la Hoja de Decisión RCM del Motor Diesel .....                 | 65        |
| 3.6.                                                                                      | Incorporación y difusión de tareas proactivas obtenidas del RCM .....         | 66        |
| <b>CAPITULO IV: Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión de Resultados.....</b> |                                                                               | <b>68</b> |
| 4.1.                                                                                      | Disponibilidad antes y después de la implementación del RCM .....             | 68        |
| 4.2.                                                                                      | Validación de resultados mediante Prueba T .....                              | 73        |
| 4.3.                                                                                      | Contrastación de Hipótesis.....                                               | 76        |
| 4.3.1.                                                                                    | Contrastación de Hipótesis General.....                                       | 76        |
| 4.3.2.                                                                                    | Contrastación de Hipótesis Específicas .....                                  | 76        |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 4.4. Discusión de Resultados.....                              | 78 |
| 4.4.1. Resultados del Objetivo General .....                   | 78 |
| 4.4.2. Resultados de los objetivos específicos .....           | 81 |
| 4.4.3. Beneficios en la Operación minera.....                  | 82 |
| 4.4.4. Contrastación de resultados con estudios similares..... | 83 |
| CONCLUSIONES .....                                             | 85 |
| RECOMENDACIONES .....                                          | 87 |
| REFERENCIAS .....                                              | 89 |
| ANEXOS.....                                                    | 91 |

## Lista de Tablas

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1:</b> Lista de equipos Jumbos Frontoneros de la Unidad Minera .....             | 4  |
| <b>Tabla 2:</b> Operacionalización de variables .....                                     | 9  |
| <b>Tabla 3:</b> Puntuación de los criterios para el Análisis de Criticidad .....          | 53 |
| <b>Tabla 4:</b> Criticidad de Sistemas en el Jumbo Boomer S1D.....                        | 56 |
| <b>Tabla 5:</b> Funciones del componente Motor Diesel del Jumbo Boomer S1D .....          | 57 |
| <b>Tabla 6:</b> Fallas Funcionales del componente Motor Diesel del Jumbo Boomer S1D ..... | 58 |
| <b>Tabla 7:</b> Modos y Efectos de Falla del Motor Diesel del Jumbo.....                  | 59 |
| <b>Tabla 8:</b> Hoja de Información RCM del Motor Diesel .....                            | 63 |
| <b>Tabla 9</b> Hoja de Decisión RCM del Motor Diesel .....                                | 65 |
| <b>Tabla 10:</b> Disponibilidad Antes de la aplicación del RCM - Jumbo JF116.....         | 68 |
| <b>Tabla 11:</b> Disponibilidad Después de la aplicación del RCM - Jumbo JF116.....       | 68 |
| <b>Tabla 12:</b> Disponibilidad Antes de la aplicación del RCM - Jumbo JF117.....         | 69 |
| <b>Tabla 13:</b> Disponibilidad Después de la aplicación del RCM - Jumbo JF117.....       | 69 |
| <b>Tabla 14:</b> Disponibilidad Antes de la aplicación del RCM - Jumbo JF118.....         | 69 |
| <b>Tabla 15:</b> Disponibilidad Después de la aplicación del RCM - Jumbo JF118.....       | 70 |
| <b>Tabla 16:</b> Disponibilidad Antes de la aplicación del RCM - Jumbo JF119.....         | 70 |
| <b>Tabla 17:</b> Disponibilidad Después de la aplicación del RCM - Jumbo JF119.....       | 70 |
| <b>Tabla 18:</b> Disponibilidad promedio mensual Antes y Después del RCM.....             | 71 |
| <b>Tabla 19:</b> Diferencia de Disponibilidad, por equipo, Antes y Después del RCM .....  | 73 |
| <b>Tabla 20:</b> Resultados de Prueba T en Microsoft Excel .....                          | 75 |
| <b>Tabla 21:</b> Contrastación de Resultados con otros estudios .....                     | 83 |

## Lista de Figuras

|                   |                                                                                                |    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b>  | Disponibilidad promedio mensual por jumbo (Periodo de Abril a Septiembre 2024).....            | 5  |
| <b>Figura 2:</b>  | Jumbo Boomer S1D trabajando .....                                                              | 14 |
| <b>Figura 3:</b>  | Componentes principales de un Jumbo S1D .....                                                  | 15 |
| <b>Figura 4:</b>  | Fotografía del Jumbo Boomer S1D.....                                                           | 16 |
| <b>Figura 5:</b>  | Despiece de una perforadora COP MD20 .....                                                     | 17 |
| <b>Figura 6:</b>  | Configuración típica de una viga BMHT serie 2000 .....                                         | 17 |
| <b>Figura 7:</b>  | Fotografía de boom y viga de Jumbo Boomer S1D .....                                            | 18 |
| <b>Figura 8:</b>  | Componentes de la Unidad de Brazo BUT 29 - Boomer S1D.....                                     | 19 |
| <b>Figura 9:</b>  | Fotografía de la bomba de agua y compresor del jumbo Boomer S1D .....                          | 20 |
| <b>Figura 10:</b> | Componentes del Compresor GAR30 - Boomer S1D .....                                             | 21 |
| <b>Figura 11:</b> | Bomba de agua del Sistema Agua/Aire del Boomer S1D .....                                       | 22 |
| <b>Figura 12:</b> | Bomba de unidad de potencia del Boomer S1D .....                                               | 23 |
| <b>Figura 13:</b> | Fotografía del Power Pack de un Jumbo S1D .....                                                | 23 |
| <b>Figura 14:</b> | Datos técnicos de las bombas de power pack del Boomer S1D .....                                | 24 |
| <b>Figura 15:</b> | Componentes típicos del tablero 440v del Boomer S1D .....                                      | 25 |
| <b>Figura 16:</b> | Datos técnicos del Motor Diesel Deutz BF4L 914.....                                            | 26 |
| <b>Figura 17:</b> | Fotografía del Motor Diesel Deutz BF4L 914.....                                                | 26 |
| <b>Figura 18:</b> | Arreglo típico de los componentes principales del sistema de transmisión en el Boomer S1D..... | 27 |
| <b>Figura 19:</b> | Datos técnicos de componentes principales del sistema de transmisión del S1D .....             | 28 |
| <b>Figura 20:</b> | Representación Esquemática del MTBF .....                                                      | 31 |
| <b>Figura 21:</b> | Modelo de Matriz de Criticidad .....                                                           | 33 |
| <b>Figura 22:</b> | Metodología de Análisis de Criticidad de los Puntos .....                                      | 34 |
| <b>Figura 23:</b> | Margen de deterioro .....                                                                      | 36 |
| <b>Figura 24:</b> | Modelo de La Hoja de Información de RCM .....                                                  | 45 |
| <b>Figura 25:</b> | Diagrama de Decisión RCM .....                                                                 | 47 |
| <b>Figura 26:</b> | Hoja de Decisión RCM .....                                                                     | 48 |
| <b>Figura 27:</b> | Matriz de Criticidad de Los Jumbo S1D.....                                                     | 55 |
| <b>Figura 28:</b> | Fotografía Modo de falla: Filtro Saturado / Obstruido .....                                    | 60 |
| <b>Figura 29:</b> | Fotografía Modo de Falla: Arrancador Inoperativo.....                                          | 61 |
| <b>Figura 30:</b> | Fotografía Modo de Falla: Alternador Inoperativo.....                                          | 61 |
| <b>Figura 31:</b> | Fotografía Modo de Falla: Válvulas descalibradas .....                                         | 61 |
| <b>Figura 32:</b> | Fotografía Modo de Falla: PTX obstruido .....                                                  | 62 |
| <b>Figura 33:</b> | Fotografía Modo de Falla: Turbocompresor deja pasar aceite.....                                | 62 |
| <b>Figura 34:</b> | Disponibilidad promedio mensual Antes y Después del RCM.....                                   | 71 |

**Figura 35:** N° De Paradas promedio mensual Antes y Después del RCM ..... 72

**Figura 36:** MTBF promedio mensual Antes y Después del RCM ..... 72

**Figura 37:** MTTR promedio mensual Antes y Después del RCM..... 73

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo aplicar la Metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera, conformada por jumbos frontoneros de la marca Epiroc, modelo Boomer S1D siendo un total de cuatro jumbos.

Para lograr el objetivo indicado se inicia con la determinación del componente más crítico de los jumbos aplicando el Análisis de Criticidad según el método de los puntos, siendo el motor diesel este componente.

Una vez determinado el componente más crítico, se identifican sus funciones y fallas funcionales para luego, mediante el Análisis de Modos de Falla y Efectos, encontrar los modos de falla asociados a cada falla funcional.

Luego de identificar las fallas funcionales se aplica el Diagrama de Decisiones de RCM para determinar tareas proactivas a implementar a fin de evitar dichas fallas y así aumentar el valor de la disponibilidad de los jumbos, objetivo de este estudio.

Por último, se calcula la disponibilidad de los jumbos después de la implementación de la metodología RCM y se compara con la disponibilidad antes de, resultando en un incremento de 5.13%, de 87.85% a 92.98%. Se validan estos resultados mediante una Prueba T.

El periodo de prueba previo y posterior a la implementación del RCM fue de 6 meses cada uno. En el proceso se identificaron 6 fallas funcionales, 30 modos y efectos de falla de este componente y se establecieron 24 tareas proactivas.

**Palabras clave:** Jumbo, Disponibilidad, RCM, Análisis de Criticidad, AMFE, Diagrama de Decisión

## ABSTRACT

The objective of this research is to apply the Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology to improve the availability of the Jumbo fleet within the Trackless Equipment of an underground mining unit. This fleet is composed of four front-face jumbos, brand Epiroc, model Boomer S1D.

To achieve the proposed objective, the process began with the identification of the most critical component of the jumbos by applying a Criticality Analysis using the point-based method, which determined the diesel engine as the most critical component.

Once the most critical component was identified, its functions and functional failures were defined. Then, through a Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), the failure modes associated with each functional failure were determined.

After identifying the functional failures, the RCM Decision Diagram was applied to determine proactive tasks aimed at preventing such failures and thus increasing the availability of the jumbos, which is the main goal of this study.

Finally, the availability of the jumbos after the implementation of the RCM methodology was calculated and compared with the availability prior to implementation, resulting in an increase of 5.13%, from 87.85% to 92.98%. These results were validated using a T-Test.

The evaluation period before and after the RCM implementation was six months each. During the process, 6 functional failures and 30 failure modes and effects were identified for this component, and 24 proactive tasks were established.

**Keywords:** Jumbo, Availability, RCM, Criticality Analysis, FMEA, Decision Diagram

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la minería subterránea ha revolucionado su modo de operación con la incorporación de equipos trackless, los cuales han optimizado notablemente la eficiencia, la seguridad y la adaptabilidad en las labores de extracción. Estos equipos, entre los que se encuentran los cargadores frontales (LHD), desatadores mecánicos, jumbos de perforación y equipos auxiliares, tienen la capacidad de moverse libremente por los túneles sin requerir de un sistema de rieles, lo que facilita una respuesta más ágil ante modificaciones en la configuración de la mina.

Un aspecto fundamental para el éxito operativo de estos equipos es su disponibilidad, que se define como el porcentaje de tiempo en que se encuentran operativos en relación con el tiempo total previsto para su uso. Una disponibilidad aceptable para la empresa debe ser mayor o igual al 85%, siendo un valor óptimo 92.5%.

Mantener una disponibilidad por encima del objetivo de la operación, requiere de lineamientos y recursos que, si solo se limitan a realizar los mantenimientos programados según la recomendación del fabricante o atender las paradas no programadas rápidamente, podrían no ser eficientes o generar mayores costos. Es aquí donde cobra relevancia la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad el cual usa herramientas como el Análisis de Criticidad, Análisis de Modos y Efectos de Falla para definir tareas proactivas a incorporar a la gestión del mantenimiento que reduzcan el riesgo de fallas y paradas no previstas, reflejándose en un ahorro de recursos y de tiempo que puede ser usado para seguir mejorando el proceso.

La presente investigación se centra en los Jumbos Frontoneros de la flota de equipos trackless de una unidad minera ubicada en el centro del país, de los cuales se seleccionará, mediante un Análisis de Criticidad, su sistema o componente más crítico, siendo este el motor Diesel.

Los motores diesel de los jumbos frontoneros están expuestos a las condiciones agrestes de la operación minera entre las que destacan: una alta concentración de polvo

y partículas, ciclos de trabajo severos, contaminación del combustible, filtros falsificados o defectuosos, entre otros, por lo que resulta fundamental la incorporación de tareas proactivas obtenidas de la implementación del RCM para eliminar o reducir el impacto de estas condiciones en el motor Diesel, tales como: obstrucción de filtros de aire, desgaste prematuro de cilindros y válvulas, generación de exceso de humos por combustión incompleta, daño al turbo compresor por ingreso de partículas al sistema de admisión, fugas de aceite por cambios bruscos de temperatura, por citar algunos.

En tal sentido, y para su mejor comprensión, el presente trabajo de investigación ha sido dividido en 4 capítulos, según el detalle a continuación:

El CAPÍTULO I, en el que se abarca la identificación y descripción del problema de estudio, formulación del problema y su justificación e importancia; además, se plantean los objetivos, hipótesis, operacionalización de variables y la metodología de investigación.

El CAPÍTULO II, que contiene el marco teórico y conceptual el cual inicia con la presentación de las bases teóricas y finaliza con la definición de términos y conceptos a ser usados en el desarrollo de la investigación.

El CAPÍTULO III, donde se lleva a cabo el desarrollo del trabajo de investigación, el cual inicia con el análisis de criticidad para después aplicar el análisis de modos de falla y efectos y culminar con la generación de tareas proactivas utilizando el diagrama de decisiones de RCM

El CAPÍTULO IV, el cual contiene los resultados obtenidos del trabajo de investigación, se contrastan las hipótesis y se hace una breve discusión de dichos resultados.

Por último, el trabajo culmina con las conclusiones y recomendaciones respectivas.

# CAPITULO I

## Generalidades

### 1.1. Antecedentes de la Investigación

Peñañiel et al. (2021)<sup>1</sup> realiza un caso de aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en una máquina empacadora de atún en latas, lo que permitió rediseñar la función de mantenimiento del equipo objeto de estudio, eliminando actividades de mantenimiento que no garantizaban valores aceptables de confiabilidad y disponibilidad basadas en la experiencia del personal adquirida a través del tiempo y reemplazándolas por estrategias de clase mundial tales como el Análisis de los Modos y Efectos de Fallas (AMEF) en el contexto operacional real en el que opera el mismo. Este caso de estudio demuestra que no solo basta con la experiencia del personal en determinados equipos, sino que existen otros factores muy influyentes como lo son las condiciones del entorno de operación y la naturaleza misma de trabajo del equipo para definir las acciones a implementar en la gestión del mantenimiento a fin de que esta pueda ir mejorando sus procesos en el tiempo.

Lara (2023)<sup>2</sup> implementó un plan de mantenimiento RCM a fin de incrementar la disponibilidad de los Jumbos Frontoneros, equipos electrohidráulicos, de la Marca Epiroc. Modelo S1D presentes en la UM Pallca, ubicada en el departamento de Ancash. Esto a raíz de que no se estaba cumpliendo el objetivo de mantener una Disponibilidad Mecánica promedio mensual mayor a 85%, siendo el valor real de la disponibilidad promedio 73%. Los métodos utilizados para elaborar el plan implementado consistieron en dividir el equipo en sistemas y subsistemas, identificando sus modos de falla y clasificándolos según su

---

<sup>1</sup> Peñañiel, J., Arteaga, A., Daquinta-Gradaille, A. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) caso de aplicación máquina empacadora de atún en latas. [Revista Científica "INGENIAR": Ingeniería, Tecnología e Investigación. Vol. 4 Núm. 8 (Ed. Esp. dic. 2021) ISSN: 2737-6249]. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespdic.0050>

<sup>2</sup> Lara, W. (2023). Plan de mantenimiento RCM para incrementar la disponibilidad de los Jumbos S1D en la unidad minera Pallca – Ancash [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/9617>

criticidad teniendo en cuenta un historial previo del equipo, a fin de asignar un orden de prioridad de las acciones de mantenimiento a programar. La aplicación del plan en mención dio como resultado, luego de un periodo de 6 meses, un incremento del 14% en la disponibilidad promedio mensual siendo el nuevo valor real promedio 87%. Este resultado demuestra la factibilidad y efectividad de utilizar un modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad en una flota de equipos trackless.

Huamán (2018)<sup>3</sup> se planteó el objetivo de diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad de un Tractor sobre Oruga CAT D8T, un cargador frontal SEM 659C y un Cargador frontal Cat. 966H, equipos pesados ocupados para el carguío y acarreo en una cantera de caliza. Para tales efectos se recolectaron la información técnica de los equipos, el historial de fallas e indicadores previos, así también se realizaron Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF) y Criticidad de cada equipo y de sus sistemas. Con esto se generó lo que el autor citado llama “Hoja de Decisión del RCM” que es un checklist de tareas a realizar en base a una serie de evaluaciones previas, todas ellas plasmadas en una cartilla ordenada. Este recurso del RCM fue incorporado al plan de mantenimiento preventivo; que, luego de ser aplicado por un periodo de 4 meses, generó como resultado la mejora de la disponibilidad del Tractor sobre Orugas en un 7.19%, Del Cargador Frontal SEM 659C en un 8.06% y del Cargador frontal Cat. 966H en un 7.12%. Estos resultados respaldan la idoneidad de utilizar recursos del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad en equipos pesados.

---

<sup>3</sup> Huamán, D. (2018). Plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Callao]. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/6095>

Escarcena & Carrillo (2019)<sup>4</sup> implementaron un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los Jumbos Empernadores modelo Bolter 88 de la empresa RESEMIN (manufacturera de dichos equipos) para una muestra de 36 del total de 150 equipos producidos por la empresa en el periodo 2017-2018 y fueron puestos en operación en alguna unidad o unidades de la compañía minera VOLCAN (Según tabla de resultados). Para diseñar su plan se analizó la criticidad de los equipos utilizando el método de factores ponderados basado en el concepto de riesgo para los componentes de cada sistema o subsistema del equipo. Así también se utilizaron los recursos de Diagrama de entrada, proceso y salida, el AMEF y se aplicó el árbol lógico de decisiones. Una vez diseñado el plan y aplicado por el periodo 2017-2018, se obtuvo como resultado el incremento de la disponibilidad mecánica promedio en un 6.68% y de la confiabilidad en un 10.88. Además, en el proceso se determinaron 13 fallas funcionales y 44 modos y efectos de fallas. Así mismo se definieron 44 actividades de mantenimiento a instaurar en los equipos. Lo que demuestra que la aplicación de un plan de mantenimiento no solo genera como resultado mejoras en la disponibilidad, sino que también genera que se reduzcan paradas no programadas (confiabilidad) y aumenta el Know How del personal de mantenimiento de la empresa identificando los modos de falla de los equipos y empleando el tiempo ahorrado en el análisis e instauración de nuevas tareas de mantenimiento que ayuden a mantener de manera más eficiente los equipos.

## **1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio**

Cada mina en el Perú tiene distintas condiciones de terreno, de tipo de roca, de operación, de recursos naturales y ambientales. Esto genera que el desempeño y durabilidad de un equipo trackless no sea el mismo en cada una de ellas por lo que es necesario poder identificar los modos de falla asociados a estas condiciones y a su vez

---

<sup>4</sup> Escarcena, C. & Carrillo, R. (2019). Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para equipos de sostenimiento bolter 88 [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Callao]. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/5582>

asociados a la naturaleza del trabajo de cada equipo. Es cierto que la disponibilidad es un indicador importante el cual requiere de lineamientos y recursos para poder mantenerla por encima del objetivo de la operación, pero mantener dicho valor por encima del estándar realizando solo los mantenimientos programados según la recomendación del fabricante o atendiendo las paradas no programadas rápidamente, no garantiza que en el proceso se gaste más recurso que el necesario o que sea eficiente. Es aquí donde cobra relevancia la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad el cual usa herramientas como el Análisis de Criticidad, Análisis de Modos y Efectos de Falla para definir tareas proactivas a incorporar a la gestión del mantenimiento que reduzcan el riesgo de fallas y paradas no previstas, reflejándose en un ahorro de recursos y de tiempo que puede ser usado para seguir mejorando el proceso en constante retroalimentación.

La presente investigación se centra en la flota de equipos trackless de una unidad minera ubicada en el centro del país, específicamente en la flota de Jumbos Frontoneros, de los cuales se seleccionará su sistema o componente más crítico, el cual será el objeto de estudio de este trabajo. Luego de identificar ese sistema podremos dar solución al aspecto que está generando la mayor cantidad de problemas actualmente en la flota en cuestión. En la tabla 1 se listan los jumbos frontoneros con los que se cuenta en la unidad minera.

**Tabla 1**

*Lista de equipos Jumbos Frontoneros de la Unidad Minera*

| COD INTERNO | MARCA DE EQUIPO | MODELO DE EQUIPO | SERIE DE EQUIPO | PROPIO/ALQ. | AÑO FAB. | CAPACIDAD |
|-------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------|----------|-----------|
| JF116       | EPIROC          | S1D              | TMG23URE0514    | PROPIO      | 2023     | 14 PIES   |
| JF117       | EPIROC          | S1D              | TMG24URE0014    | PROPIO      | 2024     | 14 PIES   |
| JF118       | EPIROC          | S1D              | TMG24URE0074    | PROPIO      | 2024     | 14 PIES   |
| JF119       | EPIROC          | S1D              | TMG24URE0147    | PROPIO      | 2024     | 14 PIES   |

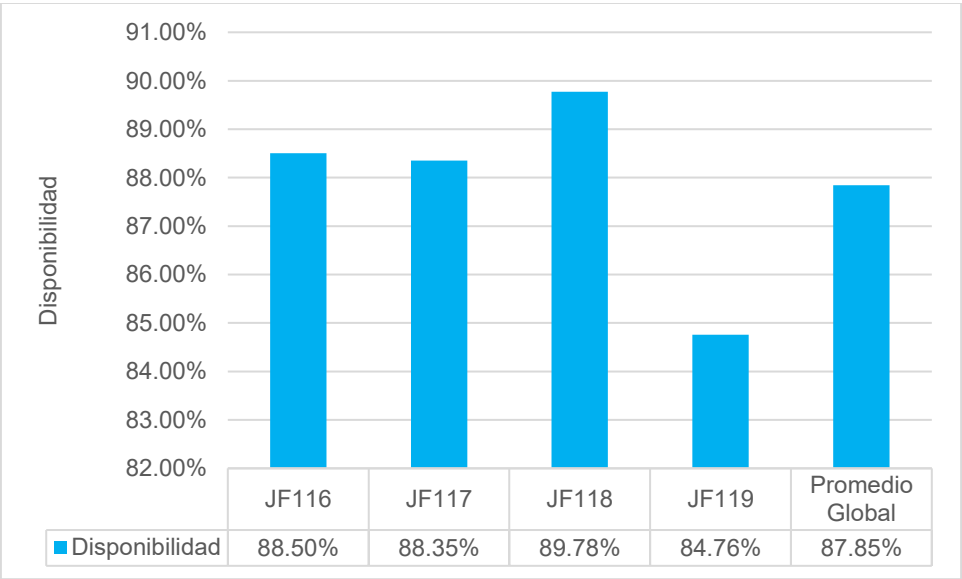
*Nota.* Elaboración propia usando datos del máster de equipos de la empresa.

Hasta el momento solo se cuenta con un Plan de Mantenimiento Preventivo para los Equipos Trackless, basado en la experiencia general y las recomendaciones del

fabricante. En cada Mantenimiento Programado se aprovecha a inspeccionar y evaluar el equipo para generar Backlogs a fin de mantener el equipo en sus condiciones originales de fábrica, dependiendo solo de la experiencia de los mecánicos a cargo. Esto no garantiza un análisis a profundidad de los estados de los equipos, la identificación de todos los modos de fallas, la predicción de estas ni la eliminación o disminución de paradas no programadas en campo por las condiciones descritas al inicio de esta sección. Esto se ha visto reflejado en una disminución de la Disponibilidad de los Jumbos Frontoneros de la unidad minera.

**Figura 1**

*Disponibilidad promedio mensual por jumbo (Periodo de Abril a Septiembre 2024)*



*Nota.* Elaboración propia usando los datos de reportes de KPI mensuales.

Por eso es importante la instauración de un Modelo de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad que ayudará a ahorrar el tiempo y recursos, que actualmente son empleados por ejemplo en intervenir un equipo que presente una parada no programa en campo, y utilizarlos en la mejora continua de los procedimientos que garanticen la confiabilidad de los equipos. Todo esto se verá reflejado en el incremento de la

Disponibilidad como la variable dependiente cuantificable que nos permitirá medir el estado de progreso y mejoramiento en la gestión de mantenimiento de los equipos.

Si bien es cierto, este caso de estudio se centra en el sistema o componente más crítico de la flota de jumbos frontoneros, resulta factible extenderlo a otros equipos o unidades mineras ya que el RCM indica un procedimiento estandarizado de su aplicación en cualquier sistema: primero se deberá identificar las funciones y fallas funcionales de cada sistema, para luego mediante el AMFE identificar los modos de falla y por último mediante el Diagrama de Decisiones obtener qué tareas periódicas se van a implementar a fin de evitar dichas fallas. Específicamente para esta unidad minera al haberse realizado un análisis de criticidad previo, luego de notar las mejoras de disponibilidad por evitar las fallas del motor Diesel con la aplicación del RCM, deberá repetirse el proceso para cada uno de los demás sistemas por orden de criticidad, creando o enriqueciendo las cartillas de mantenimiento periódico de cada sistema con las nuevas tareas obtenidas, tal como se ha realizado para el sistema Diesel en base a su componente más crítico.

### **1.3. Formulación del Problema**

#### **1.3.1. Problema Principal**

¿De qué manera se mejora la disponibilidad de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de la Unidad Minera?

#### **1.3.2. Problemas Secundarios**

- 1) ¿De qué manera se establece el subsistema o componente crítico en el cual comenzar a aplicar la metodología RCM en la flota de Jumbos de la Unidad Minera?
- 2) ¿De qué manera podemos identificar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de la Unidad Minera, en base al componente crítico establecido?

- 3) ¿De qué manera podemos evitar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de la Unidad Minera, en base al componente crítico establecido?
- 4) ¿De qué manera se puede validar una mejora en la disponibilidad de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de la Unidad Minera después de la implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad?

#### **1.4. Justificación e Importancia**

El incremento de la disponibilidad de la flota de Jumbos de Equipos Trackless de la Unidad Minera, producto de la Implementación de un Modelo de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, contribuirá con los objetivos de la empresa al aumentar la productividad al tener el equipo más tiempo en campo que en taller, así como reducirá los costos operativos al evitar el lucro cesante generado durante el tiempo en que el equipo está parado. Asu vez, permitirá que el proceso de mantenimiento sea más eficiente, por lo tanto, se cuente con mayor tiempo para la evaluación de los equipos, de sus sistemas y subsistemas, modos de operación, modos y efectos de falla lo que se verá reflejado en una mejora continua de la gestión de mantenimiento de los mismos, una disminución de los costos de mantenimiento y a su vez menos carga operativa para el personal de mantenimiento lo que se traducirá en un mejor clima laboral.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. *Objetivo General***

Proponer Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- 1) Aplicar el análisis de criticidad para establecer el subsistema o componente crítico en el cual comenzar a aplicar la metodología RCM en la flota de Jumbos de la Unidad Minera
- 2) Realizar el AMFE para identificar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera, en base al componente crítico establecido.
- 3) Utilizar el Diagrama de Decisión para establecer las Tareas Proactivas a implementar para evitar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera.
- 4) Realizar una Prueba T para validar que los datos de disponibilidad obtenidos luego de la implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reflejan una mejora.

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis General.**

La propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad mejora la Disponibilidad de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera.

### **1.6.2. Hipótesis Específicas**

- 1) La aplicación del análisis de criticidad permite establecer el subsistema o componente crítico en el cual comenzar a aplicar la metodología RCM en la flota de Jumbos de la Unidad Minera
- 2) La realización del AMFE permite identificar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera, en base a su componente crítico.
- 3) La utilización del Diagrama de Decisión permite establecer las Tareas Proactivas a implementar para evitar los problemas que generan las paradas

no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera.

- 4) La realización de una Prueba T validará que los datos de disponibilidad obtenidos luego de la implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reflejan una mejora.

## 1.7. Variables y Operacionalización de variables

### 1.7.1. Operacionalización de variables

La operacionalización de variables se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Operacionalización de variables*

| Variables                                               | Definición Conceptual                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Definición Operacional                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Operacionalización                                                         |                                                                                        | Escala de medición                                                                       |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Dimensiones                                                                | Indicadores                                                                            |                                                                                          |
| VI:<br>Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) | El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos, en función de su diseño y de su construcción. El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga (Marks, 1997). | La aplicación de un estudio piloto del RCM, a un equipo Jumbo de una Flota de Equipos Trackless, incluirá un análisis de criticidad, la identificación de modos de falla y efectos, y determinación de tareas de mantenimiento preventivo para su componente más crítico (motor diesel). (Nowlan & Heap, 1978). | Análisis de criticidad para encontrar el componente más crítico del equipo | Grado de criticidad del equipo basado en el concepto del riesgo                        | Asignación de puntaje, siendo el menor valor el 'menos crítico' y mayor es 'más crítico' |
|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Análisis de modos y efectos de falla                                       | Fallas funcionales                                                                     | Cantidad de fallas funcionales                                                           |
|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                            | Modos de falla                                                                         | Cantidad de modos de falla                                                               |
|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                            | Efectos de falla                                                                       | Cantidad de efectos de falla                                                             |
|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Diagrama de Decisión RCM                                                   | Tareas Proactivas y Acciones de Default                                                | Cantidad de Tarea Proactivas y Acciones de Default                                       |
|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Prueba T para muestras relacionadas                                        | Promedio de las diferencias de disponibilidad antes y después de la implementación RCM | $t_{\text{estadístico}} > t_{\text{crítico}}$<br>$\alpha > p$                            |

|                                        |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                     |                                                                |                                                                                                               |                                                                                                                           |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VD:<br>Disponibilidad de equipos Jumbo | Disponibilidad es la probabilidad de que el equipo Jumbo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables. (Morales, 2009) | Es la relación del tiempo en que el equipo Jumbo está apto para ser usado de forma continua en determinado periodo versus el tiempo total de dicho periodo, mostrada en porcentaje. | - Tiempo operativo<br><br>- Tiempo de Parada por Mantenimiento | - Tasa de Disponibilidad<br><br>- Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)<br><br>- Tiempo Medio de Reparación (MTTR) | Valor de disponibilidad después de la implementación del RCM > Valor de disponibilidad antes de la implementación del RCM |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Nota.* Elaboración propia

## **1.8. Metodología de la Investigación**

### **1.8.1. Unidad de Análisis**

La investigación se realiza teniendo como muestra de estudio la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una unidad minera ubicada en la Sierra central del Perú, de la cual, aplicando un Análisis de Criticidad se seleccionará su sistema o componente más crítico, el cual será el objeto de estudio del presente trabajo de investigación y con el cual se empezará a utilizar el modelo de mantenimiento preventivo RCM que mejore su disponibilidad con miras en extender este modelo a toda la flota de equipos trackless en el futuro.

### **1.8.2. Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación.**

De acuerdo con la clasificación la presente investigación es de tipo aplicada pues va a modificar la realidad (mejorar la disponibilidad) aplicando conocimientos científicos disponibles; el enfoque cuantitativo porque se va a plantear y demostrar una hipótesis en base a la evaluación de cantidades numéricas, nivel descriptivo pues se basa en la medición y observación de las variables para determinar cómo se manifiestan; correlacional porque hay relación entre variables

### **1.8.3. Diseño de la Investigación**

Se ha determinado el diseño de la presente investigación como el diseño es no experimental, ya que se procedió a realizar observaciones y deducciones en base a la recolección de datos estadísticos registrados en la empresa.

#### **1.8.4. Fuentes de Información**

Se utilizarán como fuentes de información los reportes de KPI mensuales proporcionados por el área de planeamiento de mantenimiento por los periodos de Abril a Diciembre del 2024 y de Enero a Marzo del 2025.

#### **1.8.5. Población y Muestra**

La población comprende los 4 jumbos frontoneros de la marca Epiroc, modelo Boomer S1D (los mismos que fueron listado anteriormente en la tabla 1) La muestra son los mismos 4 jumbos, teniendo como enfoque el componente más crítico determinado por el Análisis de Criticidad.

#### **1.8.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Se aplicarán el Análisis de Criticidad para obtener el dato del componente más crítico; además, se utilizarán las herramientas de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para obtener los datos de funciones, fallas funcionales, modos de falla y tareas proactivas a implementar en los jumbos frontoneros.

#### **1.8.7. Análisis y Procesamiento de Datos**

Para el análisis y procesamiento de datos se utilizará el software Microsoft Excel. La validación de datos se realizará a través de una Prueba T con el soporte del software mencionado.

## **CAPITULO II**

### **Marco Teórico y Marco Conceptual**

#### **2.1. Bases Teóricas**

##### **2.1.1. Minería**

Cuando hablamos de minería nos referimos actividad industrial cuyo propósito es extraer de forma selectiva los recursos minerales que se encuentran en la corteza terrestre ya sean sólidos, líquidos o gaseosos para transformarlos en insumos básicos utilizados por distintos sectores productivos, contribuyendo así al abastecimiento de bienes esenciales para la vida moderna (Herrera Herbert, 2017, pág. 1).

##### **2.1.2. Mina**

Según Herrera Herbert (2017), una mina se puede definir como el conjunto de obras y excavaciones realizadas con el objetivo de aprovechar un yacimiento y obtener minerales de valor. Pueden ser divididas en varios tipos según el criterio adoptado; sin embargo, el más aceptado considera si la explotación se realiza encima o debajo de la superficie del yacimiento, dividiéndola en mina a cielo abierto y mina subterránea (pág. 6).

##### **2.1.3. Mina a cielo abierto**

Una mina a cielo abierto es aquella en la que la extracción de minerales se realiza desde la superficie del terreno, mediante la creación de grandes excavaciones o huecos que permiten acceder al yacimiento, a diferencia de las minas subterráneas, donde la explotación se lleva a cabo mediante túneles y galerías bajo tierra (Herrera Herbert, 2017, pág. 6).

##### **2.1.4. Mina subterránea**

Una mina subterránea es un sistema de obras bajo tierra, compuesto por pozos, túneles, rampas, chimeneas, cámaras e instalaciones auxiliares, diseñado para extraer de forma eficiente minerales ubicados a gran profundidad, en yacimientos que no pueden ser explotados por métodos a cielo abierto debido a limitaciones económicas, ambientales o sociales (Herrera Herbert, 2019, pág. 7).

### **2.1.5. Ciclo de minado en minería subterránea**

En la minería subterránea, el ciclo de minado consiste en una serie de operaciones que se repiten de forma sistemática para remover el mineral del macizo rocoso y llevarlo hasta su punto de traslado. Aunque la secuencia puede variar según el método de extracción empleado, generalmente incluye cuatro operaciones fundamentales: perforación, voladura, carguío y transporte. Además, en este tipo de minería es necesario considerar otras actividades complementarias como la ventilación y el sostenimiento de las labores para garantizar condiciones seguras y eficientes (Hartman & Mutmanský, 2002, págs. 14-15).

A continuación, se señala una breve explicación de cada una de las actividades mencionadas en el párrafo anterior:

**2.1.5.1 Perforación.** Consiste en realizar perforaciones en la roca con taladros, haciendo uso de equipos especializados, para luego introducir los explosivos en los agujeros perforados

**2.1.5.2 Voladura.** Se cargan los barrenos con explosivos y se detonan controladamente para fragmentar la roca

**2.1.5.3 Ventilación.** Se eliminan los gases generados por la voladura insuflando aire fresco y extrayendo el aire viciado

**2.1.5.4 Carguío.** Se recoge la roca fragmentada haciendo uso de maquinarias

**2.1.5.5 Transporte.** El material se traslada hasta su punto de procesamiento haciendo uso de volquetes o fajas transportadoras

**2.1.5.6 Sostenimiento.** Se refuerza el terreno con soportes como pernos, mallas, o concreto proyectado para asegurar la estabilidad del mismo, previo a esto se realiza un desate de las rocas sueltas.

### **2.1.6. Equipos de Perforación:**

Actualmente, en las labores de excavación subterránea mediante perforación y voladura, se utilizan principalmente equipos hidráulicos con múltiples brazos. Los jumbos neumáticos y las perforadoras manuales han perdido protagonismo, ya que los jumbos

hidráulicos presentan beneficios significativos, como mayor eficiencia, reducción de costos y mejores condiciones de seguridad y salud para los operadores. Esto cobra especial importancia considerando que estos equipos no solo deben realizar perforaciones en el frente de trabajo, sino también estar preparados para responder ante diversas necesidades operativas (Herrera Herbert, 2014, pág. 54).

#### **2.1.7. Jumbo**

El jumbo es una maquinaria utilizada en socavones, conformada por varios martillos perforadores montados en brazos articulados con accionamiento hidráulico. Su función principal es realizar trabajos de perforación en el frente, tanto para el avance o desarrollo horizontal como para la excavación vertical o radial, utilizada también en la fortificación de túneles (Revista Rumbo Minero, 2019, pág. 138). En la figura 2 se puede observar un Jumbo Boomer S1D trabajando.

**Figura 2**

*Jumbo Boomer S1D trabajando*



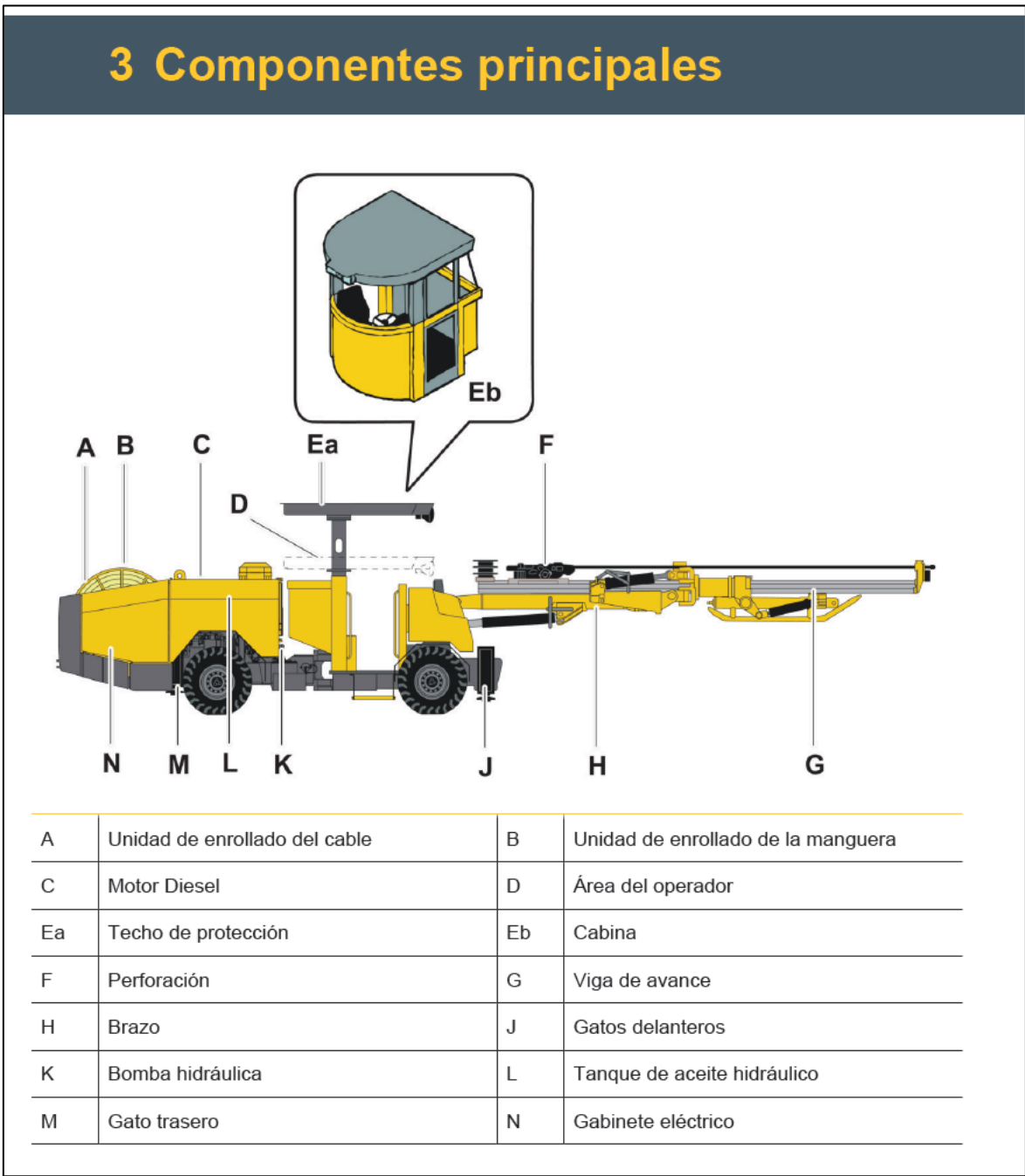
#### **2.1.8. Jumbo Boomer S1D de Epiroc**

El Boomer S1D es un modelo de la serie S1 de Epiroc, diseñado para perforación frontal en labores de minería y construcción de túneles. Este equipo está equipado con una pluma resistente, capaz de soportar grandes cargas y facilitar un ritmo de avance

eficiente. Además, incorpora un sistema de trípode doble que permite posicionar la pluma de forma rápida y precisa, junto con un mecanismo de paralelismo hidráulico que asegura un control exacto en todas las direcciones (Epiroc Rock Drills AB, 2022, pág. 3). En la figura 3 se muestra un esquema de los componentes principales del jumbo y en la figura 4 se muestra una fotografía de un Jumbo Epiroc Boomer S1D.

**Figura 3**

*Componentes principales de un Jumbo S1D*



Fuente: (Epiroc Rock Drills AB, 2024, pág. 11).

**Figura 4**

*Fotografía del Jumbo Boomber S1D*



Los sistemas principales con los que cuenta el Jumbo S1D son los siguientes:

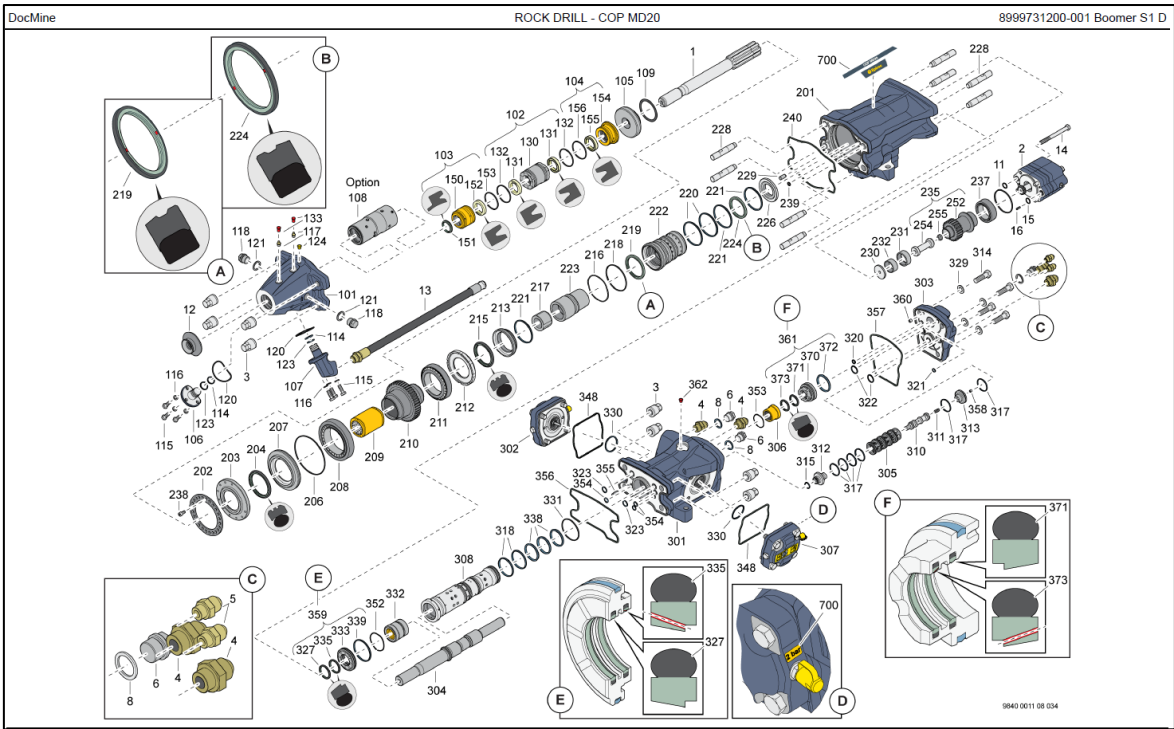
- Sistema de Perforación
- Sistema Posicionamiento
- Sistema de Agua/Aire
- Sistema Hidráulico
- Sistema Eléctrico
- Sistema Diesel
- Sistema de Tren de Fuerza

**2.1.8.1. Sistema de Perforación.** Está conformado por dos principales componentes: Una es la perforadora que es la que se encarga de la perforación de los taladros y la unidad deslizadera o viga que es el medio en donde la perforadora puede realizar todos los movimientos necesarios ejecutar su función de perforación. Para el caso

de los Jumbo S1D, estos vienen equipados con una perforadora modelo COP MD20 y una viga BMHT de la serie 2000.

**Figura 5**

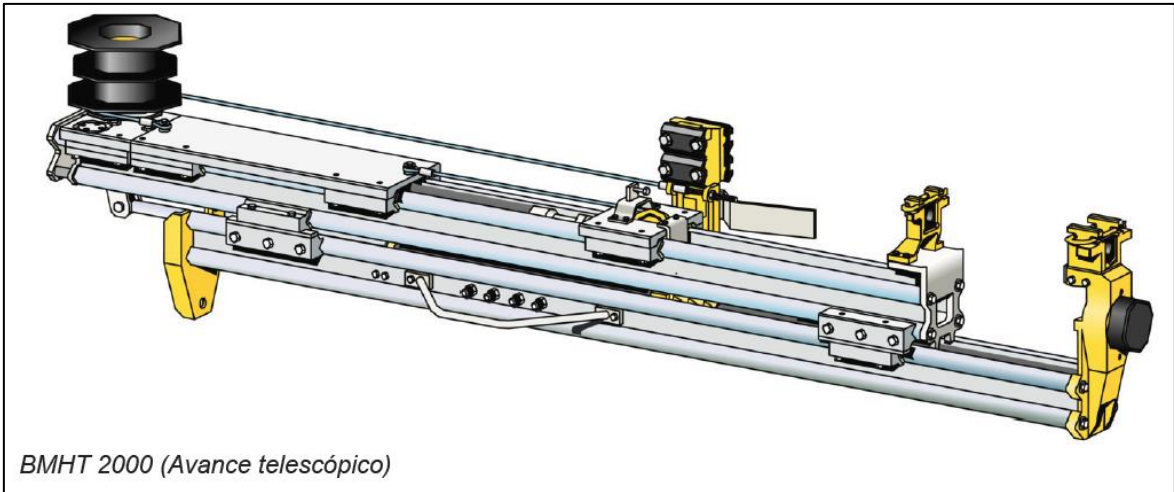
*Despiece de una perforadora COP MD20*



Fuente: (Epiroc, 2024, pág. 63)

**Figura 6**

*Configuración típica de una viga BMHT serie 2000*



Fuente: (Epiroc Rock Drills AB, 2024, pág. 88)

**2.1.8.2. Sistema Posicionamiento.** El componente principal del sistema de posicionamiento es la unidad de brazo o también llamado “Boom”, este se encarga de posicionar la viga y por ende la perforadora en el lugar deseado para iniciar el proceso de perforación. Puede realizar movimiento de oscilación, basculación y rotación a demanda el operador. Los jumbos Boomer S1D de la unidad están configurados con el boom BUT29. Dentro del sistema de posicionamiento también se consideran las gatas estabilizadoras.

Según Epiroc Rock Drills AB (2024), este brazo hidráulico es un mecanismo telescópico que puede girar 360° hacia adelante. Dispone de un sistema de suspensión de tres puntos en ambos extremos, delantero y trasero. Cada sistema de suspensión incorpora dos cilindros hidráulicos conectados en serie por pares, lo que permite un movimiento paralelo en direcciones vertical y horizontal. Tiene un peso del brazo completo, excluyendo la viga de avance, perforadora y mangueras, de 1750kg; además, su longitud es de 4940mm con el telescópico retraído y 6390 mm con el telescópico extendido (pág. 47-49).

La figura 7 muestra una fotografía del boom y viga de un Jumbo Boomer S1D y la figura 8 muestra los componentes principales que conforman la unidad de brazo.

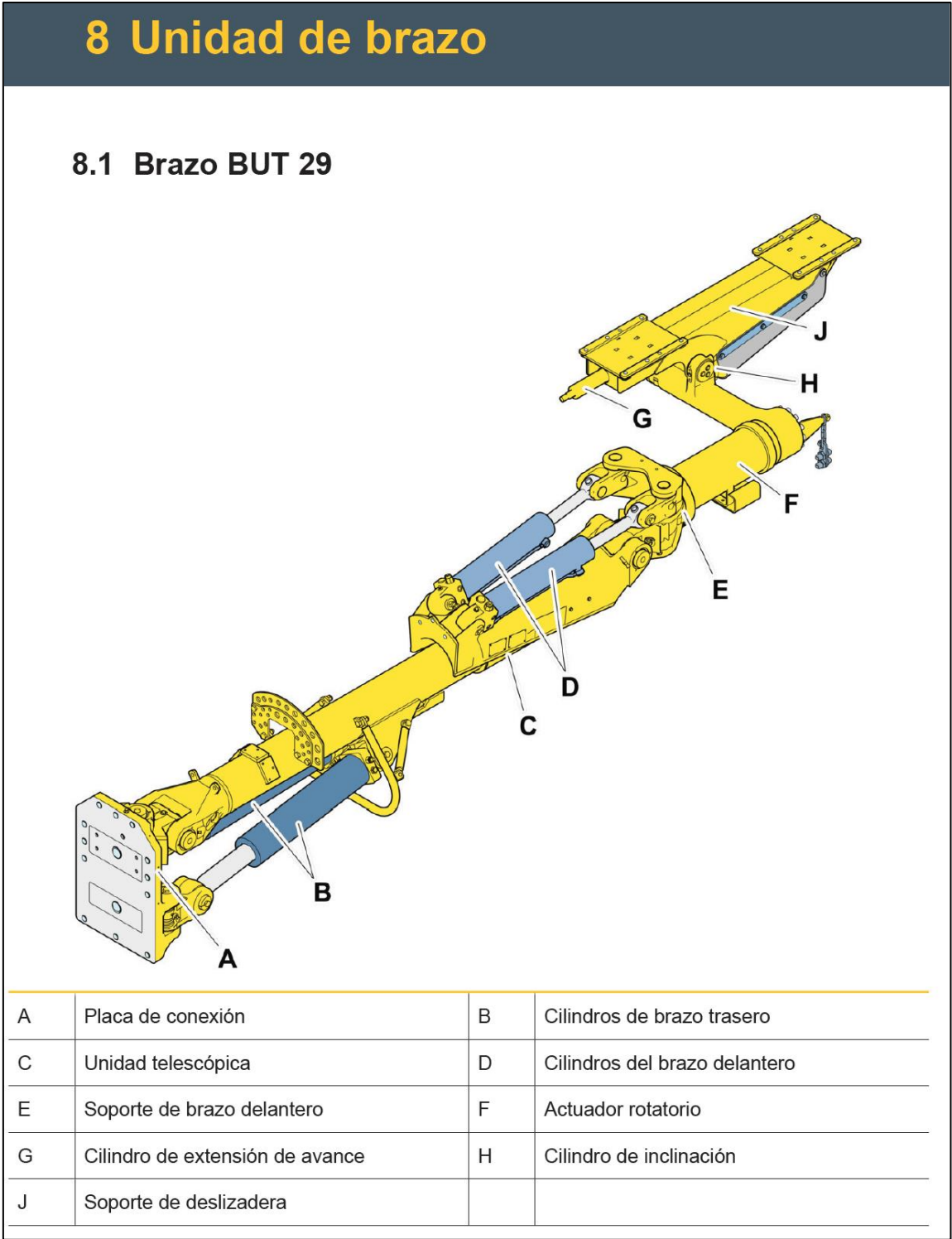
### **Figura 7**

*Fotografía de boom y viga de Jumbo Boomer S1D*



Figura 8

Componentes de la Unidad de Brazo BUT 29 - Boomer S1D



Fuente: (Epiroc Rock Drills AB, 2024, pág. 47)

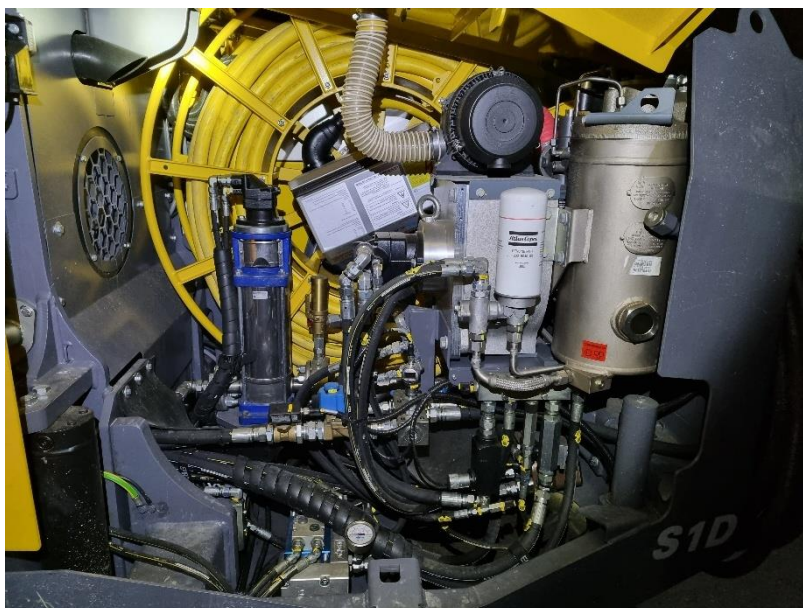
**2.1.8.3. Sistema de Agua/Aire.** Durante la perforación, se requieren remover los residuos y fragmentos producidos durante la perforación del barreno para lo cual se utiliza

un procedimiento llamado barrido. Este procedimiento es fundamental para mantener la eficiencia operativa y prevenir inconvenientes como obstrucciones o el deterioro acelerado del equipo. Es aquí donde cobra relevancia el sistema agua aire, el mismo que está conformado por dos componentes principales: un compresor de aire y una bomba de agua. También se consideran dentro de este sistema los accesorios del mismo, de los cuales los más relevantes son las electroválvulas.

El compresor utilizado en los Boomer S1D de la unidad minera de estudio es el GAR30. Según Epiroc Rock Drills AB (2024), dicho compresor es un compresor hidráulico de tornillo de una sola etapa que se activa al encender la máquina. El aire comprimido generado se dirige hacia un tanque que también funciona como separador de aceite. En este tanque, la mayor parte del aceite presente en la mezcla de aire y aceite se elimina por medio de la fuerza centrífuga. El aceite restante es filtrado por un elemento separador ubicado dentro del mismo tanque. El aceite separado se acumula en la parte inferior del tanque, que cumple además la función de depósito de aceite (pág. 260). La figura 9 muestra una fotografía del compresor y bomba de un Jumbo S1D y la figura 10 muestra los componentes principales del compresor.

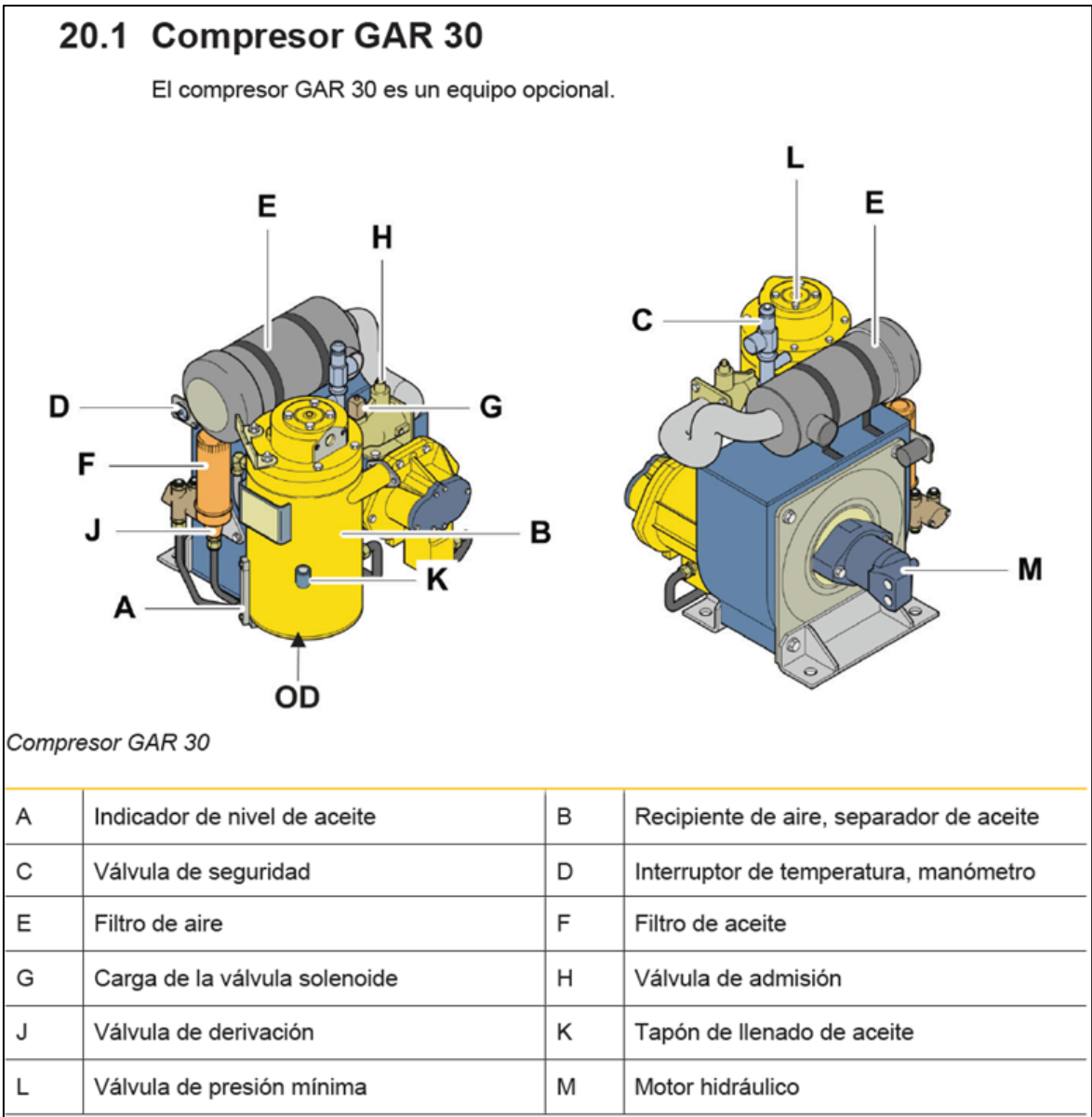
### **Figura 9**

*Fotografía de la bomba de agua y compresor del jumbo Boomer S1D*



**Figura 10**

*Componentes del Compresor GAR30 - Boomer S1D*

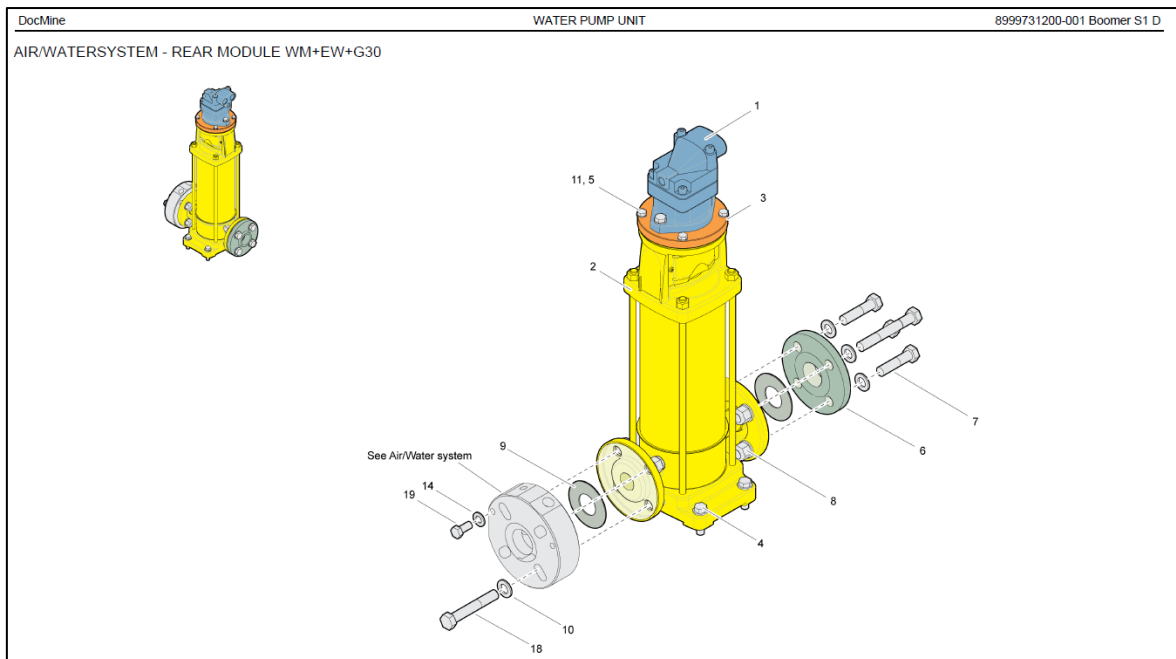


Fuente: (Epiroc Rock Drills AB, 2024, pág. 259)

La bomba de agua funciona mediante accionamiento hidráulico. La presión del agua al ingresar debe estar entre 4 y 6 bar (58 a 87 psi), siendo 2 bar (29 psi) el valor mínimo permitido. Una válvula de control de presión limita la presión de entrada a un máximo de 14 bar (203 psi) (Epiroc Rock Drills AB, 2024, pág. 271). La figura 11 muestra una ilustración de la bomba de agua.

## Figura 11

### Bomba de agua del Sistema Agua/Aire del Boomer S1D



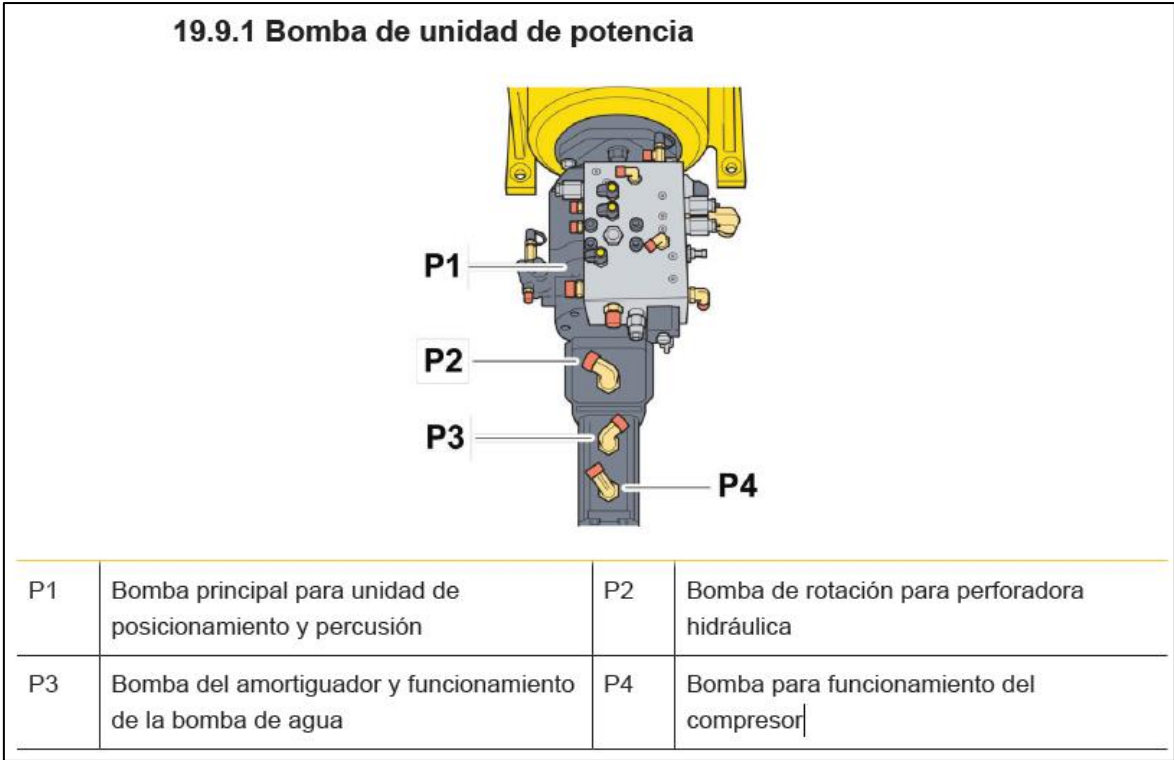
Fuente: (Epiroc, 2024, pág. 1051)

**2.1.8.4. Sistema Hidráulico.** Los componentes que conforman este sistema en general son la unidad de potencia o power pack como componente principal seguido del tanque hidráulico, cilindros hidráulicos, blocks de válvulas hidráulicas y mangueras hidráulicas.

El power pack es la unidad de potencia del sistema hidráulico. Esta unidad de potencia está subdividida a su vez en 4 bombas según su función: bomba principal para unidad de posicionamiento y percusión, bomba de rotación para perforadora hidráulica, bomba del amortiguador y funcionamiento de la bomba de agua y Bomba para funcionamiento del compresor, tal como se muestra en la figura 12. La figura 13 muestra una fotografía del Powerpack de un jumbo de la unidad minera.

**Figura 12**

*Bomba de unidad de potencia del Boomer S1D*



Fuente (Epiroc Rock Drills AB, 2024, pág. 219)

**Figura 13**

*Fotografía del Power Pack de un Jumbo S1D*



En la figura 14 se muestran los datos técnicos de las bombas que conforman la unidad de potencia o power pack en los jumbos Boomer S1D de la unida minera de estudio.

**Figura 14**

*Datos técnicos de las bombas de power pack del Boomer S1D*

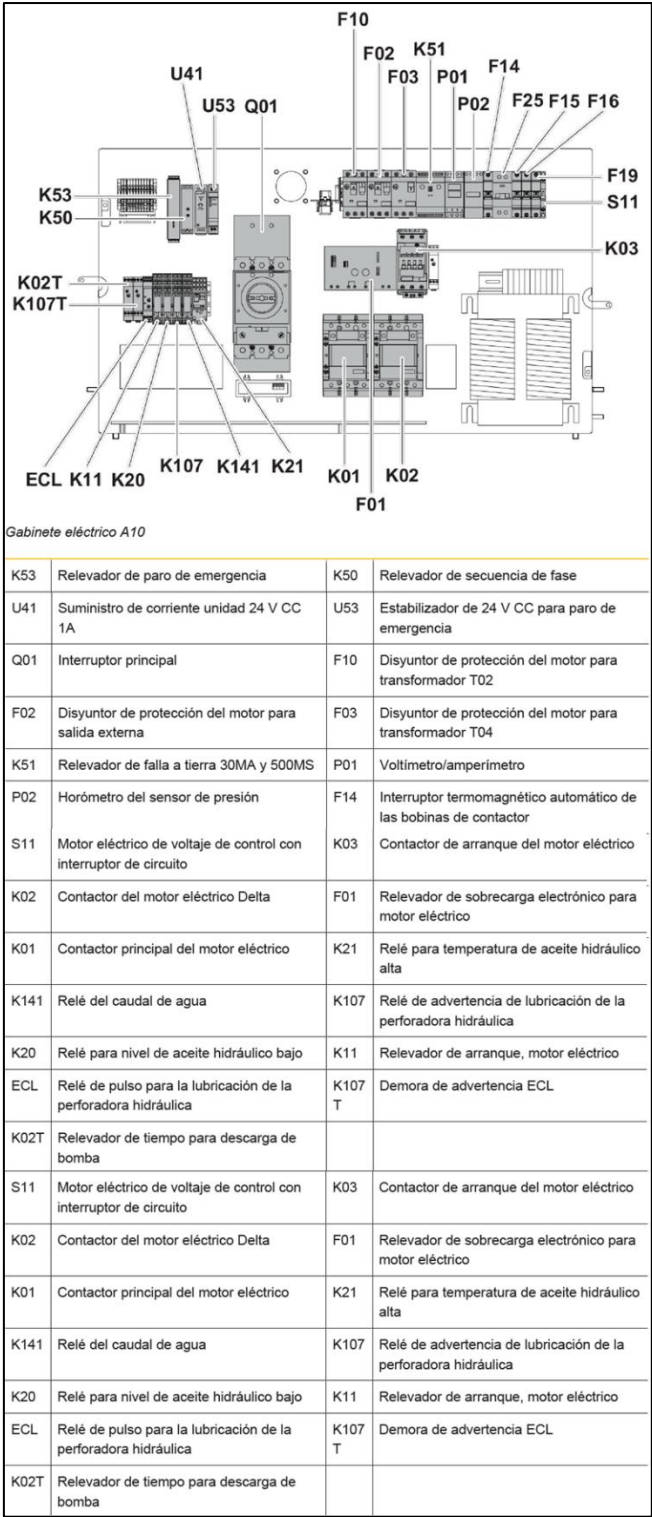
| <b>19.5.1 Bombas, motor eléctrico DCS 2</b>                          |                       |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Bomba principal para la unidad de posicionamiento y percusión</b> |                       |
| Tipo                                                                 | Bomba de émbolo axial |
| Modelo                                                               | RX A10VO              |
| <b>Bomba principal para la unidad de posicionamiento y percusión</b> |                       |
| Desplazamiento                                                       | 100 cm³/vuelta        |
| Desplazamiento (motor eléctrico de 95 kW)                            | 180 cm³/vuelta        |
| <b>Bomba para rotación, bomba de agua o amortiguador y compresor</b> |                       |
| Tipo                                                                 | Bomba de engranajes   |
| Modelo                                                               | PGP 620/511/511       |
| Desplazamiento, rotación                                             | 50 cm³/rev            |
| Desplazamiento, amortiguador o bomba de agua                         | 19 cm³/vuelta         |
| Desplazamiento, compresor                                            | 12 cm³/vuelta         |

Fuente (Epiroc Rock Drills AB, 2024, págs. 208-209)

**2.1.8.5. Sistema Eléctrico.** Está conformado por el sistema eléctrico de potencia de 440v y el sistema eléctrico de control de 24 volt. En el sistema eléctrico de potencia encontramos componentes eléctricos de corriente alterna como el cable de alimentación 440v (cable reel en su conjunto completo con el colector), motor eléctrico de accionamiento de power pack e interruptores, mientras que en el sistema eléctrico de control de 24 volt encontramos componentes eléctricos de corriente continua tales como: baterías, hardness eléctrico de 24 voltios, bobinas y switches.

Figura 15

Componentes típicos del tablero 440v del Bomber S1D



Fuente (Epiroc Rock Drills AB, 2024, págs. 287-288)

**2.1.8.6. Sistema Diesel.** Entre los principales componentes del sistema diesel encontramos: el motor diesel, el arrancador y el alternador. En la configuración de los jumbos Boomer S1D de la unidad minera de estudios ha sido usado el Motor Deutz BF4L (fotografía en figura 17), cuyas especificaciones técnicas se muestran en la figura 16.

**Figura 16**

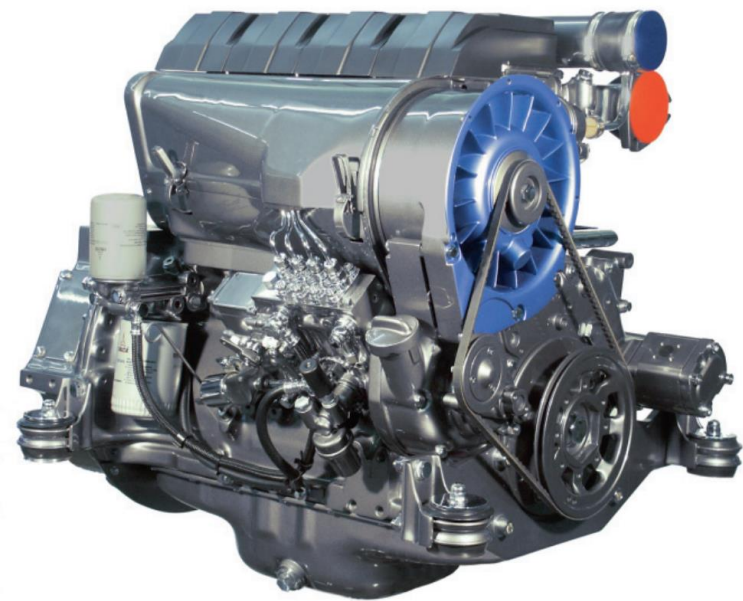
*Datos técnicos del Motor Diesel Deutz BF4L 914*

| Deutz BF4L 914                        |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Clasificación de potencia a 2 500 rpm | 72 kW*                |
| Torque máximo estándar a 1 600 rpm    | 355 Nm* (262 lbf.pie) |
| Cilindrada                            | 4,3 L (1,13 gal)      |
| Velocidad de marcha en vacío          | 700 rpm               |
| Enfriamiento                          | Enfriado por aire     |
| Alternador                            | 55 A                  |
|                                       | 28 V                  |
| Motor de arranque                     | 4,0 kW                |
|                                       | 24 V                  |
| Peso                                  | 360 kg (794 lbs)      |

Fuente (Epiroc Rock Drills AB, 2024, págs. 176-177)

**Figura 17**

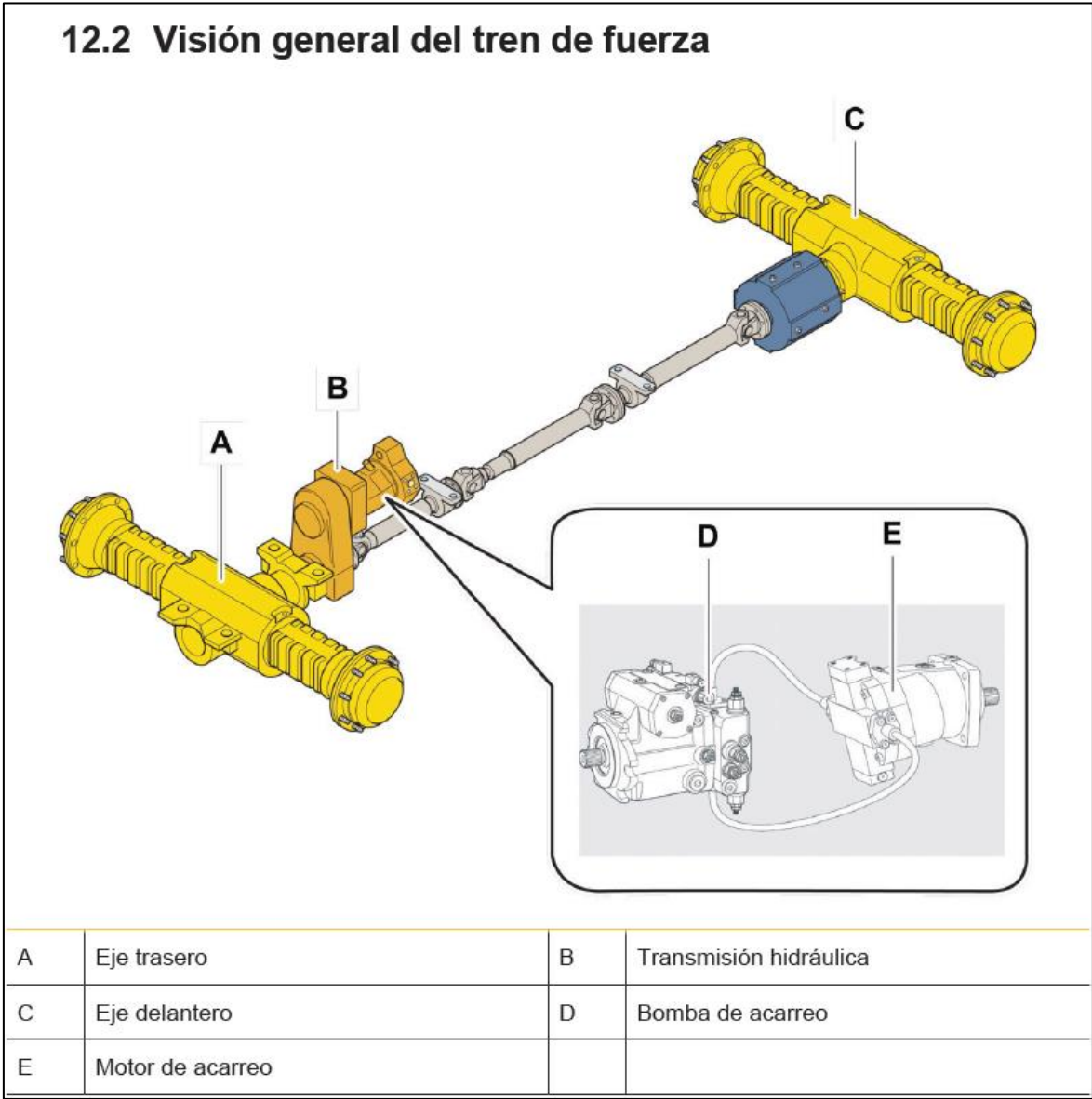
*Fotografía del Motor Diesel Deutz BF4L 914*



Fuente (Deutz AG, 2015)

**2.1.8.7. Sistema de Tren de Fuerza.** El sistema de Tren de Fuerza tiene como componentes principales el eje delantero, eje posterior, caja de transmisión hidráulica, bomba y motor de acarreo, así como la línea cardánica, frenos, dirección y las ruedas, para repartir la potencia de la caja de transmisión al eje delantero y de los ejes a la vía de tránsito respectivamente. En la figura se puede observar un esquema de cómo está conformado el sistema de transmisión típico del Boomer S1D de Epiroc.

**Figura 18**  
*Arreglo típico de los componentes principales del sistema de transmisión en el Boomer S1D*



*Nota.* Fuente (Epiroc Rock Drills AB, 2024, pág. 124)

En la figura 19 se muestran los datos técnicos de los componentes principales del sistema de transmisión del jumbo S1D.

**Figura 19**

*Datos técnicos de componentes principales del sistema de transmisión del S1D*

| 12.3 Datos técnicos                    |                             |                                                           |
|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Ruedas</b>                          |                             |                                                           |
| Neumáticos (brazo y sección del motor) |                             | 9 x 20 ó 10 x 15                                          |
| Rines (brazo y sección del motor)      |                             | 7.50 x 20 o 7.50 x 15                                     |
| Presión de llanta                      |                             | 9 bar (130.5 psi)                                         |
| Par de apriete tuercas para rueda      |                             | 550 Nm (406 lbf.pie)                                      |
| <b>Dirección</b>                       |                             |                                                           |
| Válvula de control                     |                             | Eaton Serie 10, 295 cc                                    |
| Bomba de pistón variable               | Desplazamiento              | 28 cm³ /vuelta                                            |
|                                        | Presión máxima de operación | 210 bar (3046 psi)                                        |
| <b>Dirección</b>                       |                             |                                                           |
| Cilindro de dirección                  |                             | Parker 80/40-500                                          |
| Vueltas del volante, de tope a tope.   |                             | 6.0 vueltas desde el tope izquierdo hasta el tope derecho |
| <b>Eje de transmisión</b>              |                             |                                                           |
| Tipo de eje, eje delantero             |                             | Dana 112                                                  |
| Tipo de eje, eje trasero               |                             | Dana 112                                                  |
| Lado de brazo de carga máxima          |                             | 9000 kg (19842 lbs)                                       |
| Lado de motor de carga máxima          |                             | 7000 kg (15432 lbs)                                       |
| Lado de brazo de peso                  |                             | 275 kg (606 lbs)                                          |
| Lado de motor de peso                  |                             | 330 kg (727 lbs)                                          |
| <b>Transmisión</b>                     |                             |                                                           |
| Tipo de transmisión                    |                             | Bosch Rexroth                                             |
| Motor                                  |                             | A6VM 85                                                   |
| Bomba                                  |                             | A4VG045                                                   |

Fuente (Epiroc Rock Drills AB, 2024, págs. 124-125)

### **2.1.9. Mantenimiento**

García Garrido (2003), nos define el mantenimiento como el uso de diversas técnicas orientadas a mantener operativos los equipos e instalaciones el mayor tiempo posible, con el objetivo de lograr una alta disponibilidad y un rendimiento óptimo (pág. 1).

### **2.1.10. Mantenimiento Correctivo**

El mantenimiento correctivo consiste en realizar las acciones necesarias para solucionar fallas o problemas detectados en los equipos, los cuales son reportados al área de mantenimiento por los propios usuarios. (García Garrido, 2003, pág. 17).

Mobley et al. (2008), por su parte nos dicen que el mantenimiento correctivo consiste en un conjunto de acciones realizadas después de que un equipo, máquina o sistema sufre una falla o deja de funcionar adecuadamente, con el propósito de devolverlo a su estado operativo. Estas actividades pueden ser tanto programadas como imprevistas, según la gravedad de la avería y los recursos disponibles. Este mantenimiento abarca desde pequeñas reparaciones hasta la sustitución completa de piezas dañadas, y se distingue por su naturaleza reactiva, ya que actúa únicamente una vez que el problema se ha manifestado, en lugar de anticiparlo (pág. 2.3-2.4).

### **2.1.11. Mantenimiento Preventivo**

Según Mobley et al. (2008), el mantenimiento preventivo es un enfoque sistemático de mantenimiento que busca anticiparse a las fallas y evitar la degradación del funcionamiento de un equipo mediante intervenciones planificadas y periódicas. Estas acciones incluyen inspecciones, ajustes, lubricación, limpieza y sustitución de piezas con base en el tiempo de uso, ciclos de operación o condiciones observadas, con el objetivo de mantener el equipo en condiciones óptimas y extender su vida útil.

A diferencia del mantenimiento correctivo, que actúa una vez que el equipo ya ha fallado, el mantenimiento preventivo se centra en detectar y atender oportunamente posibles fallas antes de que se conviertan en averías mayores. Cuando es aplicado de

forma integral, puede combinarse con mantenimiento predictivo y correctivo, formando un programa completo que garantiza la fiabilidad y disponibilidad del equipo (pág. 2.3-2.4).

#### **2.1.12. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo es una técnica de gestión basada en la evaluación periódica de la condición real de funcionamiento de los equipos, con el objetivo de anticipar fallas y optimizar su desempeño operativo. A través del monitoreo y análisis de parámetros clave —como vibraciones, temperatura, lubricación, entre otros— este enfoque permite detectar desviaciones antes de que se conviertan en fallos mayores.

El valor principal del mantenimiento predictivo radica en la información que proporciona; sin embargo, para que sea efectivo, dicha información debe traducirse en acciones correctivas oportunas. Su implementación requiere personal capacitado, tecnología adecuada y una filosofía de mejora continua. (Mobley et al., 2008, pág. 2.19)

#### **2.1.13. Plan de Mantenimiento**

El Plan de Mantenimiento es un documento que reúne todas las tareas de mantenimiento programado que deben llevarse a cabo en un equipo con el objetivo de garantizar los niveles de disponibilidad establecidos. Se trata de un documento dinámico, sujeto a modificaciones continuas como resultado del análisis de incidencias ocurridas en el equipo y de los indicadores de gestión. Su elaboración implica un proceso estructurado que incluye la descomposición del equipo en sistemas, la identificación y codificación de componentes y subsistemas, y la asignación del modelo de mantenimiento más adecuado según las características y funciones de cada componente dentro del sistema operativo del equipo (García Garrido, 2003, pág. 37).

#### **2.1.14. Disponibilidad**

La disponibilidad se entiende como la probabilidad de que un equipo opere correctamente en el instante en que se necesite, una vez iniciada su operación y siempre que se utilice en condiciones normales y constantes (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 67).

Por otra parte, Pérez Rondón (2021), nos dice que es una función que indica el porcentaje de tiempo en que una máquina o equipo está en condiciones adecuadas para realizar la tarea para la que fue diseñado. Esto no significa que esté en uso o en funcionamiento, sino que está listo y en condiciones óptimas para operar. (pág. 23)

Así mismo, Sierra Fernández & Andrea Calvo (2017), nos dice que la disponibilidad se puede expresar matemáticamente en función al Tiempo medio entre fallas, MTBF por sus siglas en inglés, y el tiempo medio hasta la reparación MTTR, por lo que queda definida por la siguiente relación (pág. 38):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

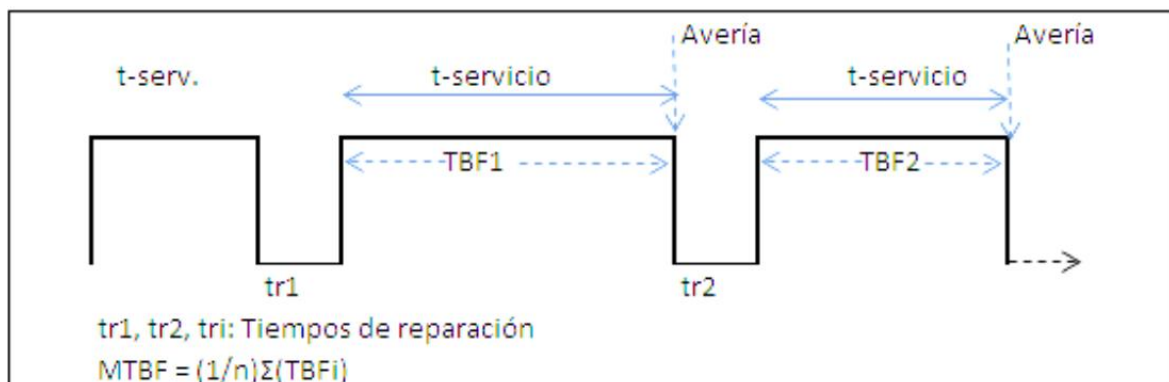
#### 2.1.15. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El Tiempo Medio entre Fallos (MTBF, por sus siglas en inglés) se refiere al promedio de tiempo durante el cual un equipo opera correctamente sin presentar fallas (Sierra Fernández & Andrea Calvo, 2017, pág. 6)

Lo anteriormente dicho se puede representar según la figura 20:

**Figura 20**

*Representación Esquemática del MTBF*



Fuente (Sierra Fernández & Andrea Calvo, 2017, pág. 7)

En base a esta definición y tomando de referencia la representación esquemática del MTBF, este queda definido por la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TBF_i$$

Siendo  $n$ : número de intervalos de buen funcionamiento y  $TBF_i$  el tiempo de buen funcionamiento en dicho intervalo.

Para representar matemáticamente el MTBF de una forma más simple y teniendo en cuenta el número de horas en que el equipo está operativo en un intervalo de tiempo y el número de fallos ocurridos en dicho intervalo, se tiene a bien presentar la fórmula del MTBF de la siguiente manera:

$$MTBF = \frac{\text{horas operativas}}{\text{Número de fallos}}$$

#### **2.1.16. Tiempo medio de reparación (MTTR)**

Representa el tiempo medio requerido para restaurar un sistema tras una falla. Un valor bajo de MTTR es favorable, ya que indica una recuperación ágil y una menor duración de la interrupción del servicio. (Fractal Tech S.L, 2024, pág. 8)

Según Sierra Fernández & Andrea Calvo (2017), es el tiempo promedio que se requiere para reparar un equipo después de una falla, calculado a partir del análisis de múltiples incidentes similares. Representa la media de los tiempos empleados desde que el equipo de mantenimiento comienza la reparación en el sitio hasta que el equipo vuelve a estar operativo. De manera simplificada se puede obtener de la relación del tiempo total de inactividad del equipo y el número de fallos (pág. 14):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad del equipo}}{\text{Número de fallos}}$$

#### **2.1.17. Análisis de criticidad**

El análisis de criticidad es una herramienta sencilla de aplicar y entender, que permite asignar valores relativos a la probabilidad o frecuencia con la que pueden ocurrir ciertos eventos, así como a sus posibles consecuencias. Estas dos variables, frecuencia y consecuencia, se representan en una matriz, similar a la ilustrada en la figura 21, la cual utiliza un código de colores para indicar el nivel de riesgo, desde el más bajo hasta el más

alto, asociado a la instalación, sistema, equipo o componente que se esté evaluando. La criticidad se calcula mediante la siguiente ecuación: (Santos et al., 2013, pág. 17).

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de Falla} * \text{Impacto}$$

**Figura 21**

*Modelo de Matriz de Criticidad*

|            |   |              |    |    |    |   |
|------------|---|--------------|----|----|----|---|
| FRECUENCIA | a | SC           | SC | C  | C  | C |
|            | b | SC           | SC | SC | C  | C |
|            | c | NC           | NC | SC | C  | C |
|            | d | NC           | NC | NC | SC | C |
|            |   | A            | B  | C  | D  | E |
|            |   | CONSECUENCIA |    |    |    |   |

*Nota.* Adaptado de (Santos et al., 2013, pág. 13)

#### **2.1.18. Metodología de Análisis de Criticidad de los Puntos**

Según Santos et al. (2013), las estructuras de criticidad derivadas de la conocida "metodología de los puntos" surgieron como parte del movimiento orientado a mejorar la confiabilidad de los procesos productivos, el cual comenzó en la industria petrolera del Mar del Norte durante los años 90. Esta metodología ha sido adoptada ampliamente en el sector petrolero, con diversas adaptaciones y ajustes. Su principio fundamental consiste en asignar una puntuación para evaluar la criticidad, utilizando una matriz en la que los niveles de frecuencia y consecuencia se representan mediante un sistema de puntos. La base para el cálculo de la criticidad está dada por la siguiente ecuación: (pág. 24-25).

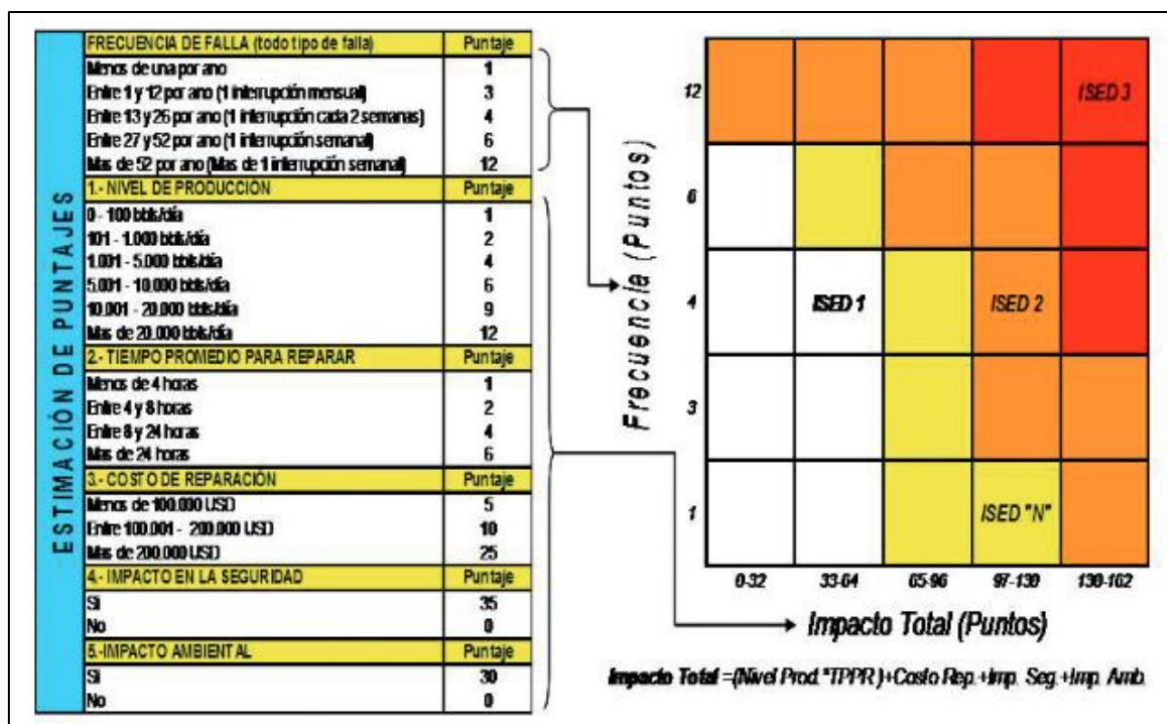
$$\begin{aligned} \text{Criticidad} = & \text{Frecuencia de Fallas} * [(\text{Nivel de producción} * \% \text{ Impacto} * \text{TPPR}) \\ & + \text{Costo de Reparación} + \text{Impacto en Seguridad} + \text{Impacto Ambiental}] \end{aligned}$$

Donde: TPPR = Tiempo promedio para reparar

En la figura 22 se muestra un modelo de tabla para la estimación de los puntajes, así como la matriz de criticidad que propone esta metodología:

**Figura 22**

*Metodología de Análisis de Criticidad de los Puntos*



Fuente (Santos et al., 2013, pág. 25)

### 2.1.19. Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Moubrar (2004), nos dice que el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es un proceso que permite identificar las acciones necesarias para garantizar que un activo físico siga cumpliendo con las funciones que se esperan de él, dentro de las condiciones específicas en las que opera. Este proceso plantea siete preguntas clave relacionadas con el activo o sistema que se desea analizar:

- ¿Qué funciones cumple el activo y cuáles son los estándares de desempeño que debe mantener en su entorno operativo actual? [Funciones y Parámetros de Funcionamiento]
- ¿Cómo puede el activo dejar de cumplir con esas funciones esperadas? [Fallas Funcionales]

- ¿Qué origina cada una de las fallas funcionales identificadas? [Modos de Falla]
- ¿Qué consecuencias se presentan cuando ocurre cada tipo de falla? [Efectos de Falla]
- ¿Qué nivel de impacto tiene cada falla? [Consecuencias de la Falla]
- ¿Qué medidas se pueden implementar para evitar o anticipar la ocurrencia de cada falla? [Tareas Proactivas]
- ¿Qué acciones deben tomarse si no se identifica una tarea preventiva eficaz para esa falla? [Acciones a falta de] (pág. 7).

**2.1.19.1. Funciones y Parámetros de Funcionamiento.** Antes de aplicar un proceso que permita decidir qué acciones tomar para que un activo físico siga cumpliendo con lo que se espera de él dentro de su entorno operativo, es necesario cumplir con dos requisitos previos:

- Identificar claramente qué funciones se espera que realice el activo
- Verificar que el activo tiene la capacidad de llevar a cabo esas funciones

Por esta razón, el primer paso del proceso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) consiste en definir las funciones del activo dentro de su contexto operacional, así como los niveles de desempeño requeridos (Moubray, 2004, pág. 8).

**2.1.19.1.1. Estándares de Funcionamiento.** De acuerdo con los principios de la física, todo sistema organizado que opera en condiciones reales está sujeto a un proceso natural de deterioro progresivo. Si no se implementan medidas adecuadas para contrarrestar este proceso, dicho deterioro llevará inevitablemente a la pérdida total del orden del sistema.

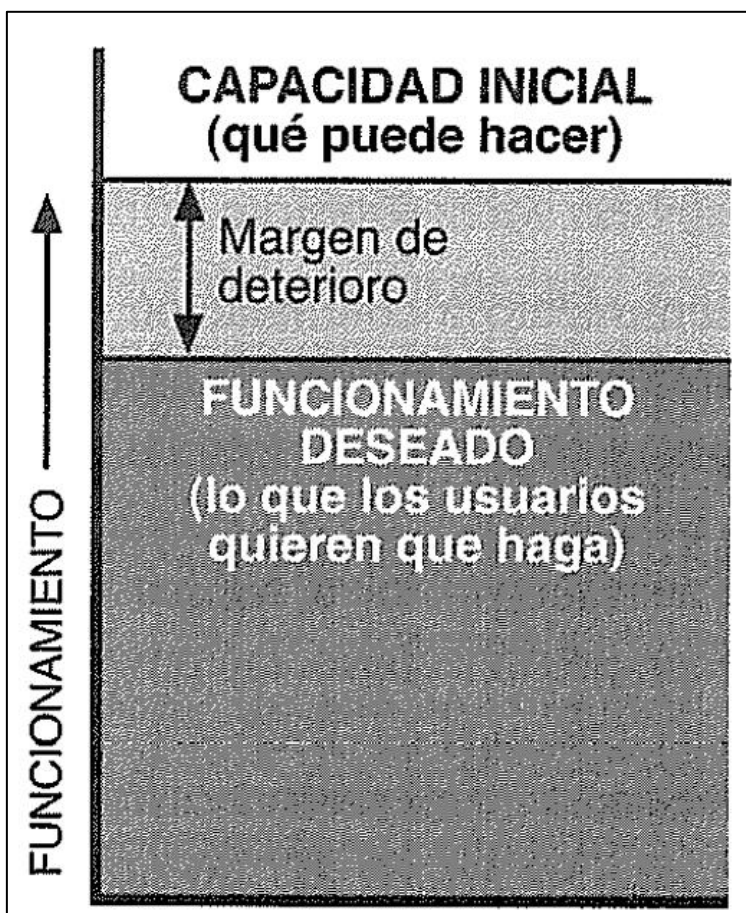
Dado que el deterioro no puede evitarse por completo, este debe ser controlado o mantenido dentro de límites aceptables. En consecuencia, todo activo físico que entra en operación debe contar con una capacidad de desempeño superior al mínimo requerido por el usuario, para poder compensar el desgaste natural y seguir cumpliendo con sus funciones durante su ciclo de vida.

Esto nos lleva a distinguir dos conceptos clave al definir el funcionamiento de un activo:

- Funcionamiento deseado: El rendimiento que el usuario espera obtener del activo.
- Capacidad operativa: El nivel real de desempeño que el activo es técnicamente capaz de ofrecer (Moubray, 2004, págs. 23-24).

**Figura 23**

*Margen de deterioro*



*Nota.* Esta imagen representa la relación adecuada entre la capacidad del activo y el nivel de desempeño que se espera de él. (Moubray, 2004, pág. 24)

**2.1.19.2. Fallas Funcionales.** Para Moubray (2004), los objetivos del mantenimiento se determinan en función de las funciones esperadas del activo y el nivel de rendimiento que los usuarios requieren. Pero surge la pregunta: ¿cómo puede el mantenimiento cumplir con estos objetivos?

La única razón por la cual un activo puede dejar de funcionar dentro de los parámetros esperados por el usuario es la presencia de algún tipo de falla. Por lo tanto, el mantenimiento logra sus propósitos estableciendo políticas eficaces para gestionar esas fallas. Sin embargo, antes de aplicar herramientas o estrategias para su tratamiento, es fundamental identificar cuáles fallas podrían llegar a ocurrir.

El enfoque RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) aborda esta tarea en dos niveles:

- Primero, analiza las condiciones que provocaron una determinada falla.
- Luego, examina los eventos que podrían desencadenar nuevas fallas en el activo.

Dentro del marco de RCM, estos estados de falla se conocen como fallas funcionales, ya que se presentan cuando el activo no puede cumplir una función según los criterios de desempeño definidos por el usuario.

Esta definición incluye no solo la falla total, en la que el activo deja de operar completamente, sino también las fallas parciales, donde el equipo aún funciona, pero con un nivel de desempeño inaceptable. Esto puede incluir situaciones donde no se alcanzan los estándares requeridos de calidad o precisión. Cabe señalar que este tipo de fallas solo pueden ser detectadas una vez que se han definido claramente las funciones y los parámetros operativos del activo (págs. 8-9).

**2.1.19.3. Modos de Falla:** Considerando lo descrito Moubray (2004), una vez identificada cada falla funcional, el siguiente paso consiste en determinar todos los factores que, de forma razonable, podrían haber causado dicho estado de falla. Estos factores se conocen como modos de falla. Se consideran razonablemente posibles aquellos modos que ya se han presentado en equipos similares bajo condiciones operativas comparables, están siendo actualmente evitados gracias a prácticas de mantenimiento vigentes; o que, aunque aún no se han manifestado, tienen una alta probabilidad de ocurrir en el contexto analizado.

Tradicionalmente, los listados de modos de falla se centran en problemas derivados del deterioro o desgaste por uso continuo. No obstante, para realizar un análisis completo y efectivo, también deben considerarse errores humanos, ya sea del personal de operación o de mantenimiento y deficiencias de diseño.

Además, es fundamental que cada modo de falla se describa con el nivel de detalle adecuado. Esto evita malgastar recursos intentando corregir síntomas en lugar de las verdaderas causas. Sin embargo, también es necesario mantener un equilibrio en el análisis, para no invertir tiempo excesivo profundizando en aspectos irrelevantes o poco significativos (pág. 9).

Moubray (2004), también categoriza los modos de falla en 3 grupos:

- Cuando la capacidad del activo disminuye por debajo del nivel de desempeño requerido.

Cuando las condiciones de funcionamiento superan la capacidad original del activo.

Cuando, desde su puesta en marcha, el activo no tiene la capacidad de cumplir con lo que se espera de él (pag. 61).

**2.1.19.3.1. Capacidad decreciente.** Se refiere a aquellos casos en los que, inicialmente, la capacidad del activo supera el nivel de desempeño requerido, pero esta capacidad disminuye una vez que el equipo entra en operación, quedando por debajo del estándar esperado. Las principales causas que generan esta pérdida de capacidad son cinco (pág. 61):

- Deterioro físico o mecánico
- Problemas de lubricación
- Contaminación por polvo o suciedad
- Errores durante el desensamble o montaje
- Errores humanos que afectan negativamente el rendimiento del activo.

**2.1.19.3.2. Aumento del Funcionamiento Deseado (o aumento del Esfuerzo Aplicado).** La segunda categoría de modos de falla ocurre cuando, al iniciar su operación,

el activo tiene la capacidad suficiente para cumplir con el nivel de desempeño requerido, pero con el tiempo las expectativas de funcionamiento aumentan, superando dicha capacidad. Esto puede provocar que el activo falle de dos formas (pag. 64):

- El nivel de exigencia operativa crece hasta un punto en el que el equipo ya no puede satisfacer las nuevas demandas.
- El incremento en el esfuerzo operativo acelera el desgaste, reduciendo la confiabilidad del activo a tal grado que pierde su utilidad funcional.

Este fenómeno se produce por cuatro causas principales, de las cuales tres están relacionadas con algún tipo de error humano (pag. 64):

- Aplicación continua de una sobrecarga intencional
- Presencia constante de una sobrecarga involuntaria
- Aparición súbita de una sobrecarga accidental
- Uso de materiales de procesamiento o embalaje inadecuados

**2.1.19.3.3. Capacidad inicial.** Existen casos en los que, desde el inicio, el nivel de desempeño requerido supera la capacidad original del activo. Este tipo de limitación rara vez compromete al equipo completo; por lo general, afecta únicamente una o dos funciones específicas o componentes puntuales, pero estos elementos vulnerables pueden impactar negativamente el rendimiento global del sistema.

**2.1.19.4. Efectos de Falla.** Este paso consiste en elaborar un registro de los efectos de cada falla, lo cual implica detallar las consecuencias asociadas a cada modo de falla identificado. Esta descripción debe contener toda la información necesaria para facilitar el análisis de sus posibles repercusiones, incluyendo (Moubray, 2004, pág. 10):

- La evidencia disponible (si existe) que indique que la falla ha ocurrido
- Si representa o no un riesgo para la seguridad o el medio ambiente
- El impacto que pueda tener en la producción o en las operaciones
- Los daños físicos que haya podido causar
- Las acciones correctivas necesarias para solucionar la falla

**2.1.19.4.1. Evidencia de Falla.** Describe los indicios visibles, audibles o físicos que permiten a los operarios detectar que ha ocurrido una falla. Esta evidencia puede incluir alarmas visuales o sonoras, manifestaciones como humo, ruidos inusuales, olores, fugas, manchas de líquidos, o la detención del equipo. También debe especificar si las alertas aparecen en el panel local o en la sala de control, y si estos indicios permiten detectar la falla de manera inmediata bajo condiciones normales de operación (pag. 77).

**2.1.19.4.2. Riesgos para la Seguridad y el Medio Ambiente.** Indica si una falla podría generar una amenaza directa para la integridad de las personas, el entorno o si podría violar normativas ambientales. La descripción debe mostrar cómo podría ocurrir este riesgo, sin prejuzgar su gravedad. Ejemplos incluyen incendios, explosiones, fugas de sustancias peligrosas, accidentes por maquinaria, exposición a materiales tóxicos o contaminantes, entre otros. También se consideran riesgos hacia los consumidores y la comunidad (pag. 78).

**2.1.19.4.3. Daños Secundarios y Efectos en la Producción.** Detalla cómo la falla afecta la operación general del sistema, incluyendo el tiempo total de parada de máquina, no solo el tiempo de reparación. Esto incluye desde la detección de la falla hasta la recuperación completa del equipo. También abarca afectaciones como pérdida de calidad del producto, interrupción de otras operaciones, aumento de costos operativos, y daños a otros componentes del sistema. El análisis debe considerar el “peor caso típico” para evaluar correctamente las consecuencias (pag. 79).

**2.1.19.4.4. Acción Correctiva.** Consiste en la indicación clara de qué tareas deben realizarse para corregir la falla. Debe incluir el tipo de intervención necesaria (por ejemplo, reemplazo de partes, limpieza, reinicio del sistema), así como el tiempo estimado requerido para llevar a cabo dicha acción. Este dato es fundamental para valorar el impacto operativo de la falla y para planificar la respuesta de mantenimiento (pag. 81).

**2.1.19.5. Consecuencias de la falla:** Según Moubray (2004), las consecuencias de la falla son los efectos específicos que una falla produce sobre la organización, los cuales pueden manifestarse en áreas como la operación, la calidad del producto, el servicio

al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Estas consecuencias determinan el impacto económico y operativo de la falla, ya que toda falla implica tiempo y costos para su reparación. En el enfoque RCM, las consecuencias son el principal criterio para decidir si se deben implementar acciones de mantenimiento proactivo, ya que el objetivo no es evitar la falla en sí, sino minimizar sus repercusiones (pág. 10).

Las consecuencias de falla derivan del tipo de función asociada a la misma. Dichas funciones pueden ser ocultas o evidentes. Una función evidente es aquella cuya falla será, tarde o temprano, claramente perceptible para los operadores durante condiciones normales de operación, sin necesidad de inspecciones especiales. Por otro lado, Una función oculta es aquella cuya falla, si ocurre de manera aislada, no será detectada por los operadores durante el funcionamiento normal del sistema (págs. 96-97).

El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro categorías, de la siguiente manera, las tres primeras derivadas de funciones evidentes y la última de funciones ocultas (págs. 10-11):

- Consecuencias ambientales y para la seguridad
- Consecuencias Operacionales
- Consecuencias No-Operacionales
- Consecuencias de fallas ocultas

**2.1.19.5.1. Consecuencias ambientales y para la seguridad.** Se consideran consecuencias de seguridad aquellas fallas que podrían provocar lesiones o la muerte de personas. En cuanto a lo ambiental, se refieren a fallas que violan normativas o regulaciones ambientales vigentes, ya sean corporativas, regionales, nacionales o internacionales (pág. 11).

**2.1.19.5.2. Consecuencias operacionales.** Ocurren cuando una falla impacta negativamente en la producción, ya sea afectando la cantidad o calidad del producto, la atención al cliente, o generando un incremento en los costos operativos, además del costo directo que implica su reparación (pág. 11).

**2.1.19.5.3. Consecuencias no-operacionales.** Estas fallas no afectan ni a la seguridad ni a la producción. Su impacto se limita exclusivamente al costo directo de realizar la reparación necesaria (pág. 11).

**2.1.19.5.4. Consecuencias de fallas ocultas.** Son aquellas que, si bien no generan un impacto inmediato o directo, representan un riesgo significativo porque pueden dar lugar a fallas múltiples con efectos graves o incluso catastróficos. Este tipo de consecuencias suele estar asociado a sistemas de protección que no cuentan con mecanismos de seguridad inherente (pág. 10).

**2.1.19.6 Tareas Proactivas.** Recurriendo a Moubray (2004), las tareas proactivas pueden definirse como intervenciones de mantenimiento planificadas que se realizan con anticipación a la ocurrencia de una falla, con el objetivo de prevenirla, predecirla o reducir sus consecuencias. Estas tareas surgen de la necesidad de actuar antes de que una falla cause efectos significativos, especialmente cuando sus consecuencias pueden ser graves.

El pensamiento tradicional asumía que la mayoría de los equipos fallan por desgaste con la edad, lo que llevó a implementar tareas de mantenimiento a intervalos fijos. Sin embargo, estudios han demostrado que en equipos modernos, solo una minoría de fallas sigue este patrón de "desgaste por edad", siendo mucho más comunes las fallas aleatorias o sin una edad crítica clara.

Por ello, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) clasifica las tareas proactivas en tres tipos:

- Tareas de reacondicionamiento cíclicas (revisar o restaurar componentes de forma periódica),
- Tareas de sustitución cíclicas (reemplazar componentes en intervalos definidos),
- Tareas a condición (realizar mantenimiento solo cuando se detectan indicadores de deterioro).

Estas tareas deben seleccionarse cuidadosamente, considerando si realmente mejoran la confiabilidad y si el modo de falla es predecible o relacionado con la edad (pág. 13).

**2.1.19.6.1 Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas.** Consisten en restaurar o reemplazar componentes en intervalos de tiempo fijos, sin tener en cuenta su estado actual. Ambas forman parte del mantenimiento preventivo tradicional, que solía aplicarse con frecuencia, aunque hoy en día su uso ha disminuido notablemente (pág. 14).

**2.1.19.6.2 Tareas a condición.** Se enfocan en identificar señales anticipadas de fallas, conocidas como fallas potenciales, que indican que una falla funcional está por suceder o ya está ocurriendo. Estas tareas permiten intervenir antes de que el problema cause consecuencias mayores. Se denominan así porque los componentes permanecen operativos siempre que cumplan con ciertos parámetros de funcionamiento. Este enfoque incluye técnicas como el mantenimiento predictivo y el monitoreo de condición, y si se aplican correctamente, pueden ser muy efectivas, aunque también pueden resultar costosas si se usan de forma inadecuada (pág. 14).

**2.1.19.7. Acciones a falta de.** Según Moubray (2004), son acciones que se aplican cuando un equipo ya ha fallado y no se ha podido definir una tarea proactiva eficaz para evitarlo (pág. 148).

Estas acciones se pueden agrupar en tres grandes categorías (págs. 14-15):

- Búsqueda de fallas
- Rediseño
- Ningún mantenimiento programado

**2.1.19.7.1. Búsqueda de fallas:** Consiste en inspeccionar regularmente funciones ocultas para verificar si ya han fallado, a diferencia de las tareas a condición, que buscan detectar si una falla está por suceder (pág. 14).

**2.1.19.7.2. Rediseño:** Implica realizar modificaciones únicas en las capacidades originales de un sistema, lo que puede incluir tanto cambios en el equipo como ajustes únicos en los procedimientos (pág. 14).

**2.1.19.7.3. Ningún mantenimiento programado:** No se realiza esfuerzo en prevenir ni anticipar fallas, sino que se permite que ocurran para después llevar a cabo la reparación. También se conoce como mantenimiento "a rotura" (pág. 15).

### **2.1.20. Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE)**

Recurriendo a Moubray (2004), se puede entender que el Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE) es un proceso que se utiliza para identificar los modos de falla que pueden causar una determinada falla funcional, así como para determinar los efectos que tendría cada uno de esos modos de falla. Es una parte central del proceso de RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y se aplica después de definir las funciones y fallas funcionales de un activo físico (pág. 56).

**2.1.20.1. Fuentes de Información acerca de Modos y Efectos.** Cuando se trata de reunir la información necesaria para desarrollar un AMFE completo, es importante adoptar un enfoque proactivo. Esto implica prestar atención no solo a los fallos que ya han sucedido, sino también a los que podrían llegar a ocurrir. Las fuentes de información más comunes son las siguientes (pág. 81):

- El fabricante o proveedor del equipo
- Listas genéricas de modos de falla
- Otros usuarios de la misma maquinaria
- Registros de antecedentes técnicos
- Las personas que operan y mantienen el equipo

**2.1.20.1.1. El fabricante o proveedor del equipo:** Aunque suele ser la primera opción, el fabricante muchas veces desconoce el uso diario del equipo y su entorno operativo, por lo que su AMFE suele ser genérico. La mejor forma de aprovechar su conocimiento es involucrar a sus vendedores técnicos en conjunto con los usuarios (págs. 81-82).

**2.1.20.1.2. Listas genéricas de modos de falla:** Son listas predefinidas por terceros que pueden ayudar a iniciar un AMFE, pero deben usarse con cautela, ya que pueden no adaptarse al nivel de análisis, contexto o estándares específicos del usuario (págs. 82-83).

**2.1.20.1.3. Otros usuarios de la misma maquinaria:** Son una fuente valiosa cuando se comparte información a través de asociaciones o dentro de una misma

organización. Sin embargo, pueden presentar los mismos riesgos que las listas genéricas si no se adaptan al contexto propio (pág. 83).

**2.1.20.1.4. Registros de antecedentes técnicos:** Ofrecen datos útiles; sin embargo, deben ser tratados con cautela ya que a menudo están incompletos o centrados en reparaciones más que en causas. Además, no cubren fallos que aún no han ocurrido ni siempre distinguen entre causa y efecto (pág. 83).

**2.1.20.1.5. Las personas que operan y mantienen el equipo:** Son la fuente más confiable para un AMFE efectivo, ya que conocen a fondo el comportamiento del equipo. Su participación directa en el análisis, guiada por un facilitador, permite capturar conocimientos valiosos del entorno real (pág. 84).

**2.1.20.2 La Hoja de Información de RCM.** Una vez definidas las funciones, fallas funcionales asociadas a las mismas e identificados los modos y efectos de fallas para cada falla funcional, estos se deben registrar en La Hoja de Información de RCM. El modelo de esta hoja se muestra en la figura 24 (pág. 93):

**Figura 24**

*Modelo de La Hoja de Información de RCM*

| HOJA DE INFORMACIÓN RCMII<br>© 1998 ALADON LTD |                                                                                                                                               | SISTEMA<br>Turbina a gas de 5MW                                                |                                                                   | SISTEMA N°<br>216 - 05                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Facilitador:<br>N Smith                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Fecha<br>07 - 07 - 1998 |  | Hoja N°<br>1 |  |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--|--------------|--|
|                                                |                                                                                                                                               | SUBSISTEMA<br>Sistema de Escape                                                |                                                                   | SUBSISTEMA N°<br>216 - 05 - 11                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Auditor:<br>P Jones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Fecha<br>07 - 08 - 1998 |  | de<br>3      |  |
| FUNCION                                        |                                                                                                                                               | FALLA FUNCIONAL<br>(Pérdida de función)                                        |                                                                   | MODO DE FALLA                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | EFECTO DE FALLA<br>(Qué sucede cuando se produce una falla)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |  |              |  |
| 1                                              | Conducir sin restricciones todos los gases calientes de la turbina hasta un punto fijado a 10 metros encima del techo de la sala de turbinas. | A.                                                                             | Incapaz de canalizar los gases                                    | 1                                                | Montantes del silenciador corroidos                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | El ensemble del silenciador colapsa y cae al fondo del conducto. La contrapresión hace que la turbina se acelere violentamente y se pare a una alta temperatura de escape. Tiempo de parada de máquina para reemplazar el silenciador, hasta cuatro semanas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |  |              |  |
|                                                |                                                                                                                                               | B.                                                                             | Flujo de gases restringido                                        | 1                                                | Se desprende parte del silenciador por fatiga                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Según la naturaleza del atasco, la temperatura de escape puede subir hasta parar la turbina. Partículas de deshecho sueltas podrían dañar partes de la turbina. Tiempo de parada de máquina para reparar el silenciador, 4 semanas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |  |              |  |
|                                                |                                                                                                                                               | C.                                                                             | No puede contener los gases                                       | 1                                                | Se agujerea la junta flexible por corrosión                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | La junta flexible está dentro de la campana de la turbina, de modo que la mayor parte de la fuga de los gases de escape sería evacuada por el sistema de extracción de la campana. No es probable que los mecanismos existentes de detección de incendio y gases dentro de la campana detecten una fuga de gases de escape, y es improbable que la temperatura suba lo suficiente como para hacer disparar la alarma detectora de fuego. Una pérdida grave puede hacer que se sobrecaliente el separador de partículas sólidas y líquidos en los gases, así como fundir la alfama de control situada cerca de la fuga, con consecuencias imprevisibles. Los equilibrios de presión dentro de la campana son tales que es probable que poco, o ningún, gas pueda escapar por una fuga pequeña, de manera que es posible que no se detecte una fuga pequeña por el oflito o el oído. Tiempo de parada de máquina para reemplazar la junta, hasta 3 días. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |  |              |  |
|                                                | No puede transportar los gases a un punto situado a 10 metros encima del techo                                                                |                                                                                |                                                                   |                                                  | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Junta del conducto colocada incorrectamente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Los gases se fugan al interior de la sala de turbinas y la temperatura ambiente sube. El sistema de ventilación de la sala de turbinas evacuaría los gases a través de las rejillas a la atmósfera, por lo cual se considera poco probable que la concentración de gases de escape alcance niveles nocivos. Una fuga pequeña en este punto pudiera ser audible. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta 4 días. |                         |  |              |  |
|                                                |                                                                                                                                               |                                                                                |                                                                   | 3                                                | Fuelle superior agujereado por corrosión                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Los fueles superiores están situados fuera de la sala de turbinas, de manera que los gases procedentes de una fuga aquí se dispersarían a la atmósfera. Puede que suba el nivel de ruido del ambiente. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta 1 semana.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |  |              |  |
|                                                |                                                                                                                                               |                                                                                |                                                                   | 1                                                | Bulones de montaje de la chimenea de escape cortados por oxidación                                                                                                                                                                                                                                                                             | Probablemente la chimenea comience a inclinarse, y sea sostenida por los cables de anclaje por un tiempo, antes de demurrarse. Si cayera, existe una gran posibilidad de que dañe una estructura ocupada por personas. Tiempo de parada de máquina para reparar, entre varios días y varias semanas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |  |              |  |
| D.                                             |                                                                                                                                               | No puede transportar los gases a un punto situado a 10 metros encima del techo | 2                                                                 | Chimenea de escape derribada por vientos fuertes | La estructura del conducto está diseñada para soportar vientos de hasta 350 Km/h, por lo que solo tiene posibilidades de caerse durante una tormenta si los cables de anclaje han sido debilitados, quizá por corrosión. De ocurrir, podría caer sobre un módulo de viviendas. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta varias semanas. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |  |              |  |
| 2                                              | Reducir el nivel de ruido del escape a Nivel de Ruido 30 de ISO, a 50 metros                                                                  | A.                                                                             | El nivel de ruido excede el Nivel de Ruido 30 de ISO, a 50 metros | 1                                                | Malta de retención de material del silenciador corroida                                                                                                                                                                                                                                                                                        | La mayoría del material se volaría hacia afuera, pero es posible que parte de él caiga al fondo del conducto y obstruya la salida de la turbina, causando una alta temperatura de gases de escape y posible interrupción en el servicio de la turbina. Los niveles de ruido subirían progresivamente. Tiempo de parada de máquina para reparar, alrededor de 2 semanas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |  |              |  |
|                                                |                                                                                                                                               |                                                                                |                                                                   | 2                                                | Fugas del conducto fuera de la sala de turbinas                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ..., etc.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |  |              |  |

Fuente (Moubray, 2004, pág. 93)

### **2.1.21. El Diagrama de Decisión de RCM**

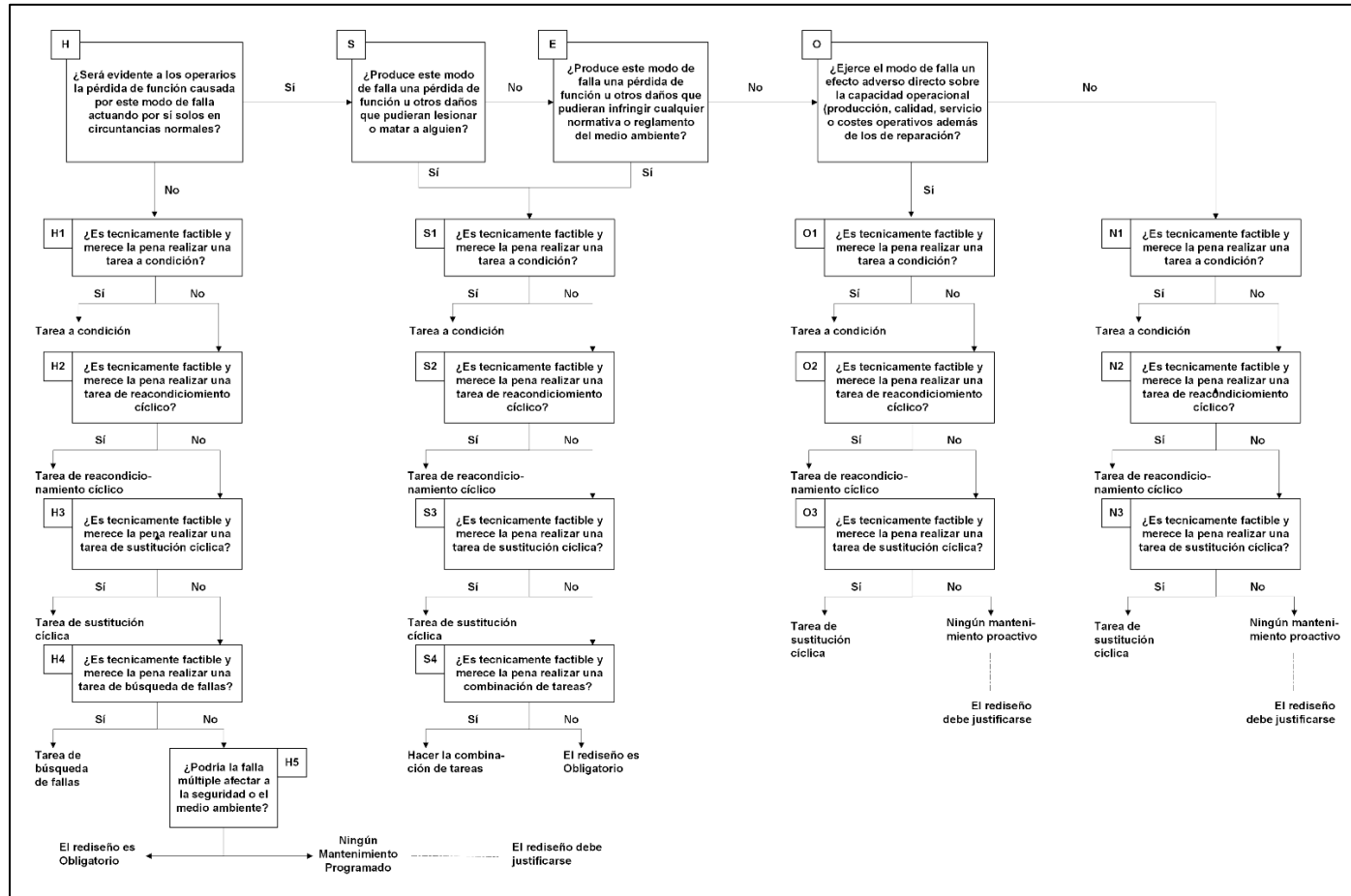
Moubray (2004), nos presenta El Diagrama de Decisión de RCM como una herramienta estratégica que unifica todos los procesos de decisión en una sola estructura. Se aplica a cada modo de falla identificado en la Hoja de Información RCM y permite tomar decisiones de mantenimiento de manera sistemática. Según esta metodología se busca responder las interrogativas planteadas en El Diagrama de Decisión de RCM para ser asentadas en La Hoja de Decisión RCM, y en base en esas respuestas, registrar (pág. 202):

- qué tareas de mantenimiento periódico (si corresponde) se llevarán a cabo, con qué intervalo y por quién
- qué tipos de fallas tienen tal gravedad que ameritan una modificación del diseño
- en qué situaciones se opta conscientemente por permitir que las fallas sucedan

En la figura 25 se muestra el Diagrama de Decisión RCM:

**Figura 25**

*Diagrama de Decisión RCM*



Nota. Adaptado de (Moubray, 2004, pág. 205)

**2.1.21.1. La Hoja de Decisión RCM.** Constituye el segundo de los dos documentos clave empleados en la implementación del RCM, siendo el primero la Hoja de Información. La Hoja de Decisión sirve para registrar las respuestas obtenidas a partir del Diagrama de Decisión. Está compuesta por dieciséis columnas, entre las cuales las columnas F, FF y FM señalan el modo de falla específico que se está evaluando en esa fila, permitiendo así vincular la información entre la Hoja de Información y la Hoja de Decisión. (pág. 202-206). En la figura 26 se muestra la Hoja de Decisión RCM:

**Figura 26**

*Hoja de Decisión RCM*

|                                                    |    |    |                                 |   |   |   |                      |                      |                      |                   |    |    |                 |              |                   |                  |
|----------------------------------------------------|----|----|---------------------------------|---|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|----|----|-----------------|--------------|-------------------|------------------|
| <b>HOJA DE DECISIÓN RCMII</b><br>© 1990 ALADON LTD |    |    | SISTEMA                         |   |   |   |                      |                      |                      |                   |    |    | Sistema N°      | Facilitador: | Fecha             | Hoja N°          |
|                                                    |    |    | SUBSISTEMA                      |   |   |   |                      |                      |                      |                   |    |    | Subsistema N°   | Auditor:     | Fecha             | de               |
| Referencia de Información                          |    |    | Evaluación de las consecuencias |   |   |   | H1<br>S1<br>O1<br>N1 | H2<br>S2<br>O1<br>N2 | H3<br>S3<br>O3<br>N3 | Acción a falta de |    |    | Tarea Propuesta |              | Intervalo inicial | A realizarse por |
| F                                                  | FF | FM | H                               | S | E | O |                      |                      |                      | H4                | H5 | S4 |                 |              |                   |                  |
|                                                    |    |    |                                 |   |   |   |                      |                      |                      |                   |    |    |                 |              |                   |                  |

Fuente (Moubray, 2004, pág. 203)

## **2.2. Marco Conceptual: Definición de términos o conceptos**

- a) Mantenimiento: es el uso de técnicas destinadas a conservar operativos los equipos e instalaciones durante el mayor tiempo posible, buscando una alta disponibilidad y un rendimiento óptimo (García Garrido, 2003, pág. 1).
- b) Mantenimiento Correctivo: consiste en realizar las acciones necesarias para solucionar fallas o problemas detectados en los equipos, los cuales son reportados al área de mantenimiento por los propios usuarios (García Garrido, 2003, pág. 17).
- c) Mantenimiento Preventivo: es un enfoque sistemático que busca anticiparse a las fallas y evitar la degradación del funcionamiento de un equipo mediante intervenciones planificadas y periódicas, con el objetivo de mantenerlo en condiciones óptimas y extender su vida útil (Mobley et al., 2008, págs. 2.3-2.4).
- d) Mantenimiento predictivo: es una técnica de gestión que evalúa periódicamente la condición real de los equipos mediante el monitoreo y análisis de parámetros clave, con el objetivo de anticipar fallas y optimizar su desempeño operativo (Mobley et al., 2008, págs. 2.19).
- e) Plan de Mantenimiento: es un documento dinámico que reúne todas las tareas de mantenimiento programado para un equipo, con el objetivo de garantizar su disponibilidad, y cuya elaboración implica un proceso estructurado basado en el análisis del equipo, sus componentes y los modelos de mantenimiento más adecuados (García Garrido, 2003, pág. 37).
- f) Disponibilidad: se entiende como la probabilidad de que un equipo opere correctamente en el instante en que se necesite, una vez iniciada su operación y siempre que se utilice en condiciones normales y constantes (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 67).
- g) MTBF: es el Tiempo Medio entre Fallos y se refiere al promedio de tiempo durante el cual un equipo opera correctamente sin presentar fallas (Sierra Fernández & Andrea Calvo, 2017, pág. 6).

- h) MTTR: Es el Tiempo medio de reparación y representa el tiempo medio requerido para restaurar un sistema tras una falla (Fractal Tech S.L, 2024, pág. 8).
- i) Análisis de criticidad: es una herramienta que asigna valores relativos a la frecuencia y consecuencias de posibles eventos, representándolos en una matriz de riesgo que facilita la evaluación del nivel de riesgo asociado a instalaciones, sistemas, equipos o componentes (Santos et al., 2013, pág. 17).
- j) Metodología de Análisis de Criticidad de los Puntos: es un enfoque que evalúa la criticidad asignando puntuaciones a los niveles de frecuencia y consecuencia de posibles eventos, utilizando una matriz de puntos. Surgió en la industria petrolera del Mar del Norte en los años 90 y se orienta a mejorar la confiabilidad de los procesos productivos (Santos et al., 2013, págs. 24-25).
- k) Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM): es un proceso que permite identificar las acciones necesarias para garantizar que un activo físico siga cumpliendo con las funciones que se esperan de él, dentro de las condiciones específicas en las que opera (Moubray, 2004, pág. 8).
- l) Funciones: son las acciones o tareas que se espera que un activo físico realice dentro de su contexto operacional, incluyendo los niveles de desempeño requeridos para cumplir con su propósito (Moubray, 2004, pág. 8).
- m) Fallas Funcionales: son los estados en los que un activo no puede cumplir una función según los criterios de desempeño definidos por el usuario, ya sea por una falla total o parcial, incluyendo situaciones donde el funcionamiento persiste, pero con un nivel de desempeño inaceptable (Moubray, 2004, págs. 8-9).
- n) Modos de Falla: son los factores razonablemente posibles que pueden causar una falla funcional en un activo, incluyendo deterioro por uso, errores humanos y deficiencias de diseño, y deben describirse con el nivel de detalle adecuado para identificar correctamente la causa del problema (Moubray, 2004, pág. 9).

- o) Efectos de Falla: indican qué es lo que exactamente sucede cuando se presenta un modo de falla, respondiendo a la pregunta "¿Qué ocurre?" cuando sucede dicha falla, a diferencia de la consecuencia de falla, la cual responde a "¿Qué importancia tiene?" (Moubray, 2004, págs. 76-77).
- p) Consecuencias de la falla: son los efectos específicos que una falla genera en la organización, afectando áreas como la operación, calidad, servicio, seguridad o medio ambiente, y que determinan el impacto económico y operativo, siendo el criterio principal para decidir acciones de mantenimiento proactivo en el enfoque RCM (Moubray, 2004, pág. 10).
- q) Tareas Proactivas: son intervenciones de mantenimiento planificadas que se realizan con anticipación a la ocurrencia de una falla, con el objetivo de prevenirla, predecirla o reducir sus consecuencias (Moubray, 2004, pág. 13).
- r) Acciones a falta de: son acciones que se aplican cuando un equipo ya ha fallado y no se ha podido definir una tarea proactiva eficaz para evitarlo (Moubray, 2004, pág. 148).
- s) AMFE: el Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE) es un proceso que se utiliza para identificar los modos de falla que pueden causar una determinada falla funcional, así como para determinar los efectos que tendría cada uno de esos modos de falla. Se aplica después de definir las funciones y fallas funcionales de un activo físico. (Moubray, 2004, pág. 56).
- t) Hoja de Información de RCM: Una vez definidas las funciones, fallas funcionales asociadas a las mismas e identificados los modos y efectos de fallas para cada falla funcional, estos se deben registrar en La Hoja de Información de RCM (Moubray, 2004, pág. 93).
- u) Diagrama de Decisión de RCM: es una herramienta estratégica que integra todos los procesos de decisión de mantenimiento en una estructura única, aplicada a cada modo de falla identificado para tomar decisiones sistemáticas

sobre tareas de mantenimiento, modificaciones de diseño o la aceptación consciente de fallas (Moubray, 2004, pág. 202).

- v) Hoja de Decisión RCM es un documento clave en la implementación del RCM que registra las respuestas derivadas del Diagrama de Decisión, permitiendo evaluar modos de falla específicos y vincular esta información con la Hoja de Información mediante columnas identificadoras (Moubray, 2004, pág. 202-206).

## CAPITULO III

### Desarrollo del Trabajo de Investigación

#### 3.1. Análisis de criticidad para determinar el componente más crítico

Se procede a realizar el análisis de criticidad en base a los sistemas y sub-sistemas o componentes de los Jumbos Frontoneros Boomer S1D, que son con los que cuenta la unidad minera de estudio, aplicando la Metodología de Análisis de Criticidad de los Puntos.

En primer lugar, se asigna una puntuación a los factores ponderados a ser evaluados, los mismos que son listados en la tabla 3:

**Tabla 3**

*Puntuación de los criterios para el Análisis de Criticidad*

| Factor Ponderado             | Criterio                                               | Puntaje |
|------------------------------|--------------------------------------------------------|---------|
| Frecuencia de Fallas         | Más de 6 fallas al año                                 | 6       |
|                              | De 4 a 6 Fallas al año                                 | 4       |
|                              | De 1 a 3 fallas al año                                 | 3       |
|                              | Menos de una falla al año                              | 1       |
| Nivel de Producción          | Parada inmediata del proceso                           | 10      |
|                              | Impacta en niveles de producción                       | 5       |
|                              | No afecta a la producción                              | 1       |
| Impacto Operacional          | Parada de equipo hasta la llegada de repuesto          | 4       |
|                              | El equipo puede trabajar hasta la llegada del repuesto | 2       |
|                              | Repuesto siempre disponible                            | 1       |
| Tiempo Promedio Para Reparar | Más de 24 horas                                        | 6       |
|                              | Entre 8 y 24 horas                                     | 4       |
|                              | Entre 4 y 8 horas                                      | 2       |
|                              | Menos de 4 horas                                       | 1       |
| Costo de Reparación          | Más de 2500.00 USD                                     | 25      |
|                              | Entre de 1000.00 - 2500.00 USD                         | 10      |
|                              | Menos de 1000.00 USD                                   | 5       |
| Impacto en Seguridad         | Alto potencial de producir la muerte                   | 35      |
|                              | Alto potencial de producir un daño incapacitante       | 20      |
|                              | Alto potencial de producir una lesión leve             | 10      |
|                              | Casi imposible de producir daño a la persona           | 0       |
| Impacto Ambiental            | Produce un gran impacto ambiental                      | 30      |
|                              | Produce un mediano impacto ambiental                   | 20      |
|                              | Produce un leve impacto ambiental                      | 10      |
|                              | No produce ningún impacto ambiental                    | 0       |

*Nota.* Se asignaron puntuaciones a cada criterio establecido según el factor ponderado.

Elaboración propia.

En el marco teórico se ha visto que la criticidad puede ser expresada en términos de la frecuencia de falla y el impacto, que en nuestro caso vendría a ser la consecuencia:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de Falla} * \text{Impacto}$$

Así también, el análisis de criticidad por puntos nos brinda la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Criticidad} = & \text{Frecuencia de Fallas} * [(\text{Nivel de producción} * \% \text{ Impacto} * \text{TPPR}) \\ & + \text{Costo de Reparación} + \text{Impacto en Seguridad} + \text{Impacto Ambiental}] \end{aligned}$$

Entonces se puede deducir que la consecuencia puede ser expresada de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Consecuencia} = & (\text{Nivel de producción} * \% \text{ Impacto} * \text{TPPR}) + \text{Costo de Reparación} \\ & + \text{Impacto en Seguridad} + \text{Impacto Ambiental} \end{aligned}$$

Esta última ecuación ayudará en la asignación de los rangos en el eje de consecuencias de la Matriz de Criticidad. Siendo que el máximo valor de consecuencia obtenido según la puntuación asignada a cada criterio es 330, y se han considerado 5 intervalos de 66 puntos cada uno en el eje de consecuencias de la Matriz de Criticidad, quedando la misma como se muestra en la figura 27:

**Figura 27**

*Matriz de Criticidad de Los Jumbo S1D*

|              |   |        |          |           |           |           |
|--------------|---|--------|----------|-----------|-----------|-----------|
| FRECUENCIA   | 6 | SC     | SC       | C         | C         | C         |
|              | 4 | SC     | SC       | SC        | C         | C         |
|              | 3 | NC     | NC       | SC        | C         | C         |
|              | 1 | NC     | NC       | NC        | SC        | C         |
|              |   | [0-66> | [66-132> | [132-198> | [198-264> | [264-330] |
| CONSECUENCIA |   |        |          |           |           |           |

*Nota.* Elaboración Propia

Donde las siglas “NC”, “SC” y “C” señalan el nivel de criticidad y significan los siguiente:

- NC: No Crítico
- SC: Semi Crítico
- C: Crítico

Teniendo en cuenta la puntuación de los criterios y la matriz de criticidad considerados, se obtiene la tabla 4, la cual lista los sistemas, sub-sistemas o componentes de los Jumbos Boomer S1D de la unidad minera, así como su nivel de criticidad.

**Tabla 4**

*Criticidad de Sistemas en el Jumbo Boomer S1D*

| Sistema         | Subsistema o componente | Frecuencia de Fallas | Nivel de Producción | Impacto Operacional | TPPR | Costo de Reparación | Impacto en Seguridad | Impacto Ambiental | Consecuencia | Criticidad Total | Criticidad Según Matriz de Criticidad |
|-----------------|-------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------|---------------------|----------------------|-------------------|--------------|------------------|---------------------------------------|
| Perforación     | Perforadora             | 6                    | 10                  | 4                   | 1    | 25                  | 10                   | 20                | 95           | 570              | Semi-Crítico                          |
|                 | Viga                    | 3                    | 5                   | 2                   | 4    | 25                  | 0                    | 0                 | 65           | 195              | No Crítico                            |
| Posicionamiento | Boom                    | 3                    | 5                   | 4                   | 6    | 25                  | 10                   | 0                 | 155          | 465              | Semi-Crítico                          |
|                 | Estabilizadores         | 3                    | 5                   | 2                   | 1    | 10                  | 20                   | 10                | 50           | 150              | No Crítico                            |
| Agua/Aire       | Compresora de Aire      | 1                    | 5                   | 2                   | 4    | 25                  | 10                   | 10                | 85           | 85               | No Crítico                            |
|                 | Bomba de Agua           | 3                    | 5                   | 2                   | 2    | 10                  | 0                    | 0                 | 30           | 90               | No Crítico                            |
|                 | Electroválvulas         | 3                    | 5                   | 2                   | 1    | 5                   | 10                   | 0                 | 25           | 75               | No Crítico                            |
| Hidráulico      | Power Pack              | 1                    | 10                  | 4                   | 2    | 25                  | 10                   | 10                | 125          | 125              | No Crítico                            |
|                 | Tanque Hidráulico       | 1                    | 5                   | 2                   | 4    | 25                  | 10                   | 20                | 95           | 95               | No Crítico                            |
|                 | Cilindros Hidráulicos   | 3                    | 5                   | 4                   | 2    | 10                  | 10                   | 10                | 70           | 210              | No Crítico                            |
|                 | Blocks de válvulas      | 3                    | 5                   | 2                   | 2    | 10                  | 10                   | 10                | 50           | 150              | No Crítico                            |
|                 | Mangueras Hidráulicas   | 6                    | 5                   | 1                   | 1    | 5                   | 10                   | 30                | 50           | 300              | Semi-Crítico                          |
| Eléctrico       | Baterías                | 3                    | 5                   | 1                   | 1    | 5                   | 0                    | 10                | 20           | 60               | No Crítico                            |
|                 | Hardness Eléctrico      | 1                    | 5                   | 2                   | 2    | 10                  | 10                   | 0                 | 40           | 40               | No Crítico                            |
|                 | Bobinas                 | 3                    | 5                   | 2                   | 1    | 5                   | 0                    | 0                 | 15           | 45               | No Crítico                            |
|                 | Switches                | 3                    | 5                   | 2                   | 1    | 5                   | 0                    | 0                 | 15           | 45               | No Crítico                            |
|                 | Cable Reel              | 1                    | 10                  | 2                   | 4    | 25                  | 35                   | 0                 | 140          | 140              | No Crítico                            |
|                 | Motor Eléct. Power Pack | 1                    | 10                  | 4                   | 2    | 25                  | 35                   | 0                 | 140          | 140              | No Crítico                            |
|                 | Interruptores           | 3                    | 5                   | 2                   | 1    | 10                  | 35                   | 0                 | 55           | 165              | No Crítico                            |
| Diesel          | Motor Diesel            | 4                    | 10                  | 4                   | 6    | 25                  | 20                   | 30                | 315          | 1260             | Crítico                               |
|                 | Arrancador              | 3                    | 10                  | 1                   | 1    | 5                   | 0                    | 0                 | 15           | 45               | No Crítico                            |
|                 | Alternador              | 3                    | 10                  | 1                   | 1    | 5                   | 0                    | 0                 | 15           | 45               | No Crítico                            |
| Tren de Fuerza  | Ejes                    | 1                    | 10                  | 4                   | 4    | 25                  | 10                   | 0                 | 195          | 195              | No Crítico                            |
|                 | Caja Transmisión Hid.   | 1                    | 10                  | 4                   | 4    | 25                  | 0                    | 10                | 195          | 195              | No Crítico                            |
|                 | Bomba de Acarreo        | 1                    | 10                  | 4                   | 4    | 25                  | 0                    | 10                | 195          | 195              | No Crítico                            |
|                 | Motor de Acarreo        | 1                    | 10                  | 4                   | 4    | 25                  | 0                    | 10                | 195          | 195              | No Crítico                            |
|                 | Línea Cardánica         | 1                    | 10                  | 2                   | 4    | 10                  | 10                   | 0                 | 100          | 100              | No Crítico                            |
|                 | Frenos                  | 1                    | 10                  | 4                   | 4    | 10                  | 20                   | 0                 | 190          | 190              | No Crítico                            |
|                 | Dirección               | 1                    | 10                  | 4                   | 4    | 10                  | 20                   | 0                 | 190          | 190              | No Crítico                            |
|                 | Ruedas                  | 3                    | 10                  | 1                   | 1    | 10                  | 20                   | 10                | 50           | 150              | No Crítico                            |

De la tabla 4 se puede extraer que el componente crítico de los Jumbos de la flota de equipos trackless de la unidad minera de estudio es el Motor Diesel del Sistema Diesel, por lo que a partir de ahora se aplicará la Metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a ese componente en específico.

### 3.2. Identificación de las funciones del Motor Diesel

Una vez determinado el componente crítico de los Jumbos Frontoneros, para poder aplicar una metodología RCM, se necesitan definir cuáles son las funciones de dicho componente. Las funciones del motor diesel se listan en la tabla 5:

**Tabla 5**

*Funciones del componente Motor Diesel del Jumbo Boomer S1D*

| Componente   | N° | Función                                                                                                                                                                           |
|--------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Motor Diesel | 1  | Estar encendido para proveer energía mecánica con la potencia suficiente para el accionamiento de los sistemas de tren de fuerza y posicionamiento durante el traslado del equipo |
|              | 2  | Acoplarse a un generador para entregar energía al sistema eléctrico de 24V                                                                                                        |
|              | 3  | Mantener la temperatura del aceite menor a 135°C                                                                                                                                  |
|              | 4  | Emisión de gases de escape con un valor menor a los 500 PPM de CO                                                                                                                 |
|              | 5  | Trabajar sin fugas de aceite                                                                                                                                                      |

*Nota.* Se ha asignado un número a la izquierda de cada función para que puedan ser referidas más adelante. Elaboración propia.

### 3.3. Identificación de las fallas funcionales del Motor Diesel

En este paso se identificarán las fallas funcionales relacionadas a cada una de las funciones identificadas en la sección anterior. Las fallas funcionales identificadas para el motor Diesel se listan en la tabla 6 en base a su función relacionada:

**Tabla 6**

*Fallas Funcionales del componente Motor Diesel del Jumbo Boomer S1D*

| COMPONENTE   | FUNCIÓN                                                                                                                                                                             | FALLA FUNCIONAL                                    |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Motor Diesel | 1 Estar encendido para proveer energía mecánica con la potencia suficiente para el accionamiento de los sistemas de tren de fuerza y posicionamiento durante el traslado del equipo | A Incapacidad de encender<br>B Pérdida de potencia |
|              | 2 Acoplarse a un generador para entregar energía al sistema eléctrico de 24V                                                                                                        | A No llega energía de alimentación al sistema 24v  |
|              | 3 Mantener la temperatura del aceite menor a 135°C                                                                                                                                  | A Temperatura se eleva sobre los 135°C             |
|              | 4 Emisión de gases de escape con un valor menor a los 500 PPM de CO                                                                                                                 | A Emisión de CO sobre los 500 PPM                  |
|              | 5 Trabajar sin fugas de aceite                                                                                                                                                      | A Fuga de aceite por juntas                        |

*Nota.* Se ha asignado una letra a cada falla funcional relacionada a cada función. Esto permitirá referirlas más fácilmente más adelante. Elaboración propia.

### 3.4. Análisis de Modos de Falla y Efectos aplicado al Motor Diesel

En esta parte se identificarán los modos y efectos de falla asociados a cada falla funcional identificada en la sección anterior para luego realizar la Hoja de información de RCM

#### 3.4.1. Identificación de los modos y efectos de falla del Motor Diesel

A continuación, se detallan los modos y efectos de falla identificados en el motor diesel del Jumbo, los mismos que se han agrupado en función a la falla funcional a los que están asociados y se listan en la tabla 7:

**Tabla 7**

*Modos y Efectos de Falla del Motor Diesel del Jumbo*

| FUNCIÓN | FALLA FUNCIONAL | MODO DE FALLA                            | EFFECTO DE FALLA                                                                                                                          |
|---------|-----------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | A               | 1 Bajo nivel de combustible              | Ingreso de aire al sistema de combustible obstaculizando el circuito                                                                      |
|         |                 | 2 Filtro de combustible mal instalado    | O-ring deteriorado permite el ingreso de aire al sistema de combustible obstaculizando el circuito                                        |
|         |                 | 3 Baterías en mal estado                 | No hay energía para accionar el arrancador                                                                                                |
|         |                 | 4 Arrancador desconectado                | No llega la energía para accionar el arrancador                                                                                           |
|         |                 | 5 Arrancador inoperativo                 | No se puede mover la volante para el encendido del motor Diesel                                                                           |
|         |                 | 6 Precalentadores deficientes            | No se puede precalentar el aire dentro de la cámara de combustión dificultando el encendido del motor                                     |
|         |                 | 7 Válvulas descalibradas                 | El comienzo de alimentación se desincroniza dificultando el encendido el motor                                                            |
|         |                 | 8 Bomba de inyección deficiente          | La alimentación de combustible no es la correcta para el encendido del motor                                                              |
|         | B               | 1 Filtro de admisión obstruido           | No ingresa el suficiente aire para realizar una combustión completa                                                                       |
|         |                 | 2 Filtro de combustible obstruido        | Disminuye el flujo combustible hacia la cámara de combustión y este déficit de combustible se refleja en un déficit de potencia del motor |
|         |                 | 3 Fugas en el sistema de admisión        | El aire escapa hacia el exterior llegando menos aire a la cámara de combustión generando combustión incompleta                            |
|         |                 | 4 Turbocompresor en mal estado           | No se está entregando el flujo de aire suficiente a la cámara de combustión para generar una combustión completa                          |
|         |                 | 5 Bomba de inyección deficiente          | La alimentación de combustible es deficiente, lo que se refleja en una pérdida de potencia                                                |
| 2       | A               | 1 Faja de alternador mal instalada       | Eje del alternador está sujeto a esfuerzos que dificultan su correcto funcionamiento                                                      |
|         |                 | 2 Rotura de faja de alternador           | No se puede transmitir movimiento al eje del alternador                                                                                   |
|         |                 | 3 Alternador inoperativo                 | No se puede alimentar de energía al sistema eléctrico de 24v                                                                              |
| 3       | A               | 1 Nivel de aceite de motor incorrecto    | Aumento en la fricción de los componentes internos del motor, elevando la temperatura del mismo y por ende también del aceite             |
|         |                 | 2 Filtro de aceite saturado              | Restricción en el flujo de aceite dificultando su enfriamiento correcto en el enfriador                                                   |
|         |                 | 3 Enfriador de aceite en mal estado      | Restricción en el flujo o pérdida del aceite de motor elevando su temperatura por enfriamiento deficiente o disminución en su nivel       |
|         |                 | 4 Faja de ventilador en mal estado       | Deficiencias o imposibilidad de trasmisión de movimiento al eje del ventilador del motor, generando recalentamiento.                      |
|         |                 | 5 Indicador de temperatura en mal estado | No se puede dar seguimiento a la temperatura del aceite de motor y por ende detectar a tiempo otras posibles fallas                       |
|         |                 | 6 Switch de temperatura en mal estado    | No se puede sensar la temperatura del aceite y por ende el indicador de temperatura no mostrará datos verdaderos                          |

|   |   |   |                                             |                                                                                                                                                                                                                   |
|---|---|---|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | A | 1 | Filtro de admisión obstruido                | La combustión incompleta por déficit del flujo de aire de admisión se traduce en el aumento de emisión de humos de escape                                                                                         |
|   |   | 2 | PTX obstruido                               | Se acumulan los gases de escape siendo liberados intempestivamente en altas concentraciones                                                                                                                       |
|   |   | 3 | Turbocompresor en mal estado                | La combustión incompleta por déficit en el flujo de aire de admisión se traduce en el aumento de emisión de humos de escape                                                                                       |
|   |   | 4 | Turbocompresor deja pasar aceite            | Ingreso de aceite de lubricación del compresor a la cámara de combustión, quemándose y generando exceso de humos en el escape                                                                                     |
|   |   | 5 | Fugas en el sistema de admisión             | La combustión incompleta por déficit de flujo de aire de admisión por pérdidas de aire hacia el exterior se traduce en el aumento de emisión de humos de escape.                                                  |
|   |   | 6 | Válvulas descalibradas                      | Las válvulas de admisión se están cerrando antes de que pueda ingresar todo el aire necesario para una combustión completa, lo que se traduce en aumento de emisión de humos de escape por combustión incompleta. |
| 5 | A | 1 | Empaque de tapa de balancines en mal estado | El aceite fuga hacia el exterior porque la junta en mal estado no garantiza la hermetización de la junta                                                                                                          |
|   |   | 2 | Enfriador de aceite con fisura              | El aceite fuga hacia el exterior a través de la fisura generada en el enfriador de aceite                                                                                                                         |

*Nota.* Para referenciar las funciones y fallas funcionales se utilizaron los número y letras señaladas en las tablas respectivas. Elaboración propia.

Las figuras 28 al 33 muestran fotografías que ilustran algunos modos de falla encontrados en el motor diesel:

### **Figura 28**

*Fotografía Modo de falla: Filtro Saturado / Obstruido*



**Figura 29**

*Fotografía Modo de Falla: Arrancador Inoperativo*



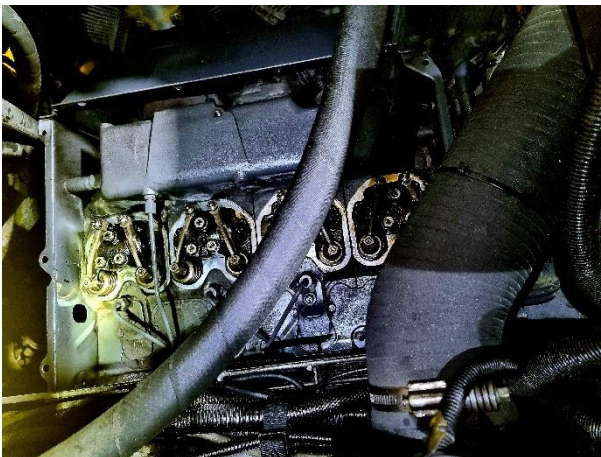
**Figura 30**

*Fotografía Modo de Falla: Alternador Inoperativo*



**Figura 31**

*Fotografía Modo de Falla: Válvulas descalibradas*



**Figura 32**

*Fotografía Modo de Falla: PTX obstruido*



**Figura 33**

*Fotografía Modo de Falla: Turbocompresor deja pasar aceite*



### **3.4.2. Elaboración de la Hoja de Información RCM del Motor Diesel**

Hasta este paso ya se han identificado las funciones, fallas funcionales, así como los modos y efectos de falla asociadas a las mismas para el motor diesel de los jumbos. Esta información ha sido debidamente registrada usando la Hoja de Información RCM y se muestra en la tabla 8:

**Tabla 8**

*Hoja de Información RCM del Motor Diesel*

| HOJA DE INFORMACIÓN RCM |                                                                                                                                                                                   | SISTEMA         |                                                 | SISTEMA N°    | Facilitador:                        | Fecha:                                                                                                                                    | Hoja N° |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|                         |                                                                                                                                                                                   | Diesel          |                                                 | JF-01         | R. De la Cruz                       | 15/09/2024                                                                                                                                | 1       |
|                         |                                                                                                                                                                                   | SUBSISTEMA      |                                                 | SUBSISTEMA N° | Auditor:                            | Fecha:                                                                                                                                    | de      |
|                         |                                                                                                                                                                                   | Motor Diesel    |                                                 | JF-01-01      |                                     |                                                                                                                                           | 1       |
| FUNCIÓN                 |                                                                                                                                                                                   | FALLA FUNCIONAL | MODO DE FALLA                                   |               | EFECTO DE FALLA                     |                                                                                                                                           |         |
| 1                       | Estar encendido para proveer energía mecánica con la potencia suficiente para el accionamiento de los sistemas de tren de fuerza y posicionamiento durante el traslado del equipo | A               | Incapacidad de encender                         | 1             | Bajo nivel de combustible           | Ingreso de aire al sistema de combustible obstaculizando el circuito                                                                      |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 2             | Filtro de combustible mal instalado | O-ring deteriorado permite el ingreso de aire al sistema de combustible obstaculizando el circuito                                        |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 3             | Baterías en mal estado              | No hay energía para accionar el arrancador                                                                                                |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 4             | Arrancador desconectado             | No llega la energía para accionar el arrancador                                                                                           |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 5             | Arrancador inoperativo              | No se puede mover la volante para el encendido del motor Diesel                                                                           |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 6             | Precalentadores deficientes         | No se puede precalentar el aire dentro de la cámara de combustión dificultando el encendido del motor                                     |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 7             | Válvulas descalibradas              | El comienzo de alimentación se desincroniza dificultando el encendido el motor                                                            |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 8             | Bomba de inyección deficiente       | La alimentación de combustible no es la correcta para el encendido del motor                                                              |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   | B               | Pérdida de potencia                             | 1             | Filtro de admisión obstruido        | No ingresa el suficiente aire para realizar una combustión completa                                                                       |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 2             | Filtro de combustible obstruido     | Disminuye el flujo combustible hacia la cámara de combustión y este déficit de combustible se refleja en un déficit de potencia del motor |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 3             | Fugas en el sistema de admisión     | El aire escapa hacia el exterior llegando menos aire a la cámara de combustión generando combustión incompleta                            |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 4             | Turbocompresor en mal estado        | No se está entregando el flujo de aire suficiente a la cámara de combustión para generar una combustión completa                          |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 5             | Bomba de inyección deficiente       | La alimentación de combustible es deficiente, lo que se refleja en una pérdida de potencia                                                |         |
| 2                       | Acoplarse a un generador para entregar energía al sistema eléctrico de 24V                                                                                                        | A               | No llega energía de alimentación al sistema 24v | 1             | Faja de alternador mal instalada    | Eje del alternador está sujeto a esfuerzos que dificultan su correcto funcionamiento                                                      |         |
|                         |                                                                                                                                                                                   |                 |                                                 | 2             | Rotura de faja de alternador        | No se puede transmitir movimiento al eje del alternador                                                                                   |         |

|   |                                                                   |   |                                      |                                               |                                                                                                                                                                                                                   |
|---|-------------------------------------------------------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                   |   | 3                                    | Alternador inoperativo                        | No se puede alimentar de energía al sistema eléctrico de 24v                                                                                                                                                      |
| 3 | Mantener la temperatura del aceite menor a 135°C                  | A | Temperatura se eleva sobre los 135°C | 1 Nivel de aceite de motor incorrecto         | Aumento en la fricción de los componentes internos del motor, elevando la temperatura del mismo y por ende también del aceite                                                                                     |
|   |                                                                   |   | 2                                    | Filtro de aceite saturado                     | Restricción en el flujo de aceite dificultando su enfriamiento correcto en el enfriador                                                                                                                           |
|   |                                                                   |   | 3                                    | Enfriador de aceite en mal estado             | Restricción en el flujo o pérdida del aceite de motor elevando su temperatura por enfriamiento deficiente o disminución en su nivel                                                                               |
|   |                                                                   |   | 4                                    | Faja de ventilador en mal estado              | Deficiencias o imposibilidad de transmisión de movimiento al eje del ventilador del motor, generando recalentamiento.                                                                                             |
|   |                                                                   |   | 5                                    | Indicador de temperatura en mal estado        | No se puede dar seguimiento a la temperatura del aceite de motor y por ende detectar a tiempo otras posibles fallas                                                                                               |
|   |                                                                   |   | 6                                    | Switch de temperatura en mal estado           | No se puede sensar la temperatura del aceite y por ende el indicador de temperatura no mostrará datos verdaderos                                                                                                  |
| 4 | Emisión de gases de escape con un valor menor a los 500 PPM de CO | A | Emisión de CO sobre los 500 PPM      | 1 Filtro de admisión obstruido                | La combustión incompleta por déficit del flujo de aire de admisión se traduce en el aumento de emisión de humos de escape                                                                                         |
|   |                                                                   |   | 2                                    | PTX obstruido                                 | Se acumulan los gases de escape siendo liberados intempestivamente en altas concentraciones                                                                                                                       |
|   |                                                                   |   | 3                                    | Turbocompresor en mal estado                  | La combustión incompleta por déficit en el flujo aire de admisión se traduce en el aumento de emisión de humos de escape                                                                                          |
|   |                                                                   |   | 4                                    | Turbocompresor deja pasar aceite              | Ingreso de aceite de lubricación del compresor a la cámara de combustión, quemándose y generando exceso de humos en el escape                                                                                     |
|   |                                                                   |   | 5                                    | Fugas en el sistema de admisión               | La combustión incompleta por déficit de flujo aire de admisión por pérdidas de aire hacia el exterior se traduce en el aumento de emisión de humos de escape.                                                     |
|   |                                                                   |   | 6                                    | Válvulas descalibradas                        | Las válvulas de admisión se están cerrando antes de que pueda ingresar todo el aire necesario para una combustión completa, lo que se traduce en aumento de emisión de humos de escape por combustión incompleta. |
| 5 | Trabajar sin fugas de aceite                                      | A | Fuga de aceite por juntas            | 1 Empaque de tapa de balancines en mal estado | El aceite fuga hacia el exterior porque la junta en mal estado no garantiza la hermetización de la junta                                                                                                          |
|   |                                                                   |   | 2                                    | Enfriador de aceite con fisura                | El aceite fuga hacia el exterior a través de la fisura generada en el enfriador de aceite                                                                                                                         |

### 3.5. Aplicación del Diagrama de Decisión RCM y registro de tareas propuestas

Una vez identificados los modos de fallas del Motor Diesel se usará el Diagrama de Decisión RCM para formular las tareas proactivas o las acciones a falta de que se llevarán a cabo o en todo caso en qué situaciones se optará por permitir que la falla suceda, finalmente esta información será registrada en la Hoja de Decisión RCM.

#### 3.5.1. Elaboración de la Hoja de Decisión RCM del Motor Diesel

Se elaboró la Hoja de Decisión RCM del Motor Diesel la cual se muestra en la tabla 9:

**Tabla 9**

Hoja de Decisión RCM del Motor Diesel

| HOJA DE DECISIÓN RCM      |   |   | SISTEMA                         |   |   |   |                      |                      | Sistema N°           |                   |   | Facilitador:  |                                                                     |  | Fecha      |                    |  | Hoja N° |               |  |  |
|---------------------------|---|---|---------------------------------|---|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|---|---------------|---------------------------------------------------------------------|--|------------|--------------------|--|---------|---------------|--|--|
|                           |   |   | SUBSISTEMA                      |   |   |   |                      |                      | Subsistema N°        |                   |   | Auditor:      |                                                                     |  | Fecha      |                    |  | de      |               |  |  |
|                           |   |   |                                 |   |   |   |                      |                      | JF-01                |                   |   | R. De la Cruz |                                                                     |  | 15/09/2024 |                    |  | 1       |               |  |  |
|                           |   |   |                                 |   |   |   |                      |                      | JF-01-01             |                   |   |               |                                                                     |  |            |                    |  | 1       |               |  |  |
| Referencia de Información |   |   | Evaluación de las consecuencias |   |   |   | H1<br>S1<br>O1<br>N1 | H2<br>S2<br>O2<br>N2 | H3<br>S3<br>O3<br>N3 | Acción a falta de |   |               | Tarea Propuesta                                                     |  |            | Frecuencia Inicial |  |         | Realizado por |  |  |
|                           |   |   |                                 |   |   |   |                      |                      |                      |                   |   |               |                                                                     |  |            |                    |  |         |               |  |  |
| F                         | F | F | H                               | S | E | O |                      |                      |                      | H                 | H | S             |                                                                     |  |            |                    |  |         |               |  |  |
| 1                         | A | 1 | S                               | N | N | S | S                    |                      |                      |                   |   |               | Revisión del nivel de combustible                                   |  |            | Diario             |  |         | Operador      |  |  |
| 1                         | A | 2 | S                               | N | N | S | S                    |                      |                      |                   |   |               | Inspección visual de filtros de combustible en busca de fugas       |  |            | Diario             |  |         | Operador      |  |  |
| 1                         | A | 3 | S                               | N | N | S | N                    | N                    | S                    |                   |   |               | Cambio de baterías                                                  |  |            | 500 H              |  |         | Electricista  |  |  |
| 1                         | A | 4 | S                               | N | N | S | S                    |                      |                      |                   |   |               | Inspección de conexiones eléctricas de arrancador                   |  |            | 125 H              |  |         | Electricista  |  |  |
| 1                         | A | 5 | S                               | N | N | S | N                    | S                    |                      |                   |   |               | Cambio de arrancador Stand-by y envío para su mantenimiento         |  |            | 500 H              |  |         | Electricista  |  |  |
| 1                         | A | 6 | S                               | N | N | S | N                    | N                    | S                    |                   |   |               | Cambio de precalentadores                                           |  |            | 1000 H             |  |         | Mecánico      |  |  |
| 1                         | A | 7 | S                               | N | N | S | N                    | S                    |                      |                   |   |               | Calibración de válvulas                                             |  |            | 1000 H             |  |         | Motorista     |  |  |
| 1                         | A | 8 | S                               | N | N | S | S                    |                      |                      |                   |   |               | Inspección y pruebas de la bomba de inyección                       |  |            | 500 H              |  |         | Motorista     |  |  |
| 1                         | B | 1 | S                               | N | N | S | N                    | N                    | S                    |                   |   |               | Cambio del filtro de admisión recomendado por el fabricante         |  |            | 25 H               |  |         | Mecánico      |  |  |
| 1                         | B | 2 | S                               | N | N | S | N                    | N                    | S                    |                   |   |               | Cambio de filtro de combustible                                     |  |            | 125 H              |  |         | Mecánico      |  |  |
| 1                         | B | 3 | S                               | N | N | S | N                    | N                    | S                    |                   |   |               | Cambio de empaque de múltiple de admisión                           |  |            | 1000 H             |  |         | Mecánico      |  |  |
| 1                         | B | 4 | S                               | N | N | S |                      |                      |                      |                   |   |               | Inspección visual y pruebas manuales al eje del turbocompresor      |  |            | 500 H              |  |         | Motorista     |  |  |
| 1                         | B | 5 | S                               | N | N | S | S                    |                      |                      |                   |   |               | Inspección y pruebas de la bomba de inyección                       |  |            | 500 H              |  |         | Motorista     |  |  |
| 2                         | A | 1 | N                               |   |   |   | S                    |                      |                      |                   |   |               | Inspección de la tensión de la faja y el alineamiento de las poleas |  |            | 125 H              |  |         | Mecánico      |  |  |
| 2                         | A | 2 | N                               |   |   |   | N                    | N                    | S                    |                   |   |               | Cambio de fajas de alternador                                       |  |            | 500 H              |  |         | Electricista  |  |  |
| 2                         | A | 3 | N                               |   |   |   | N                    | S                    |                      |                   |   |               | Cambio de alternador en stand-by y envío para su mantenimiento      |  |            | 500 H              |  |         | Electricista  |  |  |

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |                                                                |        |                     |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|----------------------------------------------------------------|--------|---------------------|
| 3 | A | 1 | S | N | N | N | S |   |   |  |  |  | Inspección del nivel de aceite                                 | Diario | Operador            |
| 3 | A | 2 | S | N | N | N | N | S |   |  |  |  | Cambio del filtro de aceite                                    | 125 H  | Mecánico            |
| 3 | A | 3 | S | N | N | N | N | S |   |  |  |  | Cambio de enfriador en stand-by y envío para su mantenimiento  | 500 H  | Mecánico            |
| 3 | A | 4 | S | N | N | S | N | N | S |  |  |  | Cambio de fajas de ventilador de motor                         | 1000 H | Mecánico            |
| 3 | A | 5 | S | N | N | N | S |   |   |  |  |  | Probar funcionamiento de indicador de temperatura              | 125 H  | Electricista        |
| 3 | A | 6 | S | N | N | N | S |   |   |  |  |  | Probar funcionamiento de switch de temperatura                 | 125 H  | Electricista        |
| 4 | A | 1 | S | N | S |   | N | N | S |  |  |  | Cambio del filtro de admisión recomendado por el fabricante    | 25 H   | Mecánico            |
| 4 | A | 2 | S | N | S |   | N | S |   |  |  |  | Desmontaje, lavado y montaje de PTX                            | 125 H  | Mecánico            |
| 4 | A | 3 | S | N | S |   | S |   |   |  |  |  | Inspección visual y pruebas manuales al eje del turbocompresor | 500 H  | Motorista           |
| 4 | A | 4 | S | N | S |   | S |   |   |  |  |  | Inspección visual a la salida del turbocompresor               | 125 H  | Mecánico            |
| 4 | A | 5 | S | N | S |   | N | N | S |  |  |  | Cambio de empaque de múltiple de admisión                      | 1000 H | Mecánico            |
| 4 | A | 6 | S | N | S |   | N | S |   |  |  |  | Calibración de válvulas                                        | 1000 H | Motorista           |
| 5 | A | 1 | N |   |   |   | N | N | S |  |  |  | Cambio de empaques de tapas de balancines                      | 500 H  | Mecánico            |
| 5 | A | 2 | N |   |   |   | N | S |   |  |  |  | Cambio de enfriador en stand-by y envío para su mantenimiento  | 500 H  | Mecánico / Soldador |

### 3.6. Incorporación y difusión de tareas proactivas obtenidas del RCM

Una vez obtenidas las tareas proactivas a implementar en el motor Diesel de los jumbos frontoneros, se ejecutaron los siguientes pasos a fin de incorporarlas en los procesos de mantenimiento de equipos trackless de la unidad minera:

- Se procedió con la capacitación y difusión al área de mantenimiento y operaciones sobre el proceso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, las tareas proactivas obtenidas y se dieron recomendaciones para su aplicación.
- Se coordinó con las jefaturas de operaciones a fin de hacer cumplir las tareas diarias a ejecutar por los operadores
- Se incorporaron las tareas obtenidas a las cartillas de mantenimiento del sistema Diesel, en intervalos de 125, 500 y 1000 horas. Estas cartillas están adjuntas al presente trabajo de investigación en la sección ANEXOS.

- Se designó como responsable de la programación de las tareas proactivas al área de planeamiento de mantenimiento.
- Se designó como responsable de la ejecución de las tareas proactivas a la supervisión de mantenimiento.

En virtud de extender el estudio a los demás equipos de la unidad minera se presentaron las siguientes sugerencias:

- Realizar un Análisis de Criticidad para definir el orden de prioridad de aplicación de RCM para cada equipo y otro para encontrar su sistema o componente más crítico, ya que al principio no se contará con los recursos para evaluar todos los equipos y sistemas a la vez. Para esto es necesario formar un comité multidisciplinario con las áreas de Operaciones, Seguridad y Mantenimiento a fin de asignar los puntajes o valores ponderados a considerar en el análisis.
- Con la reducción en el número de paradas y en el tiempo de reparación se podrá disponer, inicialmente, de un técnico de mantenimiento por cada guardia a quien se le asignará la tarea de inspector y cuya responsabilidad será identificar nuevas fallas funcionales y modos de falla a fin de ir incrementando las tareas proactivas a ejecutar, siguiendo el procedimiento aplicado al motor Diesel en los demás sistemas. Este personal será el encargado de inspeccionar que las tareas se hayan ejecutado, siendo un soporte para la supervisión.
- Por último, se deberá analizar si los ahorros en costos derivados de la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad permiten la creación de una nueva sub-área de Confiabilidad, que cuente con personal exclusivo para realizar la tarea cíclica de identificar nuevos modos de falla e instaurar nuevas tareas proactivas e incluso predictivas, que sean cada vez más eficientes, y ayuden a evitar la falla o en todo caso detectarlas a tiempo. Este personal debe ser capaz de cubrir todos los equipos y la mayoría de los sistemas.

## CAPITULO IV

### Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión de Resultados

#### 4.1. Disponibilidad antes y después de la implementación del RCM

Se realiza el cálculo de la disponibilidad promedio, para cada equipo, antes y después de la implementación del RCM al motor diesel. El periodo antes de la implementación del RCM comprende los meses de Abril a Septiembre del 2024, y se realizó el seguimiento de la disponibilidad después de la implementación por los meses de Octubre a Diciembre del 2024 y de Enero a Marzo del 2025. Los resultados para cada equipo se listan en las tablas 10 al 17:

**Tabla 10**

*Disponibilidad Antes de la aplicación del RCM - Jumbo JF116*

| Código de Equipo | Horas Programadas | N° De Fallas | Horas de Reparación | MTBF         | MTTR        | Disponibilidad | Mes       | Año  |
|------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|----------------|-----------|------|
| JF116            | 744               | 16           | 96.3                | 40.48        | 6.02        | 87.06%         | ABRIL     | 2024 |
| JF116            | 744               | 15           | 80.0                | 44.27        | 5.33        | 89.25%         | MAYO      | 2024 |
| JF116            | 720               | 12           | 97.5                | 51.88        | 8.13        | 86.46%         | JUNIO     | 2024 |
| JF116            | 744               | 11           | 83.7                | 60.03        | 7.61        | 88.75%         | JULIO     | 2024 |
| JF116            | 744               | 12           | 72.3                | 55.98        | 6.02        | 90.29%         | AGOSTO    | 2024 |
| JF116            | 720               | 13           | 77.6                | 49.42        | 5.97        | 89.22%         | SETIEMBRE | 2024 |
| <b>Promedio:</b> |                   | <b>13.17</b> |                     | <b>50.34</b> | <b>6.51</b> | <b>88.50%</b>  |           |      |

*Nota.* Valores extraídos de los reportes de KPI mensuales. Elaboración propia.

**Tabla 11**

*Disponibilidad Después de la aplicación del RCM - Jumbo JF116*

| Código de Equipo | Horas Programadas | N° De Fallas | Horas de Reparación | MTBF         | MTTR        | Disponibilidad | Mes       | Año  |
|------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|----------------|-----------|------|
| JF116            | 744               | 10           | 61.7                | 68.23        | 6.17        | 91.71%         | OCTUBRE   | 2024 |
| JF116            | 720               | 11           | 67.9                | 59.28        | 6.17        | 90.57%         | NOVIEMBRE | 2024 |
| JF116            | 744               | 9            | 53.6                | 76.71        | 5.96        | 92.80%         | DICIEMBRE | 2024 |
| JF116            | 744               | 9            | 46.9                | 77.46        | 5.21        | 93.70%         | ENERO     | 2025 |
| JF116            | 672               | 8            | 55.3                | 77.09        | 6.91        | 91.77%         | FEBRERO   | 2025 |
| JF116            | 744               | 7            | 37.4                | 100.94       | 5.34        | 94.97%         | MARZO     | 2025 |
| <b>Promedio:</b> |                   | <b>9.00</b>  |                     | <b>76.62</b> | <b>5.96</b> | <b>92.59%</b>  |           |      |

*Nota.* Valores extraídos de los reportes de KPI mensuales. Elaboración propia.

**Tabla 12***Disponibilidad Antes de la aplicación del RCM - Jumbo JF117*

| Código de Equipo | Horas Programadas | N° De Fallas | Horas de Reparación | MTBF         | MTTR        | Disponibilidad | Mes       | Año  |
|------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|----------------|-----------|------|
| JF117            | 744               | 12           | 109.7               | 52.86        | 9.14        | 85.26%         | ABRIL     | 2024 |
| JF117            | 744               | 16           | 95.3                | 40.54        | 5.96        | 87.19%         | MAYO      | 2024 |
| JF117            | 720               | 17           | 103.0               | 36.29        | 6.06        | 85.69%         | JUNIO     | 2024 |
| JF117            | 744               | 9            | 55.8                | 76.47        | 6.19        | 92.51%         | JULIO     | 2024 |
| JF117            | 744               | 13           | 72.9                | 51.62        | 5.61        | 90.20%         | AGOSTO    | 2024 |
| JF117            | 720               | 12           | 77.4                | 53.55        | 6.45        | 89.25%         | SETIEMBRE | 2024 |
| <b>Promedio:</b> |                   | <b>13.17</b> |                     | <b>51.89</b> | <b>6.57</b> | <b>88.35%</b>  |           |      |

*Nota.* Valores extraídos de los reportes de KPI mensuales. Elaboración propia.

**Tabla 13***Disponibilidad Después de la aplicación del RCM - Jumbo JF117*

| Código de Equipo | Horas Programadas | N° De Fallas | Horas de Reparación | MTBF         | MTTR        | Disponibilidad | Mes       | Año  |
|------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|----------------|-----------|------|
| JF117            | 744               | 11           | 81.1                | 60.26        | 7.37        | 89.10%         | OCTUBRE   | 2024 |
| JF117            | 720               | 10           | 66.9                | 65.31        | 6.69        | 90.71%         | NOVIEMBRE | 2024 |
| JF117            | 744               | 9            | 33.2                | 78.98        | 3.69        | 95.54%         | DICIEMBRE | 2024 |
| JF117            | 744               | 7            | 53.7                | 98.61        | 7.67        | 92.78%         | ENERO     | 2025 |
| JF117            | 672               | 9            | 52.1                | 68.88        | 5.79        | 92.25%         | FEBRERO   | 2025 |
| JF117            | 744               | 6            | 36.1                | 117.98       | 6.02        | 95.15%         | MARZO     | 2025 |
| <b>Promedio:</b> |                   | <b>8.67</b>  |                     | <b>81.67</b> | <b>6.20</b> | <b>92.59%</b>  |           |      |

*Nota.* Valores extraídos de los reportes de KPI mensuales. Elaboración propia.

**Tabla 14***Disponibilidad Antes de la aplicación del RCM - Jumbo JF118*

| Código de Equipo | Horas Programadas | N° De Fallas | Horas de Reparación | MTBF         | MTTR        | Disponibilidad | Mes       | Año  |
|------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|----------------|-----------|------|
| JF118            | 744               | 15           | 87.1                | 43.79        | 5.81        | 88.29%         | ABRIL     | 2024 |
| JF118            | 744               | 10           | 70.8                | 67.32        | 7.08        | 90.48%         | MAYO      | 2024 |
| JF118            | 720               | 12           | 79.4                | 53.38        | 6.62        | 88.97%         | JUNIO     | 2024 |
| JF118            | 744               | 10           | 70.9                | 67.31        | 7.09        | 90.47%         | JULIO     | 2024 |
| JF118            | 744               | 10           | 65.2                | 67.88        | 6.52        | 91.24%         | AGOSTO    | 2024 |
| JF118            | 720               | 11           | 77.7                | 58.39        | 7.06        | 89.21%         | SETIEMBRE | 2024 |
| <b>Promedio:</b> |                   | <b>11.33</b> |                     | <b>59.68</b> | <b>6.70</b> | <b>89.78%</b>  |           |      |

*Nota.* Valores extraídos de los reportes de KPI mensuales. Elaboración propia.

**Tabla 15***Disponibilidad Después de la aplicación del RCM - Jumbo JF118*

| Código de Equipo | Horas Programadas | N° De Fallas | Horas de Reparación | MTBF         | MTTR        | Disponibilidad | Mes       | Año  |
|------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|----------------|-----------|------|
| JF118            | 744               | 10           | 56.0                | 68.80        | 5.60        | 92.47%         | OCTUBRE   | 2024 |
| JF118            | 720               | 9            | 58.9                | 73.46        | 6.54        | 91.82%         | NOVIEMBRE | 2024 |
| JF118            | 744               | 8            | 46.4                | 87.20        | 5.80        | 93.76%         | DICIEMBRE | 2024 |
| JF118            | 744               | 9            | 40.5                | 78.17        | 4.50        | 94.56%         | ENERO     | 2025 |
| JF118            | 672               | 9            | 40.5                | 70.17        | 4.50        | 93.97%         | FEBRERO   | 2025 |
| JF118            | 744               | 6            | 47.2                | 116.13       | 7.87        | 93.66%         | MARZO     | 2025 |
| <b>Promedio:</b> |                   | <b>8.50</b>  |                     | <b>82.32</b> | <b>5.80</b> | <b>93.37%</b>  |           |      |

*Nota.* Valores extraídos de los reportes de KPI mensuales. Elaboración propia.

**Tabla 16***Disponibilidad Antes de la aplicación del RCM - Jumbo JF119*

| Código de Equipo | Horas Programadas | N° De Fallas | Horas de Reparación | MTBF         | MTTR         | Disponibilidad | Mes        | Año  |
|------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|----------------|------------|------|
| JF119            | 744               | 12           | 268.0               | 39.67        | 22.33        | 63.98%         | ABRIL      | 2024 |
| JF119            | 744               | 10           | 76.6                | 66.74        | 7.66         | 89.70%         | MAYO       | 2024 |
| JF119            | 720               | 6            | 55.4                | 110.77       | 9.23         | 92.31%         | JUNIO      | 2024 |
| JF119            | 744               | 9            | 86.9                | 73.01        | 9.66         | 88.32%         | JULIO      | 2024 |
| JF119            | 744               | 11           | 120.5               | 56.68        | 10.95        | 83.80%         | AGOSTO     | 2024 |
| JF119            | 720               | 8            | 68.9                | 81.39        | 8.61         | 90.43%         | SEPTIEMBRE | 2024 |
| <b>Promedio:</b> |                   | <b>9.33</b>  |                     | <b>71.38</b> | <b>11.41</b> | <b>84.76%</b>  |            |      |

*Nota.* Valores extraídos de los reportes de KPI mensuales. Elaboración propia.

**Tabla 17***Disponibilidad Después de la aplicación del RCM - Jumbo JF119*

| Código de Equipo | Horas Programadas | N° De Fallas | Horas de Reparación | MTBF         | MTTR        | Disponibilidad | Mes       | Año  |
|------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|----------------|-----------|------|
| JF119            | 744               | 9            | 53.7                | 76.70        | 5.97        | 92.78%         | OCTUBRE   | 2024 |
| JF119            | 720               | 9            | 65.2                | 72.76        | 7.24        | 90.94%         | NOVIEMBRE | 2024 |
| JF119            | 744               | 8            | 43.6                | 87.55        | 5.45        | 94.14%         | DICIEMBRE | 2024 |
| JF119            | 744               | 9            | 37.9                | 78.46        | 4.21        | 94.91%         | ENERO     | 2025 |
| JF119            | 672               | 7            | 44.0                | 89.71        | 6.29        | 93.45%         | FEBRERO   | 2025 |
| JF119            | 744               | 5            | 44.3                | 139.95       | 8.85        | 94.05%         | MARZO     | 2025 |
| <b>Promedio:</b> |                   | <b>7.83</b>  |                     | <b>90.85</b> | <b>6.33</b> | <b>93.38%</b>  |           |      |

*Nota.* Valores extraídos de los reportes de KPI mensuales. Elaboración propia.

Con estos datos se obtiene la Disponibilidad promedio mensual por equipo, así como la global antes y después de la implementación del RCM, lo cual se resume en la tabla 18:

**Tabla 18**

*Disponibilidad promedio mensual Antes y Después del RCM*

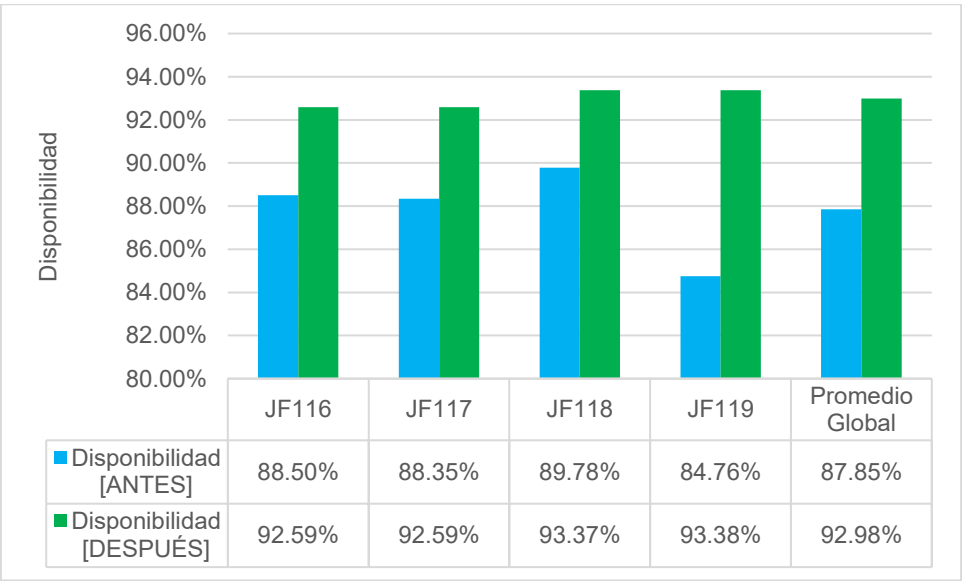
| Código de Equipo        | Promedio N° Paradas Mensual [ANTES] | Promedio N° Paradas Mensual [DESPUÉS] | MTBF [ANTES] | MTBF [DESPUÉS] | MTTR [ANTES] | MTTR [DESPUÉS] | Disponibilidad [ANTES] | Disponibilidad [DESPUÉS] |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|------------------------|--------------------------|
| JF116                   | 13.17                               | 9.00                                  | 50.34        | 76.62          | 6.51         | 5.96           | 88.50%                 | 92.59%                   |
| JF117                   | 13.17                               | 8.67                                  | 51.89        | 81.67          | 6.57         | 6.20           | 88.35%                 | 92.59%                   |
| JF118                   | 11.33                               | 8.50                                  | 59.68        | 82.32          | 6.70         | 5.80           | 89.78%                 | 93.37%                   |
| JF119                   | 9.33                                | 7.83                                  | 71.38        | 90.85          | 11.41        | 6.33           | 84.76%                 | 93.38%                   |
| <b>Promedio Global:</b> | <b>11.75</b>                        | <b>8.50</b>                           | <b>58.32</b> | <b>82.87</b>   | <b>7.80</b>  | <b>6.08</b>    | <b>87.85%</b>          | <b>92.98%</b>            |

*Nota.* Elaboración propia.

Para una mejor visualización del cambio en los valores promedio de disponibilidad, N° de paradas, MTBF y MTTR mensuales y globales se ha elaborado las figuras 34 al 37:

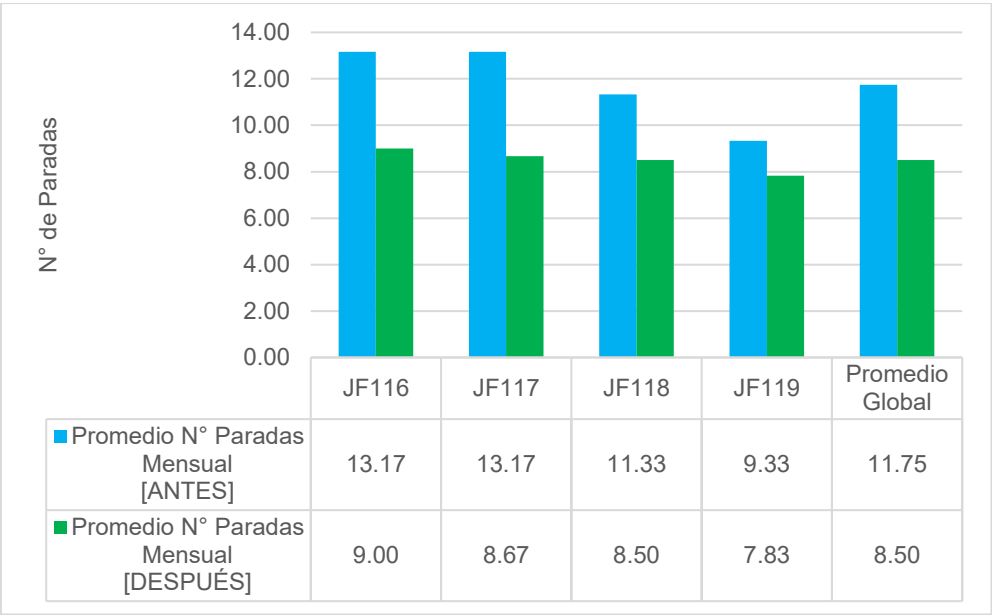
**Figura 34**

*Disponibilidad promedio mensual Antes y Después del RCM*



**Figura 35**

*N° De Paradas promedio mensual Antes y Después del RCM*



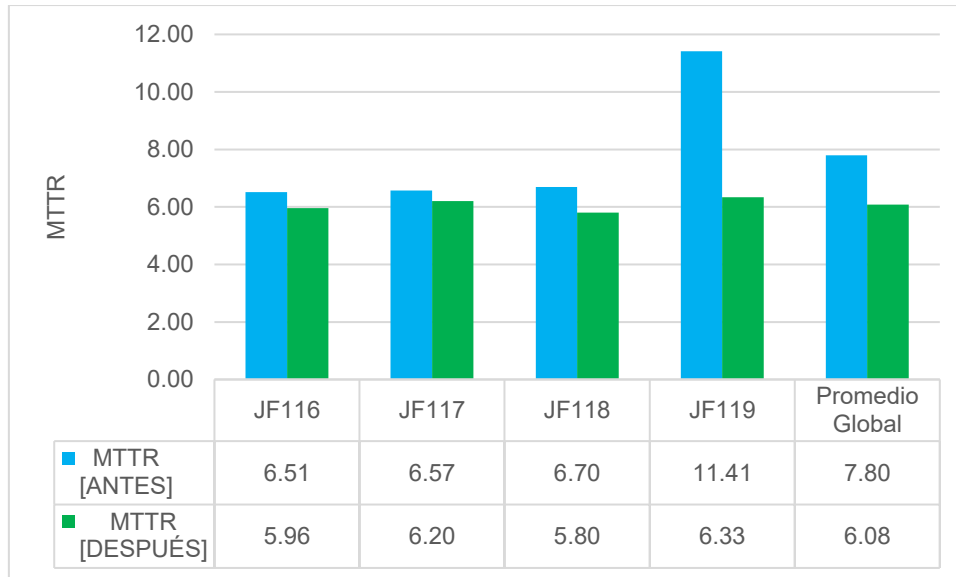
**Figura 36**

*MTBF promedio mensual Antes y Después del RCM*



**Figura 37**

*MTTR promedio mensual Antes y Después del RCM*



#### 4.2. Validación de resultados mediante Prueba T

Para validar los resultados obtenidos se aplicará la Prueba T para muestras relacionadas, comparando las medias de las diferencias entre los promedios de disponibilidad mensual obtenidos antes y después de la aplicación del RCM:

**Tabla 19**

*Diferencia de Disponibilidad, por equipo, Antes y Después del RCM*

| Código de Equipo       | Disponibilidad [ANTES] | Disponibilidad [DESPUÉS] | $\Delta$ Disponibilidad |
|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| JF116                  | 88.50%                 | 92.59%                   | 4.08%                   |
| JF117                  | 88.35%                 | 92.59%                   | 4.24%                   |
| JF118                  | 89.78%                 | 93.37%                   | 3.60%                   |
| JF119                  | 84.76%                 | 93.38%                   | 8.62%                   |
| <b>Promedio Global</b> | <b>87.85%</b>          | <b>92.98%</b>            | <b>5.13%</b>            |

Como lo que se quiere validar es si hubo un incremento de la disponibilidad, se realizará una prueba de hipótesis unilateral derecha. A continuación, se definen las dos hipótesis estadísticas, una nula ( $H_0$ ) y otra alternativa ( $H_1$ ):

$H_0$  = La media de las diferencias entre los promedios de disponibilidad mensual obtenidos antes y después de la aplicación del RCM es  $\leq 0$

$H_1$  = La media de las diferencias entre los promedios de disponibilidad mensual obtenidos antes y después de la aplicación del RCM es  $> 0$

Se rechazará  $H_0$ , y por lo tanto se aceptará  $H_1$ , si se cumplen las siguientes condiciones:

$$t_{\text{estadístico}} > t_{\text{crítico}}$$

$$\alpha > p$$

Donde:

t: Valor T

$\alpha$ : Nivel de significancia

p: Valor P

Para calcular el  $t_{\text{estadístico}}$  se usa la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}}$$

Donde:

t: Estadístico t calculado

$\bar{d}$ : Media de las diferencias de los valores comparados

$S_d$ : Desviación estándar de las diferencias

n: cantidad de elementos de estudio (número de observaciones)

Usando los datos de la tabla 19, obtenemos que  $\bar{d} = 5.13\%$ ,  $S_d = 0.0234$  y  $n=4$ , por lo tanto  $t_{\text{estadístico}} = 4.3869$ .

Para hallar los valores  $p$  y  $t_{\text{crítico}}$ , se asume un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  y se utiliza la función “Análisis de Datos/Prueba t para medias de dos muestras emparejadas” de la herramienta estadística Microsoft Excel aplicada a los datos de la tabla 19, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 20**

*Resultados de Prueba T en Microsoft Excel*

|                                       | <i>Disponibilidad<br/>[DESPUÉS]</i> | <i>Disponibilidad<br/>[ANTES]</i> |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Media                                 | 0.929813468                         | 0.878466404                       |
| Varianza                              | 2.08152E-05                         | 0.000465072                       |
| Observaciones                         | 4                                   | 4                                 |
| Coeficiente de correlación de Pearson | -0.315568084                        |                                   |
| Diferencia hipotética de las medias   | 0                                   |                                   |
| Grados de libertad                    | 3                                   |                                   |
| Estadístico t                         | 4.386937274                         |                                   |
| P(T<=t) una cola                      | 0.010968481                         |                                   |
| Valor crítico de t (una cola)         | 2.353363435                         |                                   |
| P(T<=t) dos colas                     | 0.021936961                         |                                   |
| Valor crítico de t (dos colas)        | 3.182446305                         |                                   |

Por tratarse de una prueba de hipótesis unilateral derecha, seleccionamos los valores de:

$$p = 0.0109$$

$$t_{\text{crítico}} = 2.3533$$

Con los valores obtenidos se verifica que se cumplen las condiciones preliminares:

$$(t_{\text{estadístico}} = 4.3869) > (t_{\text{crítico}} = 2.3533)$$

$$(\alpha = 0.05) > (p = 0.0109)$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis  $H_0$  y se acepta la hipótesis  $H_1$ ; es decir, al ser la media de las diferencias entre los promedios de disponibilidad mensual obtenidos antes y después de la aplicación del RCM es  $> 0$  se demuestra que hubo una mejora (incremento) en la disponibilidad después de la aplicación del RCM.

### 4.3. Contrastación de Hipótesis

#### 4.3.1. Contrastación de Hipótesis General

**Hi:** La propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad mejora la Disponibilidad de la flota de Jumbos Trackless de la Unidad Minera

**Ho:** La propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad no mejora la Disponibilidad de la flota de Jumbos Trackless de la Unidad Minera

**Decisión:** Puesto que aumenta el promedio de disponibilidad global en 5.13%, de 87.85% a 92.98%, luego de su implementación como se puede apreciar en la tabla 18 y figura 34; además, mediante una Prueba T se validaron dichos resultados obteniendo un  $t_{\text{estadístico}}$  de 4.3869 versus un  $t_{\text{crítico}}$  de 2.3533, y un valor p de 0.0109 versus un nivel de significancia  $\alpha$  de 0.05, se descarta la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis de Investigación.

#### 4.3.2. Contrastación de Hipótesis Específicas

- 1) **Hi:** La aplicación del análisis de criticidad permite establecer el subsistema o componente crítico en el cual comenzar a aplicar la metodología RCM en la flota de Jumbos de la Unidad Minera

**Ho:** La aplicación del análisis de criticidad no permite establecer el subsistema o componente crítico en el cual comenzar a aplicar la metodología RCM en la flota de Jumbos de la Unidad Minera

**Decisión:** Puesto que se identificó el motor Diesel como el componente crítico utilizando el Análisis de Criticidad, se descarta la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis de Investigación.

- 2) **Hi:** La realización del AMFE permite identificar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera, en base a su componente crítico.

**Ho:** La realización del AMFE no permite identificar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera, en base a su componente crítico.

**Decisión:** Puesto que se identificaron 30 modos y efectos de falla realizando el AMFE, se descarta la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis de Investigación.

- 3) **Hi:** La utilización del Diagrama de Decisión permite establecer las Tareas Proactivas a implementar para evitar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera.

**Ho:** La utilización del Diagrama de Decisión No permite establecer las Tareas Proactivas a implementar para evitar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera.

**Decisión:** Puesto que se obtuvieron 24 tareas a incorporar al proceso de mantenimiento utilizando el Diagrama de Decisión, se descarta la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis de Investigación.

- 4) **Hi:** La realización de una Prueba T validará que los datos de disponibilidad obtenidos luego de la implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reflejan una mejora.

**Ho:** La realización de una Prueba T no validará que los datos de disponibilidad obtenidos luego de la implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reflejan una mejora.

**Decisión:** Puesto que se validaron los resultados obteniendo un  $t_{\text{estadístico}}$  de 4.3869 versus un  $t_{\text{crítico}}$  de 2.3533, y un valor p de 0.0109 versus un nivel de significancia  $\alpha$  de 0.05, se descarta la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis de Investigación.

## **4.4. Discusión de Resultados**

### **4.4.1. Resultados del Objetivo General**

Visualizando la figura 34 es evidente el incremento de la disponibilidad de cada jumbo luego de la aplicación del RCM, lo que se refleja en un aumento de la disponibilidad promedio global en 5.13%, de 87.85% a 92.98%, en la flota de jumbos. En particular se puede observar que incluso siendo el Jumbo JF119 el que contaba con la menor disponibilidad inicial (84.76%) logró la mayor mejora evidenciando la efectividad del RCM en equipos con problemas recurrentes.

De la figura 35 se observa que el número promedio de paradas disminuyó en un 28% (de 11.75 a 8.50 paradas mensuales), lo que significa que gracias a la aplicación del RCM los equipos jumbo tendrán menos número de fallos, por lo tanto, menos tareas a ser atendidas en un intervalo de tiempo determinado. El equipo que se vio más beneficiado en esta disminución fue el JF117 con una reducción de 34.18% en su promedio de paradas (de 13.17 a 8.67 paradas mensuales).

Así también, en la figura 36 se evidencia que, posterior al estudio, hay un aumento del MTBF promedio en 42% (de 58.32 a 82.87 horas mensuales), lo que significa que los equipos duran más tiempo estando operativos de forma continua. El equipo con mayor logro de incremento de MTBF promedio fue el JF117 con un incremento del 57.39% (de 51.89 a 81.67 horas mensuales).

Por último, mediante la figura 37 también se observa que el MTTR promedio ha disminuido en un 22% (de 7.80 a 6.80 horas mensuales), lo que significa que los equipos necesitan estar menos tiempo en reparación. El equipo con mayor logro de disminución de MTTR promedio fue el JF119 con una reducción del 44.47% (de 11.41 a 6.33 horas mensuales)

Más allá de datos numéricos, estos resultados reflejan que la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en un sistema crítico como el motor diésel de un jumbo frontonero ha demostrado ser una herramienta efectiva para mejorar la disponibilidad operativa del equipo en general. Este impacto positivo se da gracias a su

enfoque sistemático en las funciones, modos de falla y consecuencias reales, optimizando las tareas de mantenimiento en función de la confiabilidad, de la siguiente manera:

- El RCM inicia definiendo claramente las funciones principales del motor como por ejemplo entregar potencia suficiente para accionamiento de otros sistemas, mantener una temperatura correcta de aceite, trabajar con baja emisión de gases y sin fugas de aceite; esto permite entender qué es crítico para la operación del jumbo en cuanto a motor Diesel corresponde; además, detectar modos de falla que realmente comprometen esas funciones.
- Se analizan los modos de falla más relevantes para cada función del motor. Por ejemplo, se identifica el modo de falla de filtro de admisión obstruido el cual es recurrente debido a las condiciones mineras reales donde hay alta presencia de polvo y humedad y de no ser atendido a tiempo mediante una tarea proactiva adecuada no solo puede causar la pérdida de potencia del motor o la emisión excesiva de CO sino convertirse en un problema mayor como la falla del turbocompresor por ingreso de partículas producto de un filtro de admisión dañado por exceso de contaminación, seguido por el desgaste prematuro de cilindros y válvulas ocasionado por estas mismas partículas y también por el carbón acumulado internamente por quemar el aceite de lubricación que el turbocompresor con falla dejaría pasar a la cámara de combustión.
- A partir del análisis de modos y efectos de falla se establecen tareas con propósito técnico claro como, por ejemplo: el cambio de filtros de admisión en una menor periodicidad incluso que la recomendada por el fabricante puesto que es más rápido y menos costoso cambiar un filtro de admisión que cambiar un turbocompresor o hacer una reparación mayor al motor producto del desgaste prematuro ocasionado por el ingreso de partículas por falla del filtro de admisión. Otro ejemplo sería el cambio programado del enfriador de aceite de motor por uno en stand-by ya que se ha identificado que la falla funcional de

fuga de aceite por fisuramiento del mismo es recurrente en el equipo y cambiarlo periódicamente así no tenga daño aun ayuda a disminuir el riesgo que la falla ocurra en campo.

- De los resultados se puede interpretar que el enfoque RCM aumenta el tiempo medio entre fallas (MTBF) y disminuye el tiempo medio de reparación (MTTR). Menos fallas y reparaciones más rápidas se traducen en una mayor disponibilidad operativa del equipo.

Como se puede observar, la implementación del RCM en los motores diésel de jumbos permitió: atacar fallas recurrentes antes no resueltas y priorizar acciones que realmente protegen la operación (funciones) del motor. Estos fueron los factores determinantes para Aumentar la disponibilidad promedio de la flota en 5.13%, incluso en equipos con baja disponibilidad inicial.

En resumen, El RCM mejora la disponibilidad de los motores diésel al transformar el mantenimiento desde un enfoque genérico y reactivo hacia uno técnico, enfocado en funciones críticas y consecuencias reales. Esto permite prevenir fallas antes de que ocurran, reducir tiempos muertos y extender la vida útil de los motores en entornos exigentes como la minería subterránea.

Cabe mencionar que así como el RCM existen otros enfoques de mantenimiento como el TPM (Mantenimiento Productivo Total) y el CBM (Mantenimiento Basado en Condición); sin embargo, estos no fueron abordados para la mejora de la disponibilidad de los Jumbos objeto de estudio puesto que, a diferencia del enfoque RCM, que prioriza el cumplimiento funcional de los equipos mediante un análisis estructurado de fallas potenciales y sus efectos, el TPM se basa en la participación activa de todo el personal y en procesos de mejora continua, siendo más aplicable en contextos productivos con operaciones estables y repetitivas. Sin embargo, su capacidad para abordar problemas técnicos específicos en maquinaria de alta exigencia, como los motores diésel en minería subterránea, es más limitada. Por su parte, el CBM se basa en el monitoreo en tiempo real del estado de los equipos, lo cual es útil para detectar degradación progresiva, pero puede

ser costoso y limitado si no se identifica previamente qué fallas monitorear ni se conocen sus consecuencias. En contraste, el RCM integra ambos enfoques al definir qué se debe mantener, cómo y por qué, lo que lo convierte en una herramienta más robusta y específica para mejorar la disponibilidad de componentes críticos como el motor diésel bajo condiciones operativas adversas.

#### **4.4.2. Resultados de los objetivos específicos**

Del Análisis de Criticidad se determina que el componente más crítico de los jumbos es el motor diesel, lo que permitió centrarse en este componente para identificar las fallas funcionales, modos de falla y tareas proactivas a aplicar que conllevarían a mejorar la disponibilidad del equipo, lo que evidencia que la aplicación del RCM optimiza recursos al enfocarse en componentes críticos sin desviar la atención en tratar de controlar las fallas de todos los componentes a la vez.

Del Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE) al Motor Diesel de los Equipos Jumbo se determinaron 6 fallas funcionales y 30 modos y efectos de falla de este componente y con esta información definir después las tareas proactivas enfocadas a evitar estas fallas.

De utilizar el Diagrama de Decisión RCM y la información recolectada por el AMFE, se establecieron 24 tareas proactivas las que fueron incorporadas al proceso de mantenimiento a fin de prevenir que los modos de falla identificados ocurran y con esto disminuir el riesgo de paradas no deseadas de equipos en campo, reparaciones mayores (como por ejemplo el reemplazo el motor completo), daños a otros sistemas que pudieran estar relacionados (como el sistema hidráulico de posicionamiento accionado por el motor Diesel); así como riegos a la seguridad y medio ambiente (emisiones nocivas de CO)

Por último, se pudo validar que los resultados de la disponibilidad posteriores a la implementación de RCM refleja una mejora de la disponibilidad mediante una Prueba T para muestras pareadas con una prueba de hipótesis

unilateral derecha ya que se cumplieron las condiciones de " $t_{\text{estadístico}} > t_{\text{crítico}}$ " y " $\alpha > p$ ".

#### **4.4.3. Beneficios en la Operación minera**

De la mejora de la disponibilidad producto de la implementación de la Metodología RCM en los equipos jumbos, que trajo consigo una disminución en el número de paradas, una disminución del MTBF y una reducción del MTTR, se pueden deducir algunos beneficios para la operación minera, los cuales se describen a continuación:

**4.3.3.1. Mayor avance de frentes por turno.** Al contar con más operativas de forma continua de los jumbos se puede tener un mayor avance

**4.3.3.2. Cumplimiento del programa de avance de forma sostenible.** Al tener el equipo disponible más tiempo se pueden habilitar frentes para la siguiente guardia. Con esto se evitan cuellos de botella al dejar un avance previo.

**4.3.3.3. Menores costos operativos.** Muchas veces una falla genera que el equipo tenga que ser trasladado al taller para su reparación. Al disminuir el número de paradas se ahorra el costo de traslado del equipo desde el frente hasta el taller.

**4.3.3.4. Uso más eficiente de los demás equipos.** Los equipos de carga y acarreo (scooptrams y volquetes) pueden ser usados de manera más eficiente al no estar detenidos por la espera de extracción de mineral o desmonte de frentes aún pendientes.

**4.3.3.5. Efectividad en el cumplimiento de protocolo de voladura.** Al culminar a tiempo con las perforaciones no se tienen que pedir horas extras para el carguío de frentes de voladura y por ende no se retrasa el inicio del turno siguiente.

**4.3.3.6. Perforaciones eficientes y de calidad.** El incremento de horas operativas continuas de los jumbos permite que cada labor sea completada por el mismo equipo, reduciendo imperfecciones en la perforación al tener que recuperar el posicionamiento de los taladros con un equipo distinto.

**4.3.3.7. Mejora de la seguridad y menor impacto en el medio ambiente.** Al contar con tareas proactivas que buscan la disminución del riesgo de altas emisiones de

CO y derrame de aceites se reduce el riesgo de exposición a gases nocivos para los trabajadores, así como de contaminación del ambiente.

**4.3.3.8. Menor exposición del personal de mantenimiento.** Al disminuir el número de paradas en campo se disminuye la exposición del personal de mantenimiento a los riesgos asociados a los frentes de trabajo operativos.

#### **4.4.4. Contrastación de resultados con estudios similares**

Se puede contrastar los resultados del presente trabajo de investigación con los obtenidos en los casos revisados en los antecedentes, específicamente de los que han sido aplicados en maquinaria pesada para conservar la esencia de la investigación:

**Tabla 21**

*Contrastación de Resultados con otros estudios*

| Referencia                  | Equipos                             | Disponibilidad Antes del RCM | Disponibilidad Después del RCM | Resultado ( $\Delta$ Disponibilidad) |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Lara (2023)                 | Jumbos Frontonero Epiroc S1D        | 73.00%                       | 87.00%                         | 14.00%                               |
| Huamán (20218)              | Tractor Oruga Cat. D8T              | 85.85%                       | 93.04%                         | 7.19%                                |
|                             | Cargador Frontal SEM 659C           | 86.80%                       | 94.86%                         | 8.06%                                |
|                             | Cargador Frontal CAT 966H           | 86.59%                       | 93.71%                         | 7.12%                                |
| Escarcena & Carrillo (2019) | Jumbo Empernador Bolter 88          | 76.00%                       | 82.68%                         | 6.68%                                |
| Presente Trabajo            | Jumbos Frontonero Epiroc Boomer S1D | 87.85%                       | 92.98%                         | 5.13%                                |

*Nota.* Se consideraron solo los estudios referidos a maquinaria pesada.

De la tabla 21 se puede deducir que la aplicación del RCM para algún tipo de maquinaria pesada mejora su disponibilidad por lo que el presente estudio se puede replicar en operaciones que cuenten con dichos equipos.

Se observa también que el presente trabajo tiene el menor incremento en disponibilidad en base a los resultados de los otros casos de estudio similares. Esto sucede por haber escogido solamente un sistema, el más crítico, en donde aplicar la metodología

RCM esperando tener una mejora de disponibilidad de los equipos completos. Esto refleja una de las limitaciones del método de RCM, la cual refiere que su aplicación está orientada a equipos o sistemas críticos. Esto puede dejar sin analizar muchos equipos o sistemas que también impactan en la operación, por lo que se recomienda que luego de su implementación se debe contrastar si el incremento de disponibilidad obtenidos compensa el tiempo y los recursos invertidos para su implementación.

## CONCLUSIONES

1. La implementación de la Metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en la gestión del mantenimiento de la flota de Jumbos de equipos Trackless en la unidad minera generó un impacto positivo tangible en el indicador de disponibilidad promedio global de la flota, al aumentar en 5.13 puntos porcentuales, pasando de 87.85% a 92.98%, lo cual representa una mejora sustancial en la eficiencia operativa de los equipos jumbos en un entorno productivo altamente demandante.
2. Paralelamente, como resultado del RCM, se logró reducir en un 28% el promedio de paradas mensuales por falla, pasando de 11.75 a 8.50 eventos, evidenciando una disminución directa en la frecuencia de interrupciones operativas. Asimismo, el tiempo medio entre fallas (MTBF) se incrementó en 42%, al pasar de 58.32 horas a 82.87 horas mensuales, lo cual refuerza la confiabilidad de los jumbos y permite extender los ciclos operativos de estos equipos sin incidencias.
3. Adicionalmente se observó una mejora en la mantenibilidad de la flota de jumbos, expresada mediante una reducción del Tiempo Medio de Reparación (MTTR) en un 22%, disminuyendo de 7.80 a 6.80 horas mensuales, lo que acorta los períodos de inoperatividad y permite reincorporar los equipos a la operación de manera más ágil.
4. A través de la aplicación del Análisis de Criticidad, se identificó al Motor Diésel como el componente más crítico de los Jumbos, permitiendo aplicar la metodología RCM de manera focalizada. Esta selección estratégica optimizó el uso de recursos, orientando los esfuerzos de mejora hacia dicho componente.
5. El Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE) aplicado al Motor Diésel permitió identificar 6 fallas funcionales y 30 modos y efectos de falla, proporcionando una base robusta para el diseño de estrategias de mitigación.

6. Posteriormente, el uso del Diagrama de Decisión RCM permitió definir 24 tareas proactivas específicas, que fueron incorporadas al proceso de mantenimiento, contribuyendo directamente a la prevención de los modos de falla identificados.
7. Para verificar la eficacia de la metodología implementada, se aplicó una Prueba T para muestras relacionadas, comparando los niveles de disponibilidad antes y después de la intervención. Los resultados obtenidos confirmaron con significancia estadística que las mejoras observadas no se deben al azar, validando cuantitativamente el efecto positivo de la metodología RCM en el desempeño de la flota.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda extender progresivamente la implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) a otros sistemas o subsistemas de los Jumbos de la Flota de Equipos Pesados Trackless, en base al nivel de criticidad identificado mediante el análisis de criticidad ya realizado, tales como las mangueras hidráulicas del sistema hidráulico, la perforadora del sistema de perforación y el boom sistema de posicionamiento que son los componentes más críticos después del motor diesel, en ese orden.
2. Se sugiere llevar a cabo un estudio detallado del impacto económico derivado de la aplicación del RCM, incluyendo costos de implementación, formación, recursos técnicos y reducción de pérdidas por paradas. Esto permitirá sustentar la inversión de recursos y facilitar la toma de decisiones sobre futuras ampliaciones del programa.
3. Se recomienda estandarizar la ejecución periódica del Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE), utilizando como referencia el análisis actual. Esto permitirá detectar nuevos modos de falla emergentes debidos a variaciones en condiciones de operación, desgaste acelerado o cambios en la configuración del equipo. Se sugiere realizar este análisis con una frecuencia mínima anual o ante cualquier modificación significativa del entorno operativo.
4. Se sugiere diseñar e implementar un programa de capacitación técnica continua para el personal de mantenimiento y supervisión, enfocado en herramientas las herramientas RCM. Esto garantizará que los equipos humanos tengan las competencias necesarias para ejecutar y sostener esta metodología de manera autónoma.
5. Una de las limitaciones del presente estudio fue que evaluación de resultados se basó en un periodo temporal acotado, por lo que se sugiere evaluar la sostenibilidad de los resultados a mediano y largo plazo.

6. Como futura línea de investigación se recomienda realizar Estudios comparativos entre RCM y otras estrategias de mantenimiento, como TPM (Mantenimiento Productivo Total) o CBM (Mantenimiento Basado en Condición).

## Referencias

- Deutz AG. (2015). BFL 914 para máquinas y trabajos móviles. Koln. Obtenido de [https://www.deutzusa.com/fileadmin/contents/usa/Spanish\\_Brochures/Tier\\_2/F3L914-F6L914\\_es.pdf](https://www.deutzusa.com/fileadmin/contents/usa/Spanish_Brochures/Tier_2/F3L914-F6L914_es.pdf)
- Epiroc. (2024). *Spare parts catalog 8999731200-001 Boomer S1 D*. Epiroc DocMine.
- Epiroc Rock Drills AB. (2022). Boomer S1. Obtenido de [https://www.epiroc.com/content/dam/epiroc/underground-mining-and-tunneling/tme/drilling-technical-specifications/boomer/9869\\_0094\\_01c\\_Boomer\\_S1\\_technical\\_specification\\_english.pdf](https://www.epiroc.com/content/dam/epiroc/underground-mining-and-tunneling/tme/drilling-technical-specifications/boomer/9869_0094_01c_Boomer_S1_technical_specification_english.pdf)
- Epiroc Rock Drills AB. (2024). *Manual de Mantenimiento Boomer S1D TIS0003415.007 es-MX*. Epiroc Rock Drills AB.
- Epiroc Rock Drills AB. (2024). *Manual de Operación Boomer S1D No: TIS0003416.005 es-MX*. Epiroc Rock Drills AB.
- Fractal Tech S.L. (2024). Dominando los indicadores de mantenimiento. Fractal Tech S.L. . Obtenido de <https://www.fractal.com/hubfs/Fractal%20Website%202021/webinar/congreso-heroes-del-mantenimiento-octubre-2023/ebooks/dominando-los-indicadores-de-mantenimiento.pdf>
- García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Hartman, H., & Mutmanský, J. (2002). *Introductory mining engineering* (2 ed.). Wiley.
- Herrera Herbert, J. (2014). *Introducción a la Minería Subterránea. Vol. III: Construcción de infraestructura de mina en interior* (2 ed.). Universidad Politécnica de Madrid. doi:10.20868/UPM.book.62725

- Herrera Herbert, J. (2017). *Introducción a la Minería. Vol. I: Conceptos, tecnologías y procesos* (2 ed.). Universidad Politécnica de Madrid.  
doi:10.20868/UPM.book.63396
- Herrera Herbert, J. (2019). *Introducción a la Minería Subterránea. Vol. I: Características generales*. Universidad Politécnica de Madrid. doi:10.20868/UPM.book.62723
- Mobley, R., Higgins, L., & J. Wikoff, D. (2008). *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw Hill. doi:10.1036/0071546464
- Mora Gutiérrez, A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control* (1 ed.). Alfaomega.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Aladon LLC.
- Pérez Rondón, F. A. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. Universidad Santo Tomás.
- Revista Rumbo Minero. (2019). Maquinarias para Minería Subterránea: Compactos y potentes. *Rumbo Minero*. Obtenido de  
[https://www.rumbominero.com/ED120/RumboMinero\\_ED120.pdf](https://www.rumbominero.com/ED120/RumboMinero_ED120.pdf)
- Santos H., J., Gutiérrez, E., Strefezza, M., & Agüero, M. (2013). Análisis de criticidad integral de activos físicos. *Revista Investigaciones Científicas UNERMB (NE)*, 4.
- Sierra Fernández, C., & Andrea Calvo, E. (2017). Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras. Capítulo 2: Introducción a la ingeniería de la fiabilidad. Universidad de Cantabria. Obtenido de  
[https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2522/course/section/2616/Mantenimiento\\_2%20.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2522/course/section/2616/Mantenimiento_2%20.pdf)

## **Anexos**

|                                                                                                                                     |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Anexo A: Matriz de Consistencia .....                                                                                               | 1 |
| Anexo B: Cartillas de mantenimiento de Jumbos Frontoneros de 125, 500 y 1000 horas...                                               | 2 |
| Anexo C: Reporte de KPI's mensuales del área de planeamiento de mantenimiento,<br>por los periodos de Abril 2024 a Marzo 2025 ..... | 6 |

## ANEXO A: Matriz de consistencia

Mantenimiento Preventivo Centrado en la Confiabilidad para mejorar la Disponibilidad de la flota Jumbos de los Equipos Trackless en una Unidad Mine

| Problema General                                                                                                                                                                                                                    | Objetivo General                                                                                                                                                                                                              | Hipótesis General                                                                                                                                                                                                                       | Variables                                                                                       | Metodología                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿De qué manera se mejora la disponibilidad de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de la Unidad Minera?                                                                                                                      | Proponer Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera.                                                                       | La propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad mejora la Disponibilidad de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera.                                                                                | VI: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)<br><br>VD: Disponibilidad de equipos Jumbo | <div>-Tipo de Investigación:<br/>Aplicada</div> <div>-Nivel de Investigación:<br/>Descriptivo y Correlacional</div> <div>-Enfoque:<br/>Cuantitativo</div> <div>-Diseño:<br/>No experimental</div> |
| Problemas Específicos                                                                                                                                                                                                               | Objetivos Específicos                                                                                                                                                                                                         | Hipotesis Específicas                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                   |
| 1) ¿De qué manera se establece el subsistema o componente crítico en el cual comenzar a aplicar la metodología RCM en la flota de Jumbos de la Unidad Minera?                                                                       | 1) Aplicar el análisis de criticidad para establecer el subsistema o componente crítico en el cual comenzar a aplicar la metodología RCM en la flota de Jumbos de la Unidad Minera                                            | 1) La aplicación del análisis de criticidad permite establecer el subsistema o componente crítico en el cual comenzar a aplicar la metodología RCM en la flota de Jumbos de la Unidad Minera.                                           |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                   |
| 2) ¿De qué manera podemos identificar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de la Unidad Minera, en base al componente crítico establecido?                           | 2) Realizar el AMFE para identificar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera, en base al componente crítico establecido.                     | 2) La realización del AMFE permite identificar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera, en base a su componente crítico.                               |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                   |
| 3) ¿De qué manera podemos evitar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de la Unidad Minera, en base al componente crítico establecido?                                | 3) Utilizar el Diagrama de Decisión para establecer las Tareas Proactivas a implementar para evitar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera. | 3) La utilización del Diagrama de Decisión permite establecer las Tareas Proactivas a implementar para evitar los problemas que generan las paradas no programadas de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de una Unidad Minera. |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                   |
| 4) ¿De qué manera se puede validar una mejora en la disponibilidad de la flota de Jumbos de los Equipos Trackless de la Unidad Minera después de la implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad? | 4) Realizar una Prueba T para validar que los datos de disponibilidad obtenidos luego de la implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reflejan una mejora.                              | 4) La realización de una Prueba T validará que los datos de disponibilidad obtenidos luego de la implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad reflejan una mejora.                                   |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                   |

## ANEXO B: Cartillas de mantenimiento de Jumbos Frontoneros de 125, 500 y 1000 horas

| Cartilla de Mantenimiento - Jumbo Frontonero - TIPO 125 horas Diesel |  |               |  |                  |  |
|----------------------------------------------------------------------|--|---------------|--|------------------|--|
| COD. INTERNO                                                         |  | HOR_PERCUSION |  | H. Inicio Mantto |  |
| MODELO                                                               |  | HOR_COMPRESOR |  | H. Final Mantto  |  |
| FECHA                                                                |  | HOR_DIESEL    |  | Turno            |  |
|                                                                      |  |               |  | Ubicación        |  |

### Realizar el servicio diario y antes de realizar su mantenimiento

Antes de realizar trabajos de mantenimiento el equipo deberá ser lavado, teniendo en cuenta la protección de los componentes eléctricos, evitando el contacto directo con chorros de agua.

| MOTOR DIESEL: |                                                                                    | REALIZADO |    | OBSERVACIONES |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----|---------------|
| ÍTEM          | PROCEDIMIENTO                                                                      | SI        | NO |               |
| 1             | Cambiar filtro de admisión primario                                                |           |    |               |
| 2             | Cambiar filtro de admisión secundario                                              |           |    |               |
| 3             | Limpieza del portafiltro                                                           |           |    |               |
| 4             | Chequear hermetismo de refrigeración aire de motor                                 |           |    |               |
| 5             | Limpieza del ventilador                                                            |           |    |               |
| 6             | Cambio fajas y revisión de polea del alternador                                    |           |    |               |
| 7             | Limpieza del enfriador de aceite de motor                                          |           |    |               |
| 8             | Sacar muestra de aceite de motor.                                                  |           |    |               |
| 9             | Cambio de aceite de motor                                                          |           |    |               |
| 10            | Cambio de filtros de aceite de motor                                               |           |    |               |
| 11            | Cambio de filtro de petróleo                                                       |           |    |               |
| 12            | Revisar el filtro separador de agua                                                |           |    |               |
| 13            | Inspección de la tensión de la faja y el alineamiento de las poleas del alternador |           |    |               |
| 14            | Desmontaje, lavado y montaje de PTX                                                |           |    |               |
| 15            | Inspección visual a la salida del turbocompresor en busca de fuga de aceite        |           |    |               |

| TRANSMISIÓN |                                                                              | SI | NO | OBSERVACIONES |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| ÍTEM        | PROCEDIMIENTO                                                                |    |    |               |
| 1           | Revisar nivel de aceite de la caja de transmisión (añadir si es necesario)   |    |    |               |
| 2           | Revisar nivel de aceite de la caja de transferencia (añadir si es necesario) |    |    |               |
| 3           | Revisar nivel aceite mando finales y diferenciales                           |    |    |               |
| 4           | Lubricar toda la línea cardánica                                             |    |    |               |
| 5           | Ajustar pernos soporte de bomba y motores hidrostáticos                      |    |    |               |

| SISTEMA HIDRÁULICO |                                                        | SI | NO | OBSERVACIONES |
|--------------------|--------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| ÍTEM               | PROCEDIMIENTO                                          |    |    |               |
| 1                  | Revisar nivel de aceite hidráulico                     |    |    |               |
| 2                  | Chequeo del accionamiento de frenos de servicio        |    |    |               |
| 3                  | Limpieza del pedal de freno.                           |    |    |               |
| 4                  | Chequeo del accionamiento de freno de parqueo          |    |    |               |
| 5                  | Verificar fugas de aceite por componentes hidráulicos: |    |    |               |
| 6                  | Bombas Hidráulicas.                                    |    |    |               |
| 7                  | Cilindros Hidráulicos.                                 |    |    |               |
| 8                  | Limpieza del enfriador de aceite hidráulico.           |    |    |               |

| ESTRUCTURA |                                                                  | SI | NO | OBSERVACIONES |
|------------|------------------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| ÍTEM       | PROCEDIMIENTO                                                    |    |    |               |
| 1          | Limpieza de la grasa sobresaliente en los puntos de engrase.     |    |    |               |
| 2          | Limpieza General del Equipo                                      |    |    |               |
| 3          | Engrase general (Art.central, crucetas, cardan, boom, perf, etc) |    |    |               |
| 4          | Revisar gatas y sus válvulas                                     |    |    |               |

| SISTEMA ELÉCTRICO |                                                                             | SI | NO | OBSERVACIONES |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| ÍTEM              | PROCEDIMIENTO                                                               |    |    |               |
| 1                 | Limpieza general de la cabina del operador.                                 |    |    |               |
| 2                 | Limpieza de interna de panel de instrumentos.                               |    |    |               |
| 3                 | Revisar componentes eléctricos de tablero de control por partes sueltas.    |    |    |               |
| 4                 | Limpieza y secado de conectores eléctricos en la parte posterior de cabina. |    |    |               |
| 5                 | Revisar buen acoplamiento de conectores del equipo.                         |    |    |               |
| 6                 | Comprobar que los switch de presión este libres de suciedad y humedad.      |    |    |               |
| 7                 | Revisar la luces de tránsito, perforación y emergencia                      |    |    |               |
| 8                 | Revisar panel, luces precaucion y switches de seguridad                     |    |    |               |
| 9                 | Ajustar bornes de la batería                                                |    |    |               |
| 10                | Revisar carga de Baterías                                                   |    |    |               |
| 11                | Revisar alternador y arrancador.                                            |    |    |               |
| 12                | Inspección de conexiones eléctricas de arrancador                           |    |    |               |
| 13                | Revisar condición de baterías.Bornes                                        |    |    |               |
| 14                | Probar funcionamiento de indicador de temperatura                           |    |    |               |
| 15                | Probar funcionamiento de switch de temperatura                              |    |    |               |

### CONSUMO DE LUBRICANTE

ACEITE 15W40  
ACEITE DTE-26  
ACEITE SAE - 30  
ACEITE ALMO

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |

ACEITE CORENA  
ACEITE ROTO INJECT FLUID  
GRASA MOBILGREASE CM-P  
GRASA ROJA SINTETICA

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES: En caso quede pendiente algún punto de la cartilla, haya observado algún daño en el equipo póngalo como observación.

Firma \_\_\_\_\_  
Nombre \_\_\_\_\_  
Tec. Mecanico Responsable

Firma \_\_\_\_\_  
Nombre \_\_\_\_\_  
Supervisor Trackless

Firma \_\_\_\_\_  
Nombre \_\_\_\_\_  
Responsable de Mantenimiento

## Cartilla de Mantenimiento - Jumbo Frontonero - TIPO 500 horas Diesel

|              |  |               |  |                  |  |
|--------------|--|---------------|--|------------------|--|
| COD. INTERNO |  | HOR_PERCUSION |  | H. Inicio Mantto |  |
| MODELO       |  | HOR_COMPRESOR |  | H. Final Mantto  |  |
| FECHA        |  | HOR_DIESEL    |  | Turno            |  |
|              |  |               |  | Ubicación        |  |

### Realizar el servicio diario y antes de realizar su mantenimiento

Antes de realizar trabajos de mantenimiento el equipo deberá ser lavado, teniendo en cuenta la protección de los componentes eléctricos, evitando el contacto directo con chorros de agua.

| MOTOR DIESEL: |                                                                                    | REALIZADO |    | OBSERVACIONES |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----|---------------|
| ÍTEM          | PROCEDIMIENTO                                                                      | SI        | NO |               |
| 1             | Cambiar filtro de admisión primario                                                |           |    |               |
| 2             | Cambiar filtro de admisión secundario                                              |           |    |               |
| 3             | Limpieza del portafiltro                                                           |           |    |               |
| 4             | Chequear hermetismo de refrigeración aire de motor                                 |           |    |               |
| 5             | Limpieza del ventilador                                                            |           |    |               |
| 6             | Cambio fajas y revisión de polea del alternador                                    |           |    |               |
| 7             | Limpieza del enfriador de aceite de motor                                          |           |    |               |
| 8             | Sacar muestra de aceite de motor.                                                  |           |    |               |
| 9             | Cambio de aceite de motor                                                          |           |    |               |
| 10            | Cambio de filtros de aceite de motor                                               |           |    |               |
| 11            | Cambio de filtro de petróleo                                                       |           |    |               |
| 12            | Cambio del filtro separador de agua                                                |           |    |               |
| 13            | Inspección de la tensión de la faja y el alineamiento de las poleas del alternador |           |    |               |
| 14            | Desmontaje, lavado y montaje de PTX                                                |           |    |               |
| 15            | Inspección visual a la salida del turbocompresor en busca de fuga de aceite        |           |    |               |
| 16            | Inspección y pruebas de la bomba de inyección                                      |           |    |               |
| 17            | Inspección visual y pruebas manuales al eje del turbocompresor                     |           |    |               |
| 18            | Cambio de enfriador en stand-by y envío para su mantenimiento                      |           |    |               |
| 19            | Cambio de empaques de tapas de balancines                                          |           |    |               |

### TRANSMISIÓN

| ÍTEM | PROCEDIMIENTO                                                                | SI | NO | OBSERVACIONES |
|------|------------------------------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| 1    | Revisar nivel de aceite de la caja de transmisión (añadir si es necesario)   |    |    |               |
| 2    | Revisar nivel de aceite de la caja de transferencia (añadir si es necesario) |    |    |               |
| 3    | Revisar nivel aceite mando finales y diferenciales                           |    |    |               |
| 4    | Lubricar toda la línea cardánica                                             |    |    |               |
| 5    | Ajustar pernos soporte de bomba y motores hidrostáticos                      |    |    |               |

### SISTEMA HIDRÁULICO

| ÍTEM | PROCEDIMIENTO                                          | SI | NO | OBSERVACIONES |
|------|--------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| 1    | Revisar nivel de aceite hidráulico                     |    |    |               |
| 2    | Dializar el aceite hidráulico                          |    |    |               |
| 3    | Chequeo del accionamiento de frenos de servicio        |    |    |               |
| 4    | Limpieza del pedal de freno.                           |    |    |               |
| 5    | Chequeo del accionamiento de freno de parqueo          |    |    |               |
| 6    | Verificar fugas de aceite por componentes hidráulicos: |    |    |               |
| 7    | Bombas Hidráulicas.                                    |    |    |               |
| 8    | Cilindros Hidráulicos.                                 |    |    |               |
| 9    | Limpieza del enfriador de aceite hidráulico.           |    |    |               |

### ESTRUCTURA

| ÍTEM | PROCEDIMIENTO                                                    | SI | NO | OBSERVACIONES |
|------|------------------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| 1    | Limpieza de la grasa sobresaliente en los puntos de engrase.     |    |    |               |
| 2    | Limpieza General del Equipo                                      |    |    |               |
| 3    | Engrase general (Art.central, crucetas, cardan, boom, perf, etc) |    |    |               |
| 4    | Revisar gatas y sus valvulas                                     |    |    |               |

### SISTEMA ELÉCTRICO

| ÍTEM | PROCEDIMIENTO                                                               | SI | NO | OBSERVACIONES |
|------|-----------------------------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| 1    | Limpieza general de la cabina del operador.                                 |    |    |               |
| 2    | Limpieza de interna de panel de instrumentos.                               |    |    |               |
| 3    | Revisar componentes eléctricos de tablero de control por partes sueltas.    |    |    |               |
| 4    | Limpieza y secado de conectores eléctricos en la parte posterior de cabina. |    |    |               |
| 5    | Revisar buen acoplamiento de conectores del equipo.                         |    |    |               |
| 6    | Comprobar que los switch de presión estén libres de suciedad y humedad.     |    |    |               |
| 7    | Revisar las luces de tránsito, perforación y emergencia                     |    |    |               |
| 8    | Revisar panel, luces precaución y switches de seguridad                     |    |    |               |
| 9    | Cambio de baterías                                                          |    |    |               |
| 10   | Cambio de arrancador Stand-by y envío para su mantenimiento                 |    |    |               |
| 11   | Cambio de fajas de alternador                                               |    |    |               |
| 12   | Cambio de alternador en stand-by y envío para su mantenimiento              |    |    |               |
| 13   | Inspección de conexiones eléctricas de arrancador                           |    |    |               |
| 14   | Revisar condición de baterías.Bornes                                        |    |    |               |
| 15   | Probar funcionamiento de indicador de temperatura                           |    |    |               |
| 16   | Probar funcionamiento de switch de temperatura                              |    |    |               |

### CONSUMO DE LUBRICANTE

ACEITE 15W40  
ACEITE DTE-26  
ACEITE SAE - 30  
ACEITE ALMO

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |

ACEITE CORENA  
ACEITE ROTO INJECT FLIUD  
GRASA MOBILGREASE CM-P  
GRASA ROJA SINTETICA

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES: En caso quede pendiente algún punto de la cartilla, haya observado algún daño en el equipo póngalo como observación.

Firma \_\_\_\_\_  
Nombre \_\_\_\_\_  
Tec. Mecánico Responsable

Firma \_\_\_\_\_  
Nombre \_\_\_\_\_  
Supervisor Trackless

Firma \_\_\_\_\_  
Nombre \_\_\_\_\_  
Responsable de Mantenimiento

## Cartilla de Mantenimiento - Jumbo Frontonero - TIPO 1000 horas Diesel

|              |  |               |  |                  |  |
|--------------|--|---------------|--|------------------|--|
| COD. INTERNO |  | HOR_PERCUSION |  | H. Inicio Mantto |  |
| MODELO       |  | HOR_COMPRESOR |  | H. Final Mantto  |  |
| FECHA        |  | HOR_DIESEL    |  | Turno            |  |
|              |  |               |  | Ubicación        |  |

### Realizar el servicio diario y antes de realizar su mantenimiento

Antes de realizar trabajos de mantenimiento el equipo deberá ser lavado, teniendo en cuenta la protección de los componentes eléctricos, evitando el contacto directo con chorros de agua.

| MOTOR DIESEL: |                                                                                    | REALIZADO |    | OBSERVACIONES |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----|---------------|
| ÍTEM          | PROCEDIMIENTO                                                                      | SI        | NO |               |
| 1             | Cambiar filtro de admisión primario                                                |           |    |               |
| 2             | Cambiar filtro de admisión secundario                                              |           |    |               |
| 3             | Limpieza del portafiltro                                                           |           |    |               |
| 4             | Chequear hermetismo de refrigeración aire de motor                                 |           |    |               |
| 5             | Limpieza del ventilador                                                            |           |    |               |
| 6             | Cambio fajas y revisión de polea del alternador                                    |           |    |               |
| 7             | Limpieza del enfriador de aceite de motor                                          |           |    |               |
| 8             | Sacar muestra de aceite de motor.                                                  |           |    |               |
| 9             | Cambio de aceite de motor                                                          |           |    |               |
| 10            | Cambio de filtros de aceite de motor                                               |           |    |               |
| 11            | Cambio de filtro de petróleo                                                       |           |    |               |
| 12            | Cambio del filtro separador de agua                                                |           |    |               |
| 13            | Inspección de la tensión de la faja y el alineamiento de las poleas del alternador |           |    |               |
| 14            | Desmontaje, lavado y montaje de PTX                                                |           |    |               |
| 15            | Inspección visual a la salida del turbocompresor en busca de fuga de aceite        |           |    |               |
| 16            | Inspección y pruebas de la bomba de inyección                                      |           |    |               |
| 17            | Inspección visual y pruebas manuales al eje del turbocompresor                     |           |    |               |
| 18            | Cambio de enfriador en stand-by y envío para su mantenimiento                      |           |    |               |
| 19            | Cambio de empaques de tapas de balancines                                          |           |    |               |
| 20            | Cambio de precalentadores                                                          |           |    |               |
| 21            | Calibración de válvulas                                                            |           |    |               |
| 22            | Cambio de empaque de múltiple de admisión                                          |           |    |               |
| 23            | Cambio de fajas de ventilador de motor                                             |           |    |               |

### TRANSMISIÓN

| ÍTEM | PROCEDIMIENTO                                           | SI | NO | OBSERVACIONES |
|------|---------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| 1    | Cambio de aceite de la caja de transmisión              |    |    |               |
| 2    | Cambio de aceite de la caja de transferencia            |    |    |               |
| 3    | Cambio de aceite mando finales y diferenciales          |    |    |               |
| 4    | Lubricar toda la línea cardánica                        |    |    |               |
| 5    | Ajuste de pernos de línea cardánica                     |    |    |               |
| 6    | Ajustar pernos soporte de bomba y motores hidrostáticos |    |    |               |

### SISTEMA HIDRÁULICO

| ÍTEM | PROCEDIMIENTO                                           | SI | NO | OBSERVACIONES |
|------|---------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| 1    | Revisar nivel de aceite hidráulico                      |    |    |               |
| 2    | Dializar el aceite hidráulico, de ser necesario cambiar |    |    |               |
| 3    | Chequeo del accionamiento de frenos de servicio         |    |    |               |
| 4    | Limpieza del pedal de freno.                            |    |    |               |
| 5    | Chequeo del accionamiento de freno de parqueo           |    |    |               |
| 6    | Verificar fugas de aceite por componentes hidráulicos:  |    |    |               |
| 7    | Bombas Hidráulicas.                                     |    |    |               |
| 8    | Cilindros Hidráulicos.                                  |    |    |               |
| 9    | Limpieza del enfriador de aceite hidráulico.            |    |    |               |

### ESTRUCTURA

| ÍTEM | PROCEDIMIENTO                                                    | SI | NO | OBSERVACIONES |
|------|------------------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| 1    | Limpieza de la grasa sobresaliente en los puntos de engrase.     |    |    |               |
| 2    | Limpieza General del Equipo                                      |    |    |               |
| 3    | Engrase general (Art.central, crucetas, cardan, boom, perf, etc) |    |    |               |
| 4    | Revisar gatas y sus válvulas                                     |    |    |               |

### SISTEMA ELÉCTRICO

| ÍTEM | PROCEDIMIENTO                                                               | SI | NO | OBSERVACIONES |
|------|-----------------------------------------------------------------------------|----|----|---------------|
| 1    | Limpieza general de la cabina del operador.                                 |    |    |               |
| 2    | Limpieza de interna de panel de instrumentos.                               |    |    |               |
| 3    | Revisar componentes eléctricos de tablero de control por partes sueltas.    |    |    |               |
| 4    | Limpieza y secado de conectores eléctricos en la parte posterior de cabina. |    |    |               |
| 5    | Revisar buen acoplamiento de conectores del equipo.                         |    |    |               |
| 6    | Comprobar que los switch de presión estén libres de suciedad y humedad.     |    |    |               |
| 7    | Revisar las luces de tránsito, perforación y emergencia                     |    |    |               |
| 8    | Revisar panel, luces precaución y switches de seguridad                     |    |    |               |
| 9    | Ajustar bornes de la batería                                                |    |    |               |
| 10   | Revisar carga de Baterías                                                   |    |    |               |
| 11   | Revisar alternador y arrancador.                                            |    |    |               |
| 12   | Revisar condición de baterías.Bornes                                        |    |    |               |
| 13   | Inspección de conexiones eléctricas de arrancador                           |    |    |               |
| 14   | Revisar condición de baterías.Bornes                                        |    |    |               |
| 15   | Probar funcionamiento de indicador de temperatura                           |    |    |               |
| 16   | Probar funcionamiento de switch de temperatura                              |    |    |               |

**CONSUMO DE LUBRICANTE**

ACEITE 15W40  
ACEITE DTE-26  
ACEITE SAE - 30  
ACEITE ALMO

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |

ACEITE CORENA  
ACEITE ROTO INJECT FLIUD  
GRASA MOBILGREASE CM-P  
GRASA ROJA SINTETICA

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES: En caso quede pendiente algún punto de la cartilla, haya observado algún daño en el equipo póngalo como observación.

Firma \_\_\_\_\_  
Nombre .....  
Tec. Mecanico Responsable

Firma \_\_\_\_\_  
Nombre .....  
Supervisor Trackless

Firma \_\_\_\_\_  
Nombre .....  
Responsable de Operaciones

ANEXO C: Reporte de KPI's mensuales del área de planeamiento de mantenimiento, por los periodos de Abril 2024 a Marzo 2025

INICIO: 24-Mar FIN: 23-Abr PERIODO: ABRIL 2024

Equipment Operational Performance Summary

| Equipment        | HORAS TRABAJADAS |          |         |           | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |        | Performance |       |                |                |          | Target     |           |      |      |
|------------------|------------------|----------|---------|-----------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|--------|-------------|-------|----------------|----------------|----------|------------|-----------|------|------|
|                  | ENG-HRS          | PERC-HRS | CMP-HRS | Hrs Prog. | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total  | MTBF        | MTTR  | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%) | Meta Avail | Meta Util | MTBF | MTTR |
| SC600            | 396.2            |          |         | 744       | 0                 | 3         | 3     | 21.30       | 104.80     | 0.00      | 126.10 | 205.97      | 42.03 | 95%            | 95%            | 64%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC601            | 431.5            |          |         | 744       | 3                 | 3         | 6     | 61.00       | 6.00       | 0.00      | 67.00  | 112.83      | 11.17 | 95%            | 95%            | 64%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC602            | 353.9            |          |         | 744       | 1                 | 8         | 9     | 189.90      | 8.50       | 0.00      | 198.40 | 60.62       | 22.04 | 95%            | 95%            | 65%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC603            | 450.5            |          |         | 744       | 1                 | 7         | 8     | 27.80       | 11.30      | 0.00      | 39.10  | 88.11       | 4.89  | 95%            | 95%            | 64%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scooptram        | 1632.1           |          |         | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 430.60 | 116.88      | 20.03 | 95%            | 95%            | 64%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| JF116            | 85.7             | 109.8    | 184.0   | 744       | 2                 | 14        | 16    | 89.60       | 6.70       | 0.00      | 96.30  | 40.48       | 6.02  | 95%            | 95%            | 42%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF117            | 107.3            | 147.7    | 215.8   | 744       | 3                 | 9         | 12    | 107.60      | 2.10       | 0.00      | 109.70 | 52.86       | 9.14  | 95%            | 95%            | 51%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF118            | 99.8             | 139.5    | 228.4   | 744       | 1                 | 14        | 15    | 85.20       | 1.90       | 0.00      | 87.10  | 43.79       | 5.81  | 95%            | 95%            | 50%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF119            | 64.3             | 114.5    | 160.4   | 744       | 0                 | 12        | 12    | 266.80      | 1.20       | 0.00      | 268.00 | 39.67       | 22.33 | 95%            | 95%            | 47%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Frontonero    | 357.1            | 511.5    | 788.6   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 561.10 | 44.20       | 10.83 | 95%            | 95%            | 47%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE045            | 119.8            | 30.5     | 82.0    | 744       | 3                 | 8         | 11    | 56.40       | 10.40      | 0.00      | 66.80  | 61.56       | 6.07  | 95%            | 95%            | 30%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE046            | 107.0            | 33.0     | 150.8   | 744       | 1                 | 14        | 15    | 49.00       | 10.90      | 0.00      | 59.90  | 45.61       | 3.99  | 95%            | 95%            | 38%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE048            | 112.7            | 32.0     | 63.8    | 744       | 3                 | 4         | 7     | 40.20       | 10.80      | 0.00      | 51.00  | 99.00       | 7.29  | 95%            | 95%            | 25%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE049            | 147.8            | 47.0     | 186.9   | 744       | 2                 | 10        | 12    | 38.40       | 10.80      | 0.00      | 49.20  | 57.90       | 4.10  | 95%            | 95%            | 48%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Empernador    | 487.3            | 142.5    | 483.5   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 226.90 | 66.02       | 5.36  | 95%            | 95%            | 35%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JL122            | 38.0             | 84.3     | 195.7   | 744       | 3                 | 17        | 20    | 72.30       | 16.40      | 0.00      | 88.70  | 32.77       | 4.44  | 95%            | 95%            | 36%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Taladro largo | 38.0             | 84.3     | 195.7   | 744       |                   |           |       |             |            |           | 88.70  | 32.77       | 4.44  | 95%            | 95%            | 36%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| DR004            | 238.0            | 56.7     |         | 744       | 3                 | 13        | 16    | 45.50       | 31.90      | 0.00      | 77.40  | 41.66       | 4.84  | 95%            | 95%            | 36%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| DR005            | 261.6            | 54.0     |         | 744       | 4                 | 16        | 20    | 65.00       | 12.80      | 0.00      | 77.80  | 33.31       | 3.89  | 95%            | 95%            | 39%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scaler           | 499.6            | 110.7    |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 155.20 | 37.49       | 4.36  | 95%            | 95%            | 37%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TL001            | 348.5            |          |         | 744       | 2                 | 3         | 5     | 31.80       | 8.30       | 0.00      | 40.10  | 140.78      | 8.02  | 95%            | 95%            | 50%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL053            | 139.9            |          |         | 744       | 1                 | 6         | 7     | 36.80       | 6.50       | 0.00      | 43.30  | 100.10      | 6.19  | 95%            | 95%            | 20%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL052            | 228.4            |          |         | 744       | 2                 | 1         | 3     | 20.50       | 0.50       | 0.00      | 21.00  | 241.00      | 7.00  | 95%            | 95%            | 32%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Auxiliares       | 716.8            |          |         | 2232      |                   |           |       |             |            |           | 104.40 | 160.63      | 7.07  | 95%            | 95%            | 34%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MT001            | 251.1            |          |         | 744       | 3                 | 3         | 6     | 42.80       | 29.70      | 0.00      | 72.50  | 111.92      | 12.08 | 95%            | 95%            | 37%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MC002            | 258.2            |          |         | 744       | 0                 | 3         | 3     | 3.70        | 9.90       | 0.00      | 13.60  | 243.47      | 0.00  | 95%            | 95%            | 0%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Mantto Vías      | 509.3            |          |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 86.10  | 177.69      | 6.04  | 95%            | 95%            | 19%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TOTAL GENERAL    |                  |          |         |           |                   |           |       |             |            |           |        | 90.81       | 8.30  | 95%            | 95%            | 39%      |            |           |      |      |

INICIO: 24-Abr FIN: 24-May PERIODO: MAYO 2024

## Equipment Operational Performance Summary

| Equipment        | HORAS TRABAJADAS |          |         |           | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |        | Performance |       |                |                |          | Target     |           |      |      |
|------------------|------------------|----------|---------|-----------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|--------|-------------|-------|----------------|----------------|----------|------------|-----------|------|------|
|                  | ENG-HRS          | PERC-HRS | CMP-HRS | Hrs Prog. | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total  | MTBF        | MTTR  | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%) | Meta Avail | Meta Util | MTBF | MTTR |
| SC600            | 372.0            |          |         | 744       | 1                 | 2         | 3     | 51.65       | 0.00       | 0.00      | 51.65  | 230.78      | 17.22 | 95%            | 95%            | 54%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC601            | 425.0            |          |         | 744       | 2                 | 2         | 4     | 55.40       | 0.00       | 2.00      | 55.40  | 172.15      | 13.85 | 95%            | 95%            | 62%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC602            | 435.0            |          |         | 744       | 1                 | 2         | 3     | 56.20       | 0.00       | 0.00      | 56.20  | 229.27      | 18.73 | 95%            | 95%            | 63%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC603            | 340.0            |          |         | 744       | 1                 | 1         | 2     | 24.00       | 0.00       | 0.00      | 24.00  | 360.00      | 12.00 | 95%            | 95%            | 47%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scooptram        | 1572.0           |          |         | 2976      |                   |           |       | 187.25      |            |           | 187.25 | 248.05      | 15.45 | 95%            | 95%            | 56%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| JF116            | 97.0             | 125.0    | 207.4   | 744       | 2                 | 13        | 15    | 80.00       | 0.00       | 4.50      | 80.00  | 44.27       | 5.33  | 95%            | 95%            | 46%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF117            | 98.0             | 102.3    | 219.1   | 744       | 1                 | 15        | 16    | 95.30       | 0.00       | 31.67     | 95.30  | 40.54       | 5.96  | 95%            | 95%            | 49%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF118            | 36.0             | 43.2     | 70.2    | 744       | 1                 | 9         | 10    | 65.84       | 5.00       | 5.00      | 70.84  | 67.32       | 7.08  | 95%            | 95%            | 16%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF119            | 35.0             | 42.0     | 72.0    | 744       | 2                 | 8         | 10    | 76.60       | 0.00       |           | 76.60  | 66.74       | 7.66  | 95%            | 95%            | 16%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Frontonero    | 266.0            | 312.5    | 568.7   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 322.74 | 54.72       | 6.51  | 95%            | 95%            | 32%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE045            | 101.0            | 43.2     | 68.3    | 744       | 2                 | 3         | 5     | 40.00       | 5.00       | 30.83     | 45.00  | 139.80      | 9.00  | 95%            | 95%            | 24%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE046            | 23.0             | 10.5     | 60.5    | 744       | 1                 | 2         | 3     | 12.00       | 2.00       | 0.00      | 14.00  | 243.33      | 4.67  | 95%            | 95%            | 11%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE048            | 35.0             | 42.0     | 70.5    | 744       | 2                 | 2         | 4     | 25.00       | 4.00       |           | 29.00  | 178.75      | 7.25  | 95%            | 95%            | 15%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE049            | 19.0             | 9.5      | 55.0    | 744       | 1                 | 1         | 2     | 15.00       | 3.00       |           | 18.00  | 363.00      | 9.00  | 95%            | 95%            | 10%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Empernador    | 178.0            | 105.2    | 254.3   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 106.00 | 231.22      | 7.48  | 95%            | 95%            | 15%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JL122            | 7.0              | 25.0     | 46.5    | 744       | 0                 | 2         | 2     | 9.60        | 0.00       | 2.00      | 9.60   | 367.20      | 4.80  | 95%            | 95%            | 7%       | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Taladro largo | 7.0              | 25.0     | 46.5    | 744       |                   |           |       |             |            |           | 9.60   | 367.20      | 4.80  | 95%            | 95%            | 7%       | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| DR004            | 179.2            | 21.9     |         | 744       | 1                 | 5         | 6     | 70.60       | 7.00       | 1.00      | 77.60  | 111.07      | 12.93 | 95%            | 95%            | 27%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| DR005            | 150.0            | 19.5     |         | 744       | 1                 | 2         | 3     | 30.50       | 3.00       | 18.15     | 33.50  | 236.83      | 11.17 | 95%            | 95%            | 21%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scaler           | 329.2            | 41.4     |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 111.10 | 173.95      | 12.05 | 95%            | 95%            | 24%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TL001            | 351.0            |          |         | 744       | 1                 | 5         | 6     | 68.50       | 0.00       | 2.08      | 68.50  | 112.58      | 11.42 | 95%            | 95%            | 52%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL053            | 235.0            |          |         | 744       | 1                 | 2         | 3     | 28.00       | 0.00       | 5.00      | 28.00  | 238.67      | 9.33  | 95%            | 95%            | 33%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL052            | 0.0              |          |         | 744       | 1                 | 2         | 3     | 26.00       | 0.00       | 0.00      | 26.00  | 239.33      | 8.67  | 95%            | 95%            | 0%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Auxiliares       | 586.0            |          |         | 2232      |                   |           |       |             |            |           | 122.50 | 196.86      | 9.81  | 95%            | 95%            | 28%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MT001            | 135.0            |          |         | 744       | 1                 | 3         | 4     | 45.00       | 0.00       | 0.00      | 45.00  | 174.75      | 11.25 | 95%            | 95%            | 19%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MC002            | 402.0            |          |         | 744       | 2                 | 2         | 4     | 43.00       | 5.00       | 1.67      | 48.00  | 174.00      | 0.00  | 95%            | 95%            | 0%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Mantto Vías      | 537.0            |          |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 93.00  | 174.38      | 5.63  | 95%            | 95%            | 10%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TOTAL GENERAL    |                  |          |         |           |                   |           |       |             |            |           |        | 206.62      | 8.82  | 95%            | 95%            | 25%      |            |           |      |      |

INICIO: 25-May FIN: 23-Jun PERIODO: JUNIO 2024

## Equipment Operational Performance Summary

| Equipment        | HORAS TRABAJADAS |          |         |           | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |        | Performance |       |                |                |          | Target     |           |      |      |
|------------------|------------------|----------|---------|-----------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|--------|-------------|-------|----------------|----------------|----------|------------|-----------|------|------|
|                  | ENG-HRS          | PERC-HRS | CMP-HRS | Hrs Prog. | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total  | MTBF        | MTTR  | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%) | Meta Avail | Meta Util | MTBF | MTTR |
| SC600            | 346.4            |          |         | 720       | 1                 | 4         | 5     | 52.58       | 4.75       | 0.67      | 57.33  | 132.53      | 11.47 | 95%            | 95%            | 52%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC601            | 362.8            |          |         | 720       | 2                 | 3         | 5     | 50.75       | 0.50       | 0.00      | 51.25  | 133.75      | 10.25 | 95%            | 95%            | 54%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC602            | 446.9            |          |         | 720       | 3                 | 3         | 6     | 59.50       | 0.00       | 6.00      | 59.50  | 110.08      | 9.92  | 95%            | 95%            | 68%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC603            | 459.7            |          |         | 720       | 1                 | 3         | 4     | 54.08       | 0.00       | 0.00      | 54.08  | 166.48      | 13.52 | 95%            | 95%            | 69%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scooptram        | 1615.8           |          |         | 2880      |                   |           |       |             |            |           | 222.17 | 135.71      | 11.29 | 95%            | 95%            | 61%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| JF116            | 118.0            | 176.5    | 258.9   | 720       | 3                 | 9         | 12    | 97.50       | 0.00       | 3.58      | 97.50  | 51.88       | 8.13  | 95%            | 95%            | 61%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF117            | 93.7             | 122.7    | 205.3   | 720       | 3                 | 14        | 17    | 103.00      | 0.00       | 4.50      | 103.00 | 36.29       | 6.06  | 95%            | 95%            | 48%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF118            | 99.0             | 100.2    | 215.2   | 720       | 2                 | 10        | 12    | 78.00       | 1.42       | 31.67     | 79.42  | 53.38       | 6.62  | 95%            | 95%            | 49%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF119            | 29.5             | 41.2     | 68.8    | 720       | 0                 | 6         | 6     | 55.40       | 0.00       | 5.00      | 55.40  | 110.77      | 9.23  | 95%            | 95%            | 15%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Frontonero    | 340.2            | 440.6    | 748.2   | 2880      |                   |           |       |             |            |           | 335.32 | 63.08       | 7.51  | 95%            | 95%            | 43%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE045            | 138.5            | 108.4    | 249.8   | 720       | 2                 | 6         | 8     | 34.50       | 0.00       | 0.00      | 34.50  | 85.69       | 4.31  | 95%            | 95%            | 57%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE046            | 149.3            | 171.9    | 218.0   | 720       | 2                 | 17        | 19    | 75.50       | 4.42       | 2.00      | 79.92  | 33.69       | 4.21  | 95%            | 95%            | 57%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE048            | 109.0            | 44.1     | 0.0     | 720       | 2                 | 10        | 12    | 69.58       | 24.00      | 30.83     | 93.58  | 52.20       | 7.80  | 95%            | 95%            | 17%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE049            | 21.4             | 10.1     | 0.0     | 720       | 0                 | 3         | 3     | 12.92       | 1.00       | 0.00      | 13.92  | 235.36      | 4.64  | 95%            | 95%            | 3%       | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Empernador    | 418.2            | 334.5    | 467.8   | 2880      |                   |           |       |             |            |           | 221.92 | 101.73      | 5.24  | 95%            | 95%            | 34%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JL122            | 6.0              | 22.1     | 44.1    | 720       | 0                 | 3         | 3     | 12.67       | 0.00       | 0.67      | 12.67  | 235.78      | 4.22  | 95%            | 95%            | 7%       | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Taladro largo | 6.0              | 22.1     | 44.1    | 720       |                   |           |       |             |            |           | 12.67  | 235.78      | 4.22  | 95%            | 95%            | 7%       | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| DR004            | 181.5            | 22.5     |         | 720       | 0                 | 10        | 10    | 110.75      | 6.50       | 1.00      | 117.25 | 60.28       | 11.73 | 95%            | 95%            | 30%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| DR005            | 150.0            | 19.6     |         | 720       | 1                 | 2         | 3     | 35.00       | 7.00       | 1.00      | 42.00  | 226.00      | 14.00 | 95%            | 95%            | 22%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scaler           | 331.5            | 42.1     |         | 1440      |                   |           |       |             |            |           | 159.25 | 143.14      | 12.86 | 95%            | 95%            | 26%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TL001            | 363.2            |          |         | 720       | 2                 | 12        | 14    | 99.17       | 0.00       | 2.08      | 99.17  | 44.35       | 7.08  | 95%            | 95%            | 59%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL053            | 232.1            |          |         | 720       | 2                 | 3         | 5     | 57.17       | 0.00       | 5.00      | 57.17  | 132.57      | 11.43 | 95%            | 95%            | 35%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL052            | 183.0            |          |         | 720       | 2                 | 2         | 4     | 45.00       | 0.00       | 0.00      | 45.00  | 168.75      | 11.25 | 95%            | 95%            | 27%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Auxiliares       | 778.3            |          |         | 2160      |                   |           |       |             |            |           | 201.33 | 115.22      | 9.92  | 95%            | 95%            | 40%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MT001            | 126.0            |          |         | 720       | 2                 | 4         | 6     | 130.50      | 0.00       | 0.00      | 130.50 | 98.25       | 21.75 | 95%            | 95%            | 21%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MC002            | 393.3            |          |         | 720       | 3                 | 13        | 16    | 73.67       | 18.92      | 1.67      | 92.58  | 39.21       | 0.00  | 95%            | 95%            | 0%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Mantfo Vías      | 519.3            |          |         | 1440      |                   |           |       |             |            |           | 223.08 | 68.73       | 10.88 | 95%            | 95%            | 11%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TOTAL GENERAL    |                  |          |         |           |                   |           |       |             |            |           |        | 123.34      | 8.85  | 95%            | 95%            | 32%      |            |           |      |      |

INICIO: 24-Jun FIN: 24-Jul PERIODO: JULIO 2024

## Equipment Operational Performance Summary

| Equipment        | HORAS TRABAJADAS |          |         |           | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |        | Performance |       |                |                |          | Target     |           |      |      |
|------------------|------------------|----------|---------|-----------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|--------|-------------|-------|----------------|----------------|----------|------------|-----------|------|------|
|                  | ENG-HRS          | PERC-HRS | CMP-HRS | Hrs Prog. | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total  | MTBF        | MTTR  | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%) | Meta Avail | Meta Util | MTBF | MTTR |
| SC600            | 401.2            |          |         | 744       | 2                 | 6         | 8     | 59.75       | 1.42       | 18.33     | 61.17  | 85.35       | 7.65  | 95%            | 95%            | 59%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC601            | 380.7            |          |         | 744       | 1                 | 4         | 5     | 60.17       | 0.00       | 20.08     | 60.17  | 136.77      | 12.03 | 95%            | 95%            | 56%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC602            | 393.0            |          |         | 744       | 1                 | 7         | 8     | 55.17       | 0.00       | 16.92     | 55.17  | 86.10       | 6.90  | 95%            | 95%            | 57%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC603            | 423.8            |          |         | 744       | 1                 | 4         | 5     | 34.25       | 0.00       | 19.50     | 34.25  | 141.95      | 6.85  | 95%            | 95%            | 60%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scooptram        | 1598.7           |          |         | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 210.75 | 112.54      | 8.36  | 95%            | 95%            | 58%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| JF116            | 124.0            | 142.1    | 214.2   | 744       | 2                 | 9         | 11    | 80.42       | 3.25       | 20.25     | 83.67  | 60.03       | 7.61  | 95%            | 95%            | 51%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF117            | 86.5             | 109.3    | 181.8   | 744       | 2                 | 7         | 9     | 50.25       | 5.50       | 23.25     | 55.75  | 76.47       | 6.19  | 95%            | 95%            | 39%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF118            | 88.4             | 91.9     | 183.6   | 744       | 3                 | 7         | 10    | 70.92       | 0.00       | 20.75     | 70.92  | 67.31       | 7.09  | 95%            | 95%            | 40%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF119            | 98.0             | 115.6    | 188.6   | 744       | 1                 | 8         | 9     | 85.90       | 1.00       | 20.58     | 86.90  | 73.01       | 9.66  | 95%            | 95%            | 44%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Frontonero    | 396.9            | 458.9    | 768.2   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 297.23 | 69.21       | 7.64  | 95%            | 95%            | 44%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE045            | 61.5             | 98.8     | 84.6    | 744       | 0                 | 7         | 7     | 50.33       | 0.00       | 9.67      | 50.33  | 99.10       | 7.19  | 95%            | 95%            | 21%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE046            | 132.5            | 38.7     | 65.8    | 744       | 3                 | 7         | 10    | 66.08       | 0.00       | 21.83     | 66.08  | 67.79       | 6.61  | 95%            | 95%            | 29%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE048            | 61.1             | 23.4     | 39.8    | 744       | 1                 | 5         | 6     | 26.67       | 234.33     | 14.58     | 261.00 | 80.50       | 43.50 | 95%            | 95%            | 21%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE049            | 71.9             | 20.0     | 34.0    | 744       | 0                 | 3         | 3     | 6.33        | 0.00       | 12.25     | 6.33   | 245.89      | 2.11  | 95%            | 95%            | 14%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Empernador    | 327.0            | 180.9    | 224.2   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 383.75 | 123.32      | 14.85 | 95%            | 95%            | 21%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JL122            | 1.0              | 13.6     | 22.5    | 744       | 0                 | 1         | 1     | 4.25        | 0.00       | 27.00     | 4.25   | 739.75      | 4.25  | 95%            | 95%            | 3%       | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Taladro largo | 1.0              | 13.6     | 22.5    | 744       |                   |           |       |             |            |           | 4.25   | 739.75      | 4.25  | 95%            | 95%            | 3%       | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| DR004            | 279.8            | 39.8     |         | 744       | 1                 | 13        | 14    | 161.83      | 0.00       | 13.83     | 161.83 | 41.58       | 11.56 | 95%            | 95%            | 48%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| DR005            | 205.0            | 29.0     |         | 744       | 1                 | 5         | 6     | 53.00       | 0.00       | 8.00      | 53.00  | 115.17      | 8.83  | 95%            | 95%            | 30%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scaler           | 484.8            | 68.8     |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 214.83 | 78.38       | 10.20 | 95%            | 95%            | 39%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TL001            | 325.3            |          |         | 744       | 3                 | 6         | 9     | 55.17       | 0.00       | 24.58     | 55.17  | 76.54       | 6.13  | 95%            | 95%            | 47%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL053            | 147.6            |          |         | 744       | 0                 | 2         | 2     | 4.00        | 0.00       | 29.00     | 4.00   | 370.00      | 2.00  | 95%            | 95%            | 20%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL052            | 4.3              |          |         | 744       | 0                 | 5         | 5     | 125.00      | 0.00       | 22.50     | 125.00 | 123.80      | 25.00 | 95%            | 95%            | 1%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Auxiliares       | 477.2            |          |         | 2232      |                   |           |       |             |            |           | 184.17 | 190.11      | 11.04 | 95%            | 95%            | 23%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MT001            | 187.1            |          |         | 744       | 2                 | 6         | 8     | 37.17       | 0.00       | 27.50     | 37.17  | 88.35       | 4.65  | 95%            | 95%            | 26%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MC002            | 284.9            |          |         | 744       | 2                 | 7         | 9     | 92.00       | 0.00       | 19.58     | 92.00  | 72.44       | 0.00  | 95%            | 95%            | 0%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Mantfo Vías      | 472.0            |          |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 129.17 | 80.40       | 2.32  | 95%            | 95%            | 13%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TOTAL GENERAL    |                  |          |         |           |                   |           |       |             |            |           |        | 199.10      | 8.38  | 95%            | 95%            | 29%      |            |           |      |      |

INICIO:

25-Jul

FIN:

24-Ago PERIODO: AGOSTO 2024

## Equipment Operational Performance Summary

| Equipment        | HORAS TRABAJADAS |          |         |           | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |        | Performance |       |                |                |          | Target     |           |      |      |
|------------------|------------------|----------|---------|-----------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|--------|-------------|-------|----------------|----------------|----------|------------|-----------|------|------|
|                  | ENG-HRS          | PERC-HRS | CMP-HRS | Hrs Prog. | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total  | MTBF        | MTTR  | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%) | Meta Avail | Meta Util | MTBF | MTTR |
| SC600            | 414.6            |          |         | 744       | 2                 | 4         | 6     | 44.25       | 0.00       | 27.33     | 44.25  | 116.63      | 7.38  | 95%            | 95%            | 59%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC601            | 346.6            |          |         | 744       | 1                 | 5         | 6     | 57.25       | 2.50       | 30.42     | 59.75  | 114.04      | 9.96  | 95%            | 95%            | 51%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC602            | 418.2            |          |         | 744       | 2                 | 3         | 5     | 50.17       | 4.00       | 26.25     | 54.17  | 137.97      | 10.83 | 95%            | 95%            | 61%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC603            | 419.0            |          |         | 744       | 2                 | 4         | 6     | 41.17       | 65.00      | 21.58     | 106.17 | 106.31      | 17.69 | 95%            | 95%            | 66%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scooptram        | 1598.4           |          |         | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 264.33 | 118.73      | 11.47 | 95%            | 95%            | 59%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| JF116            | 140.0            | 158.6    | 234.0   | 744       | 2                 | 10        | 12    | 72.25       | 0.00       | 19.92     | 72.25  | 55.98       | 6.02  | 95%            | 95%            | 56%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF117            | 88.8             | 120.1    | 204.1   | 744       | 2                 | 11        | 13    | 72.10       | 0.83       | 22.25     | 72.93  | 51.62       | 5.61  | 95%            | 95%            | 44%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF118            | 67.4             | 99.5     | 171.8   | 744       | 2                 | 8         | 10    | 65.20       | 0.00       | 21.17     | 65.20  | 67.88       | 6.52  | 95%            | 95%            | 35%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF119            | 77.5             | 131.2    | 170.2   | 744       | 2                 | 9         | 11    | 38.00       | 82.50      | 21.25     | 120.50 | 56.68       | 10.95 | 95%            | 95%            | 40%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Frontonero    | 373.7            | 509.4    | 780.1   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 330.88 | 58.04       | 7.28  | 95%            | 95%            | 44%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE045            | 140.3            | 96.6     | 217.2   | 744       | 2                 | 7         | 9     | 36.00       | 0.00       | 30.50     | 36.00  | 78.67       | 4.00  | 95%            | 95%            | 50%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE046            | 126.5            | 38.7     | 116.1   | 744       | 2                 | 9         | 11    | 62.08       | 107.00     | 19.42     | 169.08 | 52.27       | 15.37 | 95%            | 95%            | 42%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE048            | 141.5            | 46.1     | 138.3   | 744       | 0                 | 7         | 7     | 21.42       | 16.00      | 22.00     | 37.42  | 100.94      | 5.35  | 95%            | 95%            | 40%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE049            | 114.6            | 29.6     | 88.8    | 744       | 2                 | 7         | 9     | 41.00       | 89.67      | 20.83     | 130.67 | 68.15       | 14.52 | 95%            | 95%            | 33%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Empernador    | 522.9            | 211.0    | 560.4   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 373.17 | 75.01       | 9.81  | 95%            | 95%            | 41%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JL122            | 5.0              | 27.0     | 51.0    | 744       | 1                 | 1         | 2     | 5.00        | 0.00       | 30.50     | 5.00   | 369.50      | 2.50  | 95%            | 95%            | 8%       | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Taladro largo | 5.0              | 27.0     | 51.0    | 744       |                   |           |       |             |            |           | 5.00   | 369.50      | 2.50  | 95%            | 95%            | 8%       | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| DR004            | 253.7            | 40.1     |         | 744       | 0                 | 24        | 24    | 150.58      | 0.00       | 14.83     | 150.58 | 24.73       | 6.27  | 95%            | 95%            | 43%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| DR005            | 195.0            | 31.2     |         | 744       | 1                 | 6         | 7     | 72.50       | 0.00       | 6.00      | 72.50  | 95.93       | 10.36 | 95%            | 95%            | 29%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scaler           | 448.7            | 71.3     |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 223.08 | 60.33       | 8.32  | 95%            | 95%            | 36%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TL001            | 368.6            |          |         | 744       | 2                 | 5         | 7     | 47.83       | 0.00       | 26.58     | 47.83  | 99.45       | 6.83  | 95%            | 95%            | 53%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL053            | 212.3            |          |         | 744       | 2                 | 3         | 5     | 33.67       | 0.00       | 27.00     | 33.67  | 142.07      | 6.73  | 95%            | 95%            | 30%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL052            | 125.0            |          |         | 744       | 1                 | 2         | 3     | 20.00       | 0.00       | 0.00      | 20.00  | 241.33      | 6.67  | 95%            | 95%            | 17%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Auxiliares       | 705.9            |          |         | 2232      |                   |           |       |             |            |           | 101.50 | 160.95      | 6.74  | 95%            | 95%            | 33%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MT001            | 0.0              |          |         | 744       | 1                 | 2         | 3     | 40.00       | 0.00       | 29.00     | 40.00  | 234.67      | 13.33 | 95%            | 95%            | 0%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MC002            | 309.7            |          |         | 744       | 2                 | 4         | 6     | 68.58       | 0.00       | 25.67     | 68.58  | 112.57      | 0.00  | 95%            | 95%            | 0%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Mantfo Vías      | 309.7            |          |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 108.58 | 173.62      | 6.67  | 95%            | 95%            | 0%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TOTAL GENERAL    |                  |          |         |           |                   |           |       |             |            |           |        | 145.17      | 7.54  | 95%            | 95%            | 32%      |            |           |      |      |

INICIO: 25-Ago FIN: 23-Set PERIODO: SEPTIEMBRE 2024

## Equipment Operational Performance Summary

| Equipment               | HORAS TRABAJADAS |              |              |             | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |               | Performance   |              |                |                |            | Target     |            |             |             |
|-------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|---------------|---------------|--------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
|                         | ENG-HRS          | PERC-HRS     | CMP-HRS      | Hrs Prog.   | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total         | MTBF          | MTTR         | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%)   | Meta Avail | Meta Util  | MTBF        | MTTR        |
| SC600                   | 429.5            |              |              | 720         | 3                 | 4         | 7     | 37.80       | 6.10       | 20.00     | 43.90         | 96.59         | 6.27         | 95%            | 95%            | 64%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC601                   | 421.2            |              |              | 720         | 2                 | 4         | 6     | 47.30       | 4.20       | 21.30     | 51.50         | 111.42        | 8.58         | 95%            | 95%            | 63%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC602                   | 422.0            |              |              | 720         | 5                 | 5         | 10    | 53.90       | 2.20       | 19.70     | 56.10         | 66.39         | 5.61         | 95%            | 95%            | 64%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC603                   | 284.3            |              |              | 720         | 1                 | 4         | 5     | 18.50       | 100.70     | 18.60     | 119.20        | 120.16        | 23.84        | 95%            | 95%            | 47%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Scooptram</b>        | <b>1557.0</b>    |              |              | <b>2880</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>270.70</b> | <b>98.64</b>  | <b>11.08</b> | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>59%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| JF116                   | 121.0            | 148.4        | 210.9        | 720         | 2                 | 11        | 13    | 67.40       | 10.20      | 16.00     | 77.60         | 49.42         | 5.97         | 95%            | 95%            | 52%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF117                   | 88.8             | 122.0        | 213.0        | 720         | 2                 | 10        | 12    | 71.20       | 6.20       | 15.00     | 77.40         | 53.55         | 6.45         | 95%            | 95%            | 47%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF118                   | 87.2             | 125.0        | 208.0        | 720         | 3                 | 8         | 11    | 76.70       | 1.00       | 16.30     | 77.70         | 58.39         | 7.06         | 95%            | 95%            | 46%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF119                   | 40.1             | 45.7         | 20.8         | 720         | 1                 | 7         | 8     | 25.70       | 43.20      | 26.00     | 68.90         | 81.39         | 8.61         | 95%            | 95%            | 9%         | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Frontonero</b>    | <b>337.1</b>     | <b>441.1</b> | <b>652.7</b> | <b>2880</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>301.60</b> | <b>60.69</b>  | <b>7.02</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>38%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| JE045                   | 136.9            | 81.2         | 177.5        | 720         | 1                 | 4         | 5     | 48.70       | 0.00       | 28.00     | 48.70         | 134.26        | 9.74         | 95%            | 95%            | 47%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE046                   | 160.5            | 37.0         | 139.3        | 720         | 2                 | 12        | 14    | 62.60       | 6.50       | 17.60     | 69.10         | 46.49         | 4.94         | 95%            | 95%            | 46%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE048                   | 139.2            | 45.6         | 157.4        | 720         | 2                 | 8         | 10    | 57.40       | 19.40      | 14.00     | 76.80         | 64.32         | 7.68         | 95%            | 95%            | 46%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE049                   | 139.0            | 30.5         | 81.1         | 720         | 1                 | 8         | 9     | 39.50       | 10.50      | 17.20     | 50.00         | 74.44         | 5.56         | 95%            | 95%            | 33%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Empernador</b>    | <b>575.6</b>     | <b>194.3</b> | <b>555.3</b> | <b>2880</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>244.60</b> | <b>79.88</b>  | <b>6.98</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>43%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| JL122                   | 37.0             | 27.8         | 79.6         | 720         | 0                 | 5         | 5     | 14.90       | 33.60      | 23.30     | 48.50         | 134.30        | 9.70         | 95%            | 95%            | 17%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Taladro largo</b> | <b>37.0</b>      | <b>27.8</b>  | <b>79.6</b>  | <b>720</b>  |                   |           |       |             |            |           | <b>48.50</b>  | <b>134.30</b> | <b>9.70</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>17%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| DR004                   | 213.7            | 54.0         |              | 720         | 1                 | 13        | 14    | 258.20      | 0.00       | 9.60      | 258.20        | 32.99         | 18.44        | 95%            | 95%            | 46%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| DR005                   | 185.0            | 27.0         |              | 720         | 1                 | 5         | 6     | 62.00       | 0.00       | 5.00      | 62.00         | 109.67        | 10.33        | 95%            | 95%            | 28%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Scaler</b>           | <b>398.7</b>     | <b>81.0</b>  |              | <b>1440</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>320.20</b> | <b>71.33</b>  | <b>14.39</b> | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>37%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| TL001                   | 310.4            |              |              | 720         | 1                 | 4         | 5     | 32.60       | 140.00     | 18.20     | 172.60        | 109.48        | 34.52        | 95%            | 95%            | 57%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SL053                   | 199.5            |              |              | 720         | 1                 | 3         | 4     | 35.10       | 0.00       | 25.20     | 35.10         | 171.23        | 8.78         | 95%            | 95%            | 29%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SL052                   | 164.3            |              |              | 720         | 1                 | 5         | 6     | 70.70       | 3.50       | 20.70     | 74.20         | 107.63        | 12.37        | 95%            | 95%            | 25%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Auxiliares</b>       | <b>674.2</b>     |              |              | <b>2160</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>281.90</b> | <b>129.45</b> | <b>18.55</b> | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>37%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| MT001                   | 250.2            |              |              | 720         | 1                 | 6         | 7     | 253.30      | 0.00       | 18.10     | 253.30        | 66.67         | 36.19        | 95%            | 95%            | 54%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| MC002                   | 360.4            |              |              | 720         | 2                 | 7         | 9     | 99.80       | 1.00       | 14.00     | 100.80        | 68.80         | 0.00         | 95%            | 95%            | 0%         | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Mantto Vías</b>      | <b>610.6</b>     |              |              | <b>1440</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>354.10</b> | <b>67.74</b>  | <b>18.09</b> | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>27%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| <b>TOTAL GENERAL</b>    |                  |              |              |             |                   |           |       |             |            |           |               | <b>91.72</b>  | <b>12.26</b> | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>37%</b> |            |            |             |             |

INICIO:

24-Set

FIN:

24-Oct PERIODO: OCTUBRE 2024

## Equipment Operational Performance Summary

| Equipment               | HORAS TRABAJADAS |              |              |             | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |               | Performance   |              |                |                |            | Target     |            |             |             |
|-------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|---------------|---------------|--------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
|                         | ENG-HRS          | PERC-HRS     | CMP-HRS      | Hrs Prog.   | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total         | MTBF          | MTTR         | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%)   | Meta Avail | Meta Util  | MTBF        | MTTR        |
| SC600                   | 396.9            |              |              | 744         | 2                 | 8         | 10    | 69.30       | 21.50      | 13.40     | 90.80         | 65.32         | 9.08         | 95%            | 95%            | 61%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC601                   | 405.0            |              |              | 744         | 2                 | 4         | 6     | 80.50       | 0.00       | 17.60     | 80.50         | 110.58        | 13.42        | 95%            | 95%            | 61%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC602                   | 403.4            |              |              | 744         | 3                 | 3         | 6     | 60.40       | 0.00       | 19.60     | 60.40         | 113.93        | 10.07        | 95%            | 95%            | 59%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC603                   | 440.9            |              |              | 744         | 4                 | 4         | 8     | 45.90       | 3.30       | 16.70     | 49.20         | 86.85         | 6.15         | 95%            | 95%            | 63%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Scooptram</b>        | <b>1646.2</b>    |              |              | <b>2976</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>280.90</b> | <b>94.17</b>  | <b>9.68</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>61%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| JF116                   | 136.0            | 155.6        | 224.3        | 744         | 2                 | 8         | 10    | 60.20       | 1.50       | 20.10     | 61.70         | 68.23         | 6.17         | 95%            | 95%            | 53%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF117                   | 83.0             | 128.2        | 210.4        | 744         | 3                 | 8         | 11    | 56.10       | 25.00      | 18.00     | 81.10         | 60.26         | 7.37         | 95%            | 95%            | 44%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF118                   | 85.1             | 144.1        | 227.4        | 744         | 3                 | 7         | 10    | 46.70       | 9.30       | 19.60     | 56.00         | 68.80         | 5.60         | 95%            | 95%            | 45%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF119                   | 94.5             | 123.3        | 234.8        | 744         | 2                 | 7         | 9     | 40.20       | 13.50      | 23.80     | 53.70         | 76.70         | 5.97         | 95%            | 95%            | 48%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Frontonero</b>    | <b>398.6</b>     | <b>551.2</b> | <b>896.9</b> | <b>2976</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>252.50</b> | <b>68.50</b>  | <b>6.28</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>48%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| JE045                   | 88.7             | 18.3         | 65.0         | 744         | 2                 | 5         | 7     | 24.10       | 320.80     | 9.40      | 344.90        | 57.01         | 49.27        | 95%            | 95%            | 39%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE046                   | 146.6            | 42.5         | 128.2        | 744         | 1                 | 5         | 6     | 24.70       | 6.30       | 19.30     | 31.00         | 118.83        | 5.17         | 95%            | 95%            | 39%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE048                   | 93.7             | 28.7         | 144.0        | 744         | 1                 | 7         | 8     | 51.80       | 13.60      | 15.20     | 65.40         | 84.83         | 8.18         | 95%            | 95%            | 35%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE049                   | 169.9            | 37.5         | 126.5        | 744         | 2                 | 6         | 8     | 53.00       | 7.20       | 15.20     | 60.20         | 85.48         | 7.53         | 95%            | 95%            | 43%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Empenador</b>     | <b>498.9</b>     | <b>127.0</b> | <b>463.7</b> | <b>2976</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>501.50</b> | <b>86.54</b>  | <b>17.53</b> | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>39%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| JL122                   | 34.0             | 75.0         | 192.4        | 744         | 1                 | 11        | 12    | 50.20       | 7.20       | 20.20     | 57.40         | 57.22         | 4.78         | 95%            | 95%            | 33%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Taladro largo</b> | <b>34.0</b>      | <b>75.0</b>  | <b>192.4</b> | <b>744</b>  |                   |           |       |             |            |           | <b>57.40</b>  | <b>57.22</b>  | <b>4.78</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>33%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| DR004                   | 265.1            | 49.0         |              | 744         | 1                 | 10        | 11    | 88.30       | 0.00       | 15.10     | 88.30         | 59.61         | 8.03         | 95%            | 95%            | 40%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| DR005                   | 165.0            | 25.0         |              | 744         | 1                 | 4         | 5     | 20.00       | 0.00       | 0.00      | 20.00         | 144.80        | 4.00         | 95%            | 95%            | 23%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Scaler</b>           | <b>430.1</b>     | <b>74.0</b>  |              | <b>1488</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>108.30</b> | <b>102.20</b> | <b>6.01</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>32%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| TL001                   | 425.8            |              |              | 744         | 2                 | 5         | 7     | 35.70       | 0.00       | 21.90     | 35.70         | 101.19        | 5.10         | 95%            | 95%            | 60%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SL053                   | 135.4            |              |              | 744         | 1                 | 6         | 7     | 87.50       | 7.00       | 25.80     | 94.50         | 92.79         | 13.50        | 95%            | 95%            | 21%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SL052                   | 206.3            |              |              | 744         | 3                 | 3         | 6     | 55.60       | 0.00       | 25.00     | 55.60         | 114.73        | 9.27         | 95%            | 95%            | 30%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Auxiliares</b>       | <b>767.5</b>     |              |              | <b>2232</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>185.80</b> | <b>102.90</b> | <b>9.29</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>37%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| MT001                   | 110.3            |              |              | 744         | 0                 | 2         | 2     | 2.00        | 0.00       | 6.00      | 2.00          | 371.00        | 1.00         | 95%            | 95%            | 15%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| MC002                   | 370.6            |              |              | 744         | 2                 | 8         | 10    | 88.60       | 14.10      | 17.10     | 102.70        | 64.13         | 0.00         | 95%            | 95%            | 0%         | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Mantto Vías</b>      | <b>480.9</b>     |              |              | <b>1488</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>104.70</b> | <b>217.57</b> | <b>0.50</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>7%</b>  | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| <b>TOTAL GENERAL</b>    |                  |              |              |             |                   |           |       |             |            |           |               | <b>104.16</b> | <b>7.73</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>37%</b> |            |            |             |             |

INICIO: 25-Oct FIN: 23-Nov PERIODO: NOVIEMBRE 2024

## Equipment Operational Performance Summary

|                  | HORAS TRABAJADAS |              |             |              | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |               |           |        | Performance |        |                   |                   |          |               | Target       |      |      |  |
|------------------|------------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|-----------|-------|-------------|---------------|-----------|--------|-------------|--------|-------------------|-------------------|----------|---------------|--------------|------|------|--|
| Equipment        | ENG-<br>HRS      | PERC-<br>HRS | CMP-<br>HRS | Hrs<br>Prog. | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations    | Opportune | Total  | MTBF        | MTTR   | Avail (%)<br>Phys | Avail (%)<br>Mech | Util (%) | Meta<br>Avail | Meta<br>Util | MTBF | MTTR |  |
| SC600            | 410.3            |              |             | 720          | 2                 | 3         | 5     | 53.40       | 3.60          | 0.00      | 57.00  | 132.60      | 11.40  | 95%               | 95%               | 62%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| SC601            | 446.6            |              |             | 720          | 2                 | 3         | 5     | 48.20       | 0.00          | 0.20      | 48.20  | 134.36      | 9.64   | 95%               | 95%               | 66%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| SC602            | 385.7            |              |             | 720          | 4                 | 3         | 7     | 54.30       | 0.50          | 0.00      | 54.80  | 95.03       | 7.83   | 95%               | 95%               | 58%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| SC603            | 290.6            |              |             | 720          | 1                 | 2         | 3     | 11.30       | 0.00          | 0.00      | 11.30  | 236.23      | 3.77   | 95%               | 95%               | 41%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| Scooptram        | 1533.2           |              |             | 2880         |                   |           |       |             |               |           | 171.30 | 149.56      | 8.16   | 95%               | 95%               | 57%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| JF116            | 114.0            | 131.4        | 191.8       | 720          | 3                 | 8         | 11    | 62.90       | 5.00          | 0.00      | 67.90  | 59.28       | 6.17   | 95%               | 95%               | 47%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| JF117            | 94.3             | 121.7        | 211.7       | 720          | 2                 | 8         | 10    | 59.20       | 7.70          | 0.00      | 66.90  | 65.31       | 6.69   | 95%               | 95%               | 47%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| JF118            | 81.2             | 141.6        | 232.1       | 720          | 2                 | 7         | 9     | 54.40       | 4.50          | 0.00      | 58.90  | 73.46       | 6.54   | 95%               | 95%               | 47%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| JF119            | 107.1            | 167.1        | 233.4       | 720          | 2                 | 7         | 9     | 58.10       | 7.10          | 0.00      | 65.20  | 72.76       | 7.24   | 95%               | 95%               | 52%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| J. Frontonero    | 396.6            | 561.8        | 869.0       | 2880         |                   |           |       |             |               |           | 258.90 | 67.70       | 6.66   | 95%               | 95%               | 48%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| JE045            | 118.9            | 28.4         | 105.6       | 720          | 1                 | 13        | 14    | 239.90      | 4.10          | 0.00      | 244.00 | 34.00       | 17.43  | 95%               | 95%               | 47%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| JE046            | 131.9            | 40.1         | 128.4       | 720          | 2                 | 6         | 8     | 100.50      | 9.90          | 0.00      | 110.40 | 76.20       | 13.80  | 95%               | 95%               | 43%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| JE048            | 115.0            | 33.0         | 105.0       | 720          | 1                 | 6         | 7     | 62.40       | 11.30         | 0.00      | 73.70  | 92.33       | 10.53  | 95%               | 95%               | 34%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| JE049            | 163.8            | 38.0         | 136.4       | 720          | 2                 | 5         | 7     | 65.60       | 5.50          | 0.00      | 71.10  | 92.70       | 10.16  | 95%               | 95%               | 46%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| J. Empernador    | 529.6            | 139.5        | 475.4       | 2880         |                   |           |       |             |               |           | 499.20 | 73.81       | 12.98  | 95%               | 95%               | 43%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| JL122            | 37.0             | 106.9        | 224.2       | 720          | 1                 | 10        | 11    | 79.70       | 22.50         | 0.00      | 102.20 | 56.16       | 9.29   | 95%               | 95%               | 42%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| J. Taladro largo | 37.0             | 106.9        | 224.2       | 720          |                   |           |       |             |               |           | 102.20 | 56.16       | 9.29   | 95%               | 95%               | 42%      | 85%           | 40%          | 14.0 | 10.0 |  |
| DR004            | 246.1            | 50.1         |             | 720          | 0                 | 13        | 13    | 186.60      | 38.50         | 0.00      | 225.10 | 38.07       | 17.32  | 95%               | 95%               | 50%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| DR005            | 202.0            | 31.2         |             | 720          | 0                 | 5         | 5     | 15.00       | 5.00          | 0.00      | 20.00  | 140.00      | 4.00   | 95%               | 95%               | 29%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| Scaler           | 448.1            | 81.3         |             | 1440         |                   |           |       |             |               |           | 245.10 | 89.03       | 10.66  | 95%               | 95%               | 39%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| TL001            | 420.5            |              |             | 720          | 2                 | 3         | 5     | 17.80       | 0.00          | 0.00      | 17.80  | 140.44      | 3.56   | 95%               | 95%               | 60%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| SL053            | 116.1            |              |             | 720          | 1                 | 2         | 3     | 201.10      | 0.00          | 0.00      | 201.10 | 172.97      | 67.03  | 95%               | 95%               | 22%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| SL052            | 220.6            |              |             | 720          | 1                 | 3         | 4     | 6.80        | 2.00          | 0.00      | 8.80   | 177.80      | 2.20   | 95%               | 95%               | 31%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| Auxiliares       | 757.2            |              |             | 2160         |                   |           |       |             |               |           | 227.70 | 163.74      | 24.26  | 95%               | 95%               | 38%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| MT001            | 418.0            |              |             | 720          | 2                 | 3         | 5     | 56.20       | 0.00          | 0.00      | 56.20  | 132.76      | 11.24  | 95%               | 95%               | 63%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| MC002            | 314.5            |              |             | 720          | 3                 | 4         | 7     | 58.10       | 115.00        | 0.00      | 173.10 | 78.13       | 0.00   | 95%               | 95%               | 0%       | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
| Manito Vías      | 732.5            |              |             | 1440         |                   |           |       |             |               |           | 229.30 | 105.44      | 5.62   | 95%               | 95%               | 31%      | 85%           | 55%          | 40.0 | 10.0 |  |
|                  |                  |              |             |              |                   |           |       |             | TOTAL GENERAL |           |        |             | 100.78 | 11.09             | 95%               | 95%      | 43%           |              |      |      |  |

# Equipment Operational Performance Summary

| Equipment        | HORAS TRABAJADAS |          |         |           | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |        | Performance |        |                |                |          | Target     |           |      |      |
|------------------|------------------|----------|---------|-----------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|--------|-------------|--------|----------------|----------------|----------|------------|-----------|------|------|
|                  | ENG-HRS          | PERC-HRS | CMP-HRS | Hrs Prog. | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total  | MTBF        | MTTR   | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%) | Meta Avail | Meta Util | MTBF | MTTR |
| SC600            | 437.0            |          |         | 744       | 2                 | 6         | 8     | 53.60       | 9.00       | 0.00      | 62.60  | 85.18       | 7.83   | 95%            | 95%            | 64%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC601            | 437.8            |          |         | 744       | 3                 | 4         | 7     | 57.20       | 0.50       | 0.00      | 57.70  | 98.04       | 8.24   | 95%            | 95%            | 64%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC602            | 386.6            |          |         | 744       | 3                 | 5         | 8     | 29.00       | 78.00      | 0.00      | 107.00 | 79.63       | 13.38  | 95%            | 95%            | 61%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC603            | 457.8            |          |         | 744       | 3                 | 4         | 7     | 48.00       | 0.00       | 0.00      | 48.00  | 99.43       | 6.86   | 95%            | 95%            | 66%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scooptram        | 1719.2           |          |         | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 275.30 | 90.57       | 9.08   | 95%            | 95%            | 64%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| JF116            | 99.9             | 112.4    | 181.8   | 744       | 4                 | 5         | 9     | 52.10       | 1.50       | 0.00      | 53.60  | 76.71       | 5.96   | 95%            | 95%            | 41%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF117            | 33.8             | 69.7     | 104.9   | 744       | 2                 | 7         | 9     | 27.70       | 5.50       | 0.30      | 33.20  | 78.98       | 3.69   | 95%            | 95%            | 20%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF118            | 89.4             | 149.6    | 210.0   | 744       | 4                 | 4         | 8     | 43.10       | 3.30       | 0.30      | 46.40  | 87.20       | 5.80   | 95%            | 95%            | 43%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF119            | 86.7             | 157.8    | 235.7   | 744       | 2                 | 6         | 8     | 41.40       | 2.20       | 0.00      | 43.60  | 87.55       | 5.45   | 95%            | 95%            | 46%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Frontonero    | 309.8            | 489.5    | 732.4   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 176.80 | 82.61       | 5.22   | 95%            | 95%            | 37%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE045            | 125.7            | 39.4     | 115.9   | 744       | 2                 | 10        | 12    | 189.90      | 2.60       | 0.00      | 192.50 | 45.96       | 16.04  | 95%            | 95%            | 44%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE046            | 115.8            | 36.6     | 101.9   | 744       | 4                 | 7         | 11    | 114.00      | 7.00       | 0.50      | 121.00 | 56.64       | 11.00  | 95%            | 95%            | 35%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE048            | 94.4             | 22.2     | 83.7    | 744       | 3                 | 4         | 7     | 182.50      | 48.20      | 0.00      | 230.70 | 73.33       | 32.96  | 95%            | 95%            | 35%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE049            | 128.6            | 38.8     | 120.0   | 744       | 2                 | 5         | 7     | 30.70       | 5.60       | 0.30      | 36.30  | 101.10      | 5.19   | 95%            | 95%            | 35%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Empernador    | 464.5            | 137.0    | 421.5   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 580.50 | 69.26       | 16.30  | 95%            | 95%            | 37%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JL122            | 23.0             | 51.4     | 132.8   | 744       | 3                 | 8         | 11    | 79.30       | 146.30     | 0.00      | 225.60 | 47.13       | 20.51  | 95%            | 95%            | 30%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Taladro largo | 23.0             | 51.4     | 132.8   | 744       |                   |           |       |             |            |           | 225.60 | 47.13       | 20.51  | 95%            | 95%            | 30%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| DR004            | 253.4            | 41.6     |         | 744       | 1                 | 13        | 14    | 108.30      | 0.00       | 0.00      | 108.30 | 45.41       | 7.74   | 95%            | 95%            | 40%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| DR005            | 167.0            | 32.0     |         | 744       | 1                 | 4         | 5     | 27.00       | 0.00       | 0.00      | 27.00  | 143.40      | 5.40   | 95%            | 95%            | 23%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scaler           | 420.4            | 73.6     |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 135.30 | 94.40       | 6.57   | 95%            | 95%            | 32%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TL001            | 70.8             |          |         | 744       | 1                 | 3         | 4     | 622.60      | 0.00       | 0.00      | 622.60 | 30.35       | 155.65 | 95%            | 95%            | 58%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL053            | 221.1            |          |         | 744       | 1                 | 4         | 5     | 21.50       | 0.00       | 0.00      | 21.50  | 144.50      | 4.30   | 95%            | 95%            | 31%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL052            | 261.3            |          |         | 744       | 3                 | 3         | 6     | 24.40       | 0.00       | 0.00      | 24.40  | 119.93      | 4.07   | 95%            | 95%            | 36%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Auxiliares       | 553.2            |          |         | 2232      |                   |           |       |             |            |           | 668.50 | 98.26       | 54.67  | 95%            | 95%            | 42%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MT001            | 322.3            |          |         | 744       | 2                 | 6         | 8     | 58.90       | 3.00       | 0.30      | 61.90  | 85.26       | 7.74   | 95%            | 95%            | 47%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MC002            | 120.0            |          |         | 744       | 1                 | 4         | 5     | 24.00       | 12.00      | 0.00      | 36.00  | 141.60      | 0.00   | 95%            | 95%            | 0%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Manito Vías      | 442.3            |          |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 97.90  | 113.43      | 3.87   | 95%            | 95%            | 24%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TOTAL GENERAL    |                  |          |         |           |                   |           |       |             |            |           |        | 85.09       | 16.60  | 95%            | 95%            | 38%      |            |           |      |      |

INICIO: 25-Dic FIN: 24-Ene PERIODO: ENERO 2025

## Equipment Operational Performance Summary

| Equipment               | HORAS TRABAJADAS |              |              |             | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |               | Performance   |              |                |                |            | Target     |            |             |             |
|-------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|---------------|---------------|--------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
|                         | ENG-HRS          | PERC-HRS     | CMP-HRS      | Hrs Prog.   | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total         | MTBF          | MTTR         | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%)   | Meta Avail | Meta Util  | MTBF        | MTTR        |
| SC600                   | 425.9            |              |              | 744         | 3                 | 5         | 8     | 76.70       | 10.00      | 0.00      | 86.70         | 82.16         | 10.84        | 95%            | 95%            | 65%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC601                   | 475.5            |              |              | 744         | 3                 | 8         | 11    | 43.70       | 9.10       | 0.00      | 52.80         | 62.84         | 4.80         | 95%            | 95%            | 69%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC602                   | 446.8            |              |              | 744         | 3                 | 8         | 11    | 69.40       | 11.80      | 0.00      | 81.20         | 60.25         | 7.38         | 95%            | 95%            | 67%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC603                   | 510.2            |              |              | 744         | 1                 | 3         | 4     | 19.70       | 3.00       | 0.00      | 22.70         | 180.33        | 5.68         | 95%            | 95%            | 71%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Scooptram</b>        | <b>1858.4</b>    |              |              | <b>2976</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>243.40</b> | <b>96.39</b>  | <b>7.17</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>68%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| JF116                   | 101.9            | 115.2        | 186.2        | 744         | 4                 | 5         | 9     | 44.10       | 2.80       | 0.00      | 46.90         | 77.46         | 5.21         | 95%            | 95%            | 41%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF117                   | 62.2             | 93.5         | 140.2        | 744         | 1                 | 6         | 7     | 50.00       | 3.70       | 0.00      | 53.70         | 98.61         | 7.67         | 95%            | 95%            | 29%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF118                   | 100.3            | 154.1        | 210.9        | 744         | 4                 | 5         | 9     | 34.20       | 6.30       | 0.00      | 40.50         | 78.17         | 4.50         | 95%            | 95%            | 44%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF119                   | 94.5             | 157.9        | 202.0        | 744         | 2                 | 7         | 9     | 32.10       | 5.80       | 0.00      | 37.90         | 78.46         | 4.21         | 95%            | 95%            | 42%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Frontonero</b>    | <b>358.9</b>     | <b>520.7</b> | <b>739.3</b> | <b>2976</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>179.00</b> | <b>83.17</b>  | <b>5.40</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>39%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| JE045                   | 110.4            | 30.8         | 87.6         | 744         | 3                 | 7         | 10    | 89.50       | 4.80       | 0.00      | 94.30         | 64.97         | 9.43         | 95%            | 95%            | 30%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE046                   | 108.2            | 28.7         | 63.5         | 744         | 1                 | 7         | 8     | 66.50       | 3.80       | 0.00      | 70.30         | 84.21         | 8.79         | 95%            | 95%            | 25%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE048                   | 138.3            | 28.3         | 99.2         | 744         | 3                 | 6         | 9     | 43.50       | 58.30      | 0.00      | 101.80        | 71.36         | 11.31        | 95%            | 95%            | 37%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE049                   | 85.9             | 16.0         | 69.0         | 744         | 1                 | 7         | 8     | 16.70       | 12.20      | 0.00      | 28.90         | 89.39         | 3.61         | 95%            | 95%            | 22%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Empernador</b>    | <b>442.8</b>     | <b>103.8</b> | <b>319.3</b> | <b>2976</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>295.30</b> | <b>77.48</b>  | <b>8.29</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>29%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| JL122                   | 55.0             | 87.2         | 178.4        | 744         | 3                 | 13        | 16    | 96.20       | 19.40      | 0.00      | 115.60        | 39.28         | 7.23         | 95%            | 95%            | 37%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Taladro largo</b> | <b>55.0</b>      | <b>87.2</b>  | <b>178.4</b> | <b>744</b>  |                   |           |       |             |            |           | <b>115.60</b> | <b>39.28</b>  | <b>7.23</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>37%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| DR004                   | 166.2            | 25.9         |              | 744         | 3                 | 10        | 13    | 136.40      | 4.00       | 0.00      | 140.40        | 46.43         | 10.80        | 95%            | 95%            | 28%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| DR005                   | 275.3            | 54.8         |              | 744         | 2                 | 8         | 10    | 49.30       | 0.00       | 0.00      | 49.30         | 69.47         | 4.93         | 95%            | 95%            | 40%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Scaler</b>           | <b>441.5</b>     | <b>80.7</b>  |              | <b>1488</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>189.70</b> | <b>57.95</b>  | <b>7.87</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>34%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| TL001                   | 340.0            |              |              | 744         | 2                 | 3         | 5     | 181.80      | 2.50       | 0.00      | 184.30        | 111.94        | 36.86        | 95%            | 95%            | 61%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SL053                   | 159.7            |              |              | 744         | 2                 | 7         | 9     | 46.20       | 17.00      | 0.00      | 63.20         | 75.64         | 7.02         | 95%            | 95%            | 23%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SL052                   | 287.2            |              |              | 744         | 1                 | 6         | 7     | 70.20       | 1.00       | 0.00      | 71.20         | 96.11         | 10.17        | 95%            | 95%            | 43%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Auxiliares</b>       | <b>786.9</b>     |              |              | <b>2232</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>318.70</b> | <b>94.57</b>  | <b>18.02</b> | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>42%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| MT001                   | 414.6            |              |              | 744         | 2                 | 3         | 5     | 35.10       | 1.20       | 0.00      | 36.30         | 141.54        | 7.26         | 95%            | 95%            | 59%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| MC002                   | 225.0            |              |              | 744         | 1                 | 4         | 5     | 50.00       | 24.00      | 0.00      | 74.00         | 134.00        | 0.00         | 95%            | 95%            | 0%         | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Manito Vías</b>      | <b>639.6</b>     |              |              | <b>1488</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>110.30</b> | <b>137.77</b> | <b>3.63</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>29%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| <b>TOTAL GENERAL</b>    |                  |              |              |             |                   |           |       |             |            |           |               | <b>83.80</b>  | <b>8.23</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>40%</b> |            |            |             |             |

INICIO: 25-Ene FIN: 21-Feb PERIODO: FEBRERO 2025

## Equipment Operational Performance Summary

| Equipment               | HORAS TRABAJADAS |              |              |             | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |               | Performance   |              |                |                |            | Target     |            |             |             |
|-------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|---------------|---------------|--------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
|                         | ENG-HRS          | PERC-HRS     | CMP-HRS      | Hrs Prog.   | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total         | MTBF          | MTTR         | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%)   | Meta Avail | Meta Util  | MTBF        | MTTR        |
| SC600                   | 425.9            |              |              | 672         | 2                 | 3         | 5     | 53.10       | 0.00       | 0.00      | 53.10         | 123.78        | 10.62        | 95%            | 95%            | 69%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC601                   | 475.5            |              |              | 672         | 1                 | 3         | 4     | 30.40       | 2.30       | 0.00      | 32.70         | 159.83        | 8.18         | 95%            | 95%            | 74%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC602                   | 446.8            |              |              | 672         | 3                 | 9         | 12    | 71.50       | 15.10      | 0.00      | 86.60         | 48.78         | 7.22         | 95%            | 95%            | 76%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SC603                   | 510.2            |              |              | 672         | 2                 | 4         | 6     | 60.40       | 0.80       | 0.00      | 61.20         | 101.80        | 10.20        | 95%            | 95%            | 84%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Scooptram</b>        | <b>1858.4</b>    |              |              | <b>2688</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>233.60</b> | <b>108.55</b> | <b>9.05</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>76%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| JF116                   | 101.9            | 115.2        | 186.2        | 672         | 2                 | 6         | 8     | 50.60       | 4.70       | 0.00      | 55.30         | 77.09         | 6.91         | 95%            | 95%            | 47%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF117                   | 62.2             | 93.5         | 140.2        | 672         | 2                 | 7         | 9     | 25.60       | 26.50      | 0.00      | 52.10         | 68.88         | 5.79         | 95%            | 95%            | 33%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF118                   | 100.3            | 154.1        | 210.9        | 672         | 2                 | 7         | 9     | 25.40       | 15.10      | 0.00      | 40.50         | 70.17         | 4.50         | 95%            | 95%            | 49%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JF119                   | 94.5             | 157.9        | 202.0        | 672         | 2                 | 5         | 7     | 42.30       | 1.70       | 0.00      | 44.00         | 89.71         | 6.29         | 95%            | 95%            | 47%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Frontonero</b>    | <b>358.9</b>     | <b>520.7</b> | <b>739.3</b> | <b>2688</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>191.90</b> | <b>76.46</b>  | <b>5.87</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>44%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| JE045                   | 110.4            | 30.8         | 87.6         | 672         | 1                 | 12        | 13    | 71.20       | 5.40       | 0.00      | 76.60         | 45.80         | 5.89         | 95%            | 95%            | 33%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE046                   | 108.2            | 28.7         | 63.5         | 672         | 1                 | 3         | 4     | 30.80       | 2.50       | 0.00      | 33.30         | 159.68        | 8.33         | 95%            | 95%            | 27%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE048                   | 138.3            | 28.3         | 99.2         | 672         | 1                 | 11        | 12    | 43.00       | 18.10      | 0.00      | 61.10         | 50.91         | 5.09         | 95%            | 95%            | 39%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| JE049                   | 85.9             | 16.0         | 69.0         | 672         | 3                 | 8         | 11    | 100.70      | 9.00       | 0.00      | 109.70        | 51.12         | 9.97         | 95%            | 95%            | 28%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Empenador</b>     | <b>442.8</b>     | <b>103.8</b> | <b>319.3</b> | <b>2688</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>280.70</b> | <b>76.88</b>  | <b>7.32</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>32%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| JL122                   | 55.0             | 87.2         | 178.4        | 672         | 2                 | 12        | 14    | 73.60       | 10.50      | 0.00      | 84.10         | 41.99         | 6.01         | 95%            | 95%            | 40%        | 85%        | 40%        | 14.0        | 10.0        |
| <b>J. Taladro largo</b> | <b>55.0</b>      | <b>87.2</b>  | <b>178.4</b> | <b>672</b>  |                   |           |       |             |            |           | <b>84.10</b>  | <b>41.99</b>  | <b>6.01</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>40%</b> | <b>85%</b> | <b>40%</b> | <b>14.0</b> | <b>10.0</b> |
| DR004                   | 166.2            | 25.9         |              | 672         | 1                 | 21        | 22    | 359.60      | 28.90      | 0.00      | 388.50        | 12.89         | 17.66        | 95%            | 95%            | 59%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| DR005                   | 275.3            | 54.8         |              | 672         | 5                 | 14        | 19    | 190.00      | 4.80       | 0.00      | 194.80        | 25.12         | 10.25        | 95%            | 95%            | 58%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Scaler</b>           | <b>441.5</b>     | <b>80.7</b>  |              | <b>1344</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>583.30</b> | <b>19.00</b>  | <b>13.96</b> | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>58%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| TL001                   | 340.0            |              |              | 672         | 3                 | 4         | 7     | 41.00       | 0.00       | 0.00      | 41.00         | 90.14         | 5.86         | 95%            | 95%            | 54%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SL053                   | 159.7            |              |              | 672         | 1                 | 2         | 3     | 19.80       | 0.00       | 0.00      | 19.80         | 217.40        | 6.60         | 95%            | 95%            | 24%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| SL052                   | 287.2            |              |              | 672         | 1                 | 7         | 8     | 111.00      | 1.00       | 0.00      | 112.00        | 70.00         | 14.00        | 95%            | 95%            | 51%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Auxiliares</b>       | <b>786.9</b>     |              |              | <b>2016</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>172.80</b> | <b>125.85</b> | <b>8.82</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>43%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| MT001                   | 414.6            |              |              | 672         | 1                 | 8         | 9     | 59.50       | 3.50       | 0.00      | 63.00         | 67.67         | 7.00         | 95%            | 95%            | 68%        | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| MC002                   | 225.0            |              |              | 672         | 1                 | 9         | 10    | 15.80       | 20.00      | 0.00      | 35.80         | 63.62         | 0.00         | 95%            | 95%            | 0%         | 85%        | 55%        | 40.0        | 10.0        |
| <b>Manito Vías</b>      | <b>639.6</b>     |              |              | <b>1344</b> |                   |           |       |             |            |           | <b>98.80</b>  | <b>65.64</b>  | <b>3.50</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>34%</b> | <b>85%</b> | <b>55%</b> | <b>40.0</b> | <b>10.0</b> |
| <b>TOTAL GENERAL</b>    |                  |              |              |             |                   |           |       |             |            |           |               | <b>73.48</b>  | <b>7.79</b>  | <b>95%</b>     | <b>95%</b>     | <b>47%</b> |            |            |             |             |

INICIO: 22-Feb FIN: 24-Mar PERIODO: MARZO 2025

## Equipment Operational Performance Summary

| Equipment        | HORAS TRABAJADAS |          |         |           | Events(Stoppages) |           |       | Downtime    |            |           |        | Performance |       |                |                |          | Target     |           |      |      |
|------------------|------------------|----------|---------|-----------|-------------------|-----------|-------|-------------|------------|-----------|--------|-------------|-------|----------------|----------------|----------|------------|-----------|------|------|
|                  | ENG-HRS          | PERC-HRS | CMP-HRS | Hrs Prog. | Planned           | Breakdown | Total | Maintenance | Operations | Opportune | Total  | MTBF        | MTTR  | Avail (%) Phys | Avail (%) Mech | Util (%) | Meta Avail | Meta Util | MTBF | MTTR |
| SC600            | 451.2            |          |         | 744       | 1                 | 2         | 3     | 35.20       | 0.00       | 0.00      | 35.20  | 236.27      | 11.73 | 95%            | 95%            | 64%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC601            | 485.3            |          |         | 744       | 2                 | 2         | 4     | 41.60       | 3.00       | 0.00      | 44.60  | 174.85      | 11.15 | 95%            | 95%            | 69%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC602            | 442.1            |          |         | 744       | 1                 | 5         | 6     | 65.40       | 4.00       | 0.00      | 69.40  | 112.43      | 11.57 | 95%            | 95%            | 66%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SC603            | 425.1            |          |         | 744       | 1                 | 6         | 7     | 60.40       | 0.00       | 0.00      | 60.40  | 97.66       | 8.63  | 95%            | 95%            | 62%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scooptram        | 1803.7           |          |         | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 209.60 | 155.30      | 10.77 | 95%            | 95%            | 65%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| JF116            | 95.2             | 121.1    | 201.1   | 744       | 1                 | 6         | 7     | 35.40       | 2.00       | 0.00      | 37.40  | 100.94      | 5.34  | 95%            | 95%            | 42%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF117            | 89.2             | 135.6    | 197.3   | 744       | 1                 | 5         | 6     | 32.10       | 4.00       | 0.00      | 36.10  | 117.98      | 6.02  | 95%            | 95%            | 40%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF118            | 98.1             | 132.2    | 214.2   | 744       | 1                 | 5         | 6     | 46.20       | 1.00       | 0.00      | 47.20  | 116.13      | 7.87  | 95%            | 95%            | 45%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JF119            | 81.3             | 176.2    | 235.8   | 744       | 1                 | 4         | 5     | 41.26       | 3.00       | 0.00      | 44.26  | 139.95      | 8.85  | 95%            | 95%            | 45%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Frontonero    | 363.8            | 565.1    | 848.4   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 164.96 | 118.75      | 7.02  | 95%            | 95%            | 43%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE045            | 162.1            | 49.1     | 115.1   | 744       | 2                 | 11        | 13    | 68.50       | 3.00       | 20.00     | 71.50  | 51.73       | 5.50  | 95%            | 95%            | 41%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE046            | 53.2             | 14.2     | 43.5    | 744       | 2                 | 8         | 10    | 29.50       | 4.00       | 0.00      | 33.50  | 71.05       | 3.35  | 95%            | 95%            | 14%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE048            | 133.4            | 33.6     | 102.6   | 744       | 2                 | 0         | 2     | 42.70       | 9.00       | 0.00      | 51.70  | 346.15      | 25.85 | 95%            | 95%            | 34%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JE049            | 109.5            | 42.1     | 150.2   | 744       | 1                 | 4         | 5     | 99.50       | 2.00       | 0.00      | 101.50 | 128.50      | 20.30 | 95%            | 95%            | 40%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Empernador    | 458.2            | 139.0    | 411.4   | 2976      |                   |           |       |             |            |           | 258.20 | 149.36      | 13.75 | 95%            | 95%            | 32%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| JL122            | 54.1             | 85.3     | 159.4   | 744       | 1                 | 7         | 8     | 64.20       | 9.00       | 10.00     | 73.20  | 83.85       | 9.15  | 95%            | 95%            | 32%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| J. Taladro largo | 54.1             | 85.3     | 159.4   | 744       |                   |           |       |             |            |           | 73.20  | 83.85       | 9.15  | 95%            | 95%            | 32%      | 85%        | 40%       | 14.0 | 10.0 |
| DR004            | 137.3            | 24.6     |         | 744       | 2                 | 6         | 8     | 125.70      | 16.00      | 0.00      | 141.70 | 75.29       | 17.71 | 95%            | 95%            | 23%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| DR005            | 223.8            | 54.6     |         | 744       | 3                 | 8         | 11    | 102.50      | 3.00       | 0.00      | 105.50 | 58.05       | 9.59  | 95%            | 95%            | 35%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Scaler           | 361.1            | 79.2     |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 247.20 | 66.67       | 13.65 | 95%            | 95%            | 29%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TL001            | 361.4            |          |         | 744       | 2                 | 2         | 4     | 43.20       | 0.00       | 0.00      | 43.20  | 175.20      | 10.80 | 95%            | 95%            | 52%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL053            | 126.5            |          |         | 744       | 2                 | 3         | 5     | 23.10       | 2.00       | 25.00     | 25.10  | 143.78      | 5.02  | 95%            | 95%            | 18%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| SL052            | 222.4            |          |         | 744       | 2                 | 5         | 7     | 105.40      | 0.00       | 0.00      | 105.40 | 91.23       | 15.06 | 95%            | 95%            | 35%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Auxiliares       | 710.3            |          |         | 2232      |                   |           |       |             |            |           | 173.70 | 136.74      | 10.29 | 95%            | 95%            | 35%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MT001            | 368.6            |          |         | 744       | 2                 | 6         | 8     | 58.40       | 6.00       | 0.00      | 64.40  | 84.95       | 8.05  | 95%            | 95%            | 54%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| MC002            | 328.4            |          |         | 744       | 2                 | 4         | 6     | 17.50       | 10.00      | 0.00      | 27.50  | 119.42      | 0.00  | 95%            | 95%            | 0%       | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| Mantto Vías      | 697.0            |          |         | 1488      |                   |           |       |             |            |           | 91.90  | 102.18      | 4.03  | 95%            | 95%            | 27%      | 85%        | 55%       | 40.0 | 10.0 |
| TOTAL GENERAL    |                  |          |         |           |                   |           |       |             |            |           |        | 116.12      | 9.81  | 95%            | 95%            | 38%      |            |           |      |      |