



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

**FACULTAD TECNOLÓGICA**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA**

**PROPUESTA DE MEJORAS EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO  
APLICADO A CARGADORES SUBTERRÁNEOS R2900G EN UNA UNIDAD  
MINERA EN LA REGIÓN DE ATACAMA.**

Informe de proyecto presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de ingeniero de ejecución en mantenimiento industrial.

Profesor Guía: Jorge Reyes Huencho

Pablo Emilio Tercero Iribarren Torres

Copiapó, Chile 2023



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

**FACULTAD TECNOLÓGICA**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA**

**PROPUESTA DE MEJORAS EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO  
APLICADO A CARGADORES SUBTERRÁNEOS R2900G EN UNA UNIDAD  
MINERA EN LA REGIÓN DE ATACAMA.**

Informe de proyecto presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de ingeniero de ejecución en mantenimiento industrial.

Profesor Guía: Jorge Reyes Huencho

Pablo Emilio Tercero Iribarren Torres

Copiapó, Chile 2023

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	viii
ÍNDICE DE ECUACIONES. ....	ix
RESUMEN.....	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	11
CAPÍTULO II: GENERALIDADES .....	12
2.1- Minería y su producción .....	12
2.2- Etapa de extracción de mineral.....	12
2.2.1- Estudio de ubicación del mineral.....	12
2.2.2- Diseño de los túneles y galerías.....	13
2.2.3- Preparación de voladuras .....	13
2.2.4- Voladuras controladas.....	13
2.2.5- Carguío de mineral .....	13
2.2.6- Transporte del mineral a la superficie.....	13
2.3- Planteamiento del problema.....	14
2.4- Objetivos del estudio .....	19
2.4.1- Objetivo General.....	19
2.4.2- Objetivos Específicos .....	19
CAPÍTULO III: GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO .....	20
3.1- Antecedentes.....	20
3.2- Relevancia en la gestión del mantenimiento.....	21
3.3- Objetivo e importancia del mantenimiento.....	21
3.3.1- Máxima producción .....	22
3.3.2- Mínimos costos.....	22

3.3.3- Calidad requerida.....	22
3.3.4- Conservación del medio ambiente .....	22
3.3.5- Higiene y seguridad .....	22
3.3.6- Participación del personal.....	22
3.4- Criterios para la Aplicación de Parámetros de Mantenimiento .....	23
3.4.1- Tasa de fallas .....	23
3.4.2- Tasa de reparación .....	23
3.4.3- MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas).....	23
3.4.4- MTTR (Tiempo Medio de Reparación).....	23
3.4.5- Disponibilidad.....	23
3.4.6- Confiabilidad .....	24
3.4.7- Mantenibilidad .....	24
3.4.8- Parámetro de forma.....	25
3.4.9- Gráfico Pareto .....	25
3.4.10- Método Jack Knife.....	25
3.5- Configuración Organizacional de un Departamento de Mantenimiento .....	26
3.5.1- Optimizar disponibilidad de los equipos de producción.....	26
3.5.2- Disminuir costos de mantenimiento .....	27
3.5.3- Optimizar recursos humanos .....	27
3.5.4- Maximizar la vida útil de la flota de maquinarias .....	27
3.5.5- Objetivo para una organización .....	27
3.5.6- Función específica .....	28
3.5.7- Jerarquía organizacional .....	28
3.5.8- Autoridad y responsabilidad jerárquica .....	28
3.5.9- Respeto de la cadena de mando .....	28

3.5.10- Difusión .....	28
3.5.11- Control .....	28
3.5.12- Coordinación.....	28
3.6- Organigrama del Departamento de Mantenimiento.....	29
3.6.1- Jefe de departamento .....	30
3.6.2- Área de ingeniería y mantenimiento.....	30
3.6.3- Área de operaciones de mantenimiento .....	30
2.6.4- Técnicos .....	31
<b>CAPÍTULO IV: CARGADOR SUBTERRÁNEO R2900G. ....</b>	<b>32</b>
4.1 Descripción del cargador R2900G.....	32
4.1.1- Sistema de transmisión .....	33
4.1.2- Sistema hidráulico.....	34
4.1.2- Funcionamiento del cargador R2900G.....	34
<b>CAPÍTULO V: DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>36</b>
5.1- Estudios cuantitativos .....	36
5.2- Estudio de la documentación .....	36
5.3- Interpretación de registro de detenciones de equipo UG90.....	38
5.4- Interpretación de registro de detenciones de equipo UG91 .....	43
5.5- Interpretación de registro de detenciones de equipo UG92.....	48
5.6- Interpretación de registro de detenciones de equipo UG94.....	53
5.7- Impacto de la indisponibilidad en la producción.....	57
5.8- Recomendaciones para aplicación de estrategias de mantenimiento.....	61
5.9- Propuesta de actividades de mejora en mantenimiento. ....	63
5.9.1- Implementación de sistema de gestión de activos para monitoreo del negocio y desempeño.....	64

5.9.2- Promover comunicación y comprensión de procesos productivos.....	65
5.9.3- Generar estrategias de mitigación de filtraciones de sistemas hidráulicos ....	65
5.9.4- Preparar actividades de reparaciones estándar según frecuencia de condiciones para generar listado de repuestos críticos en la solicitud de stock mínimo .....	66
5.10- Resultados esperados en implementación de propuestas de mejoramiento.....	66
5.10.1- Reducción de detenciones no planificadas .....	66
5.10.2- Reducción de horas de reparación .....	67
5.10.3- Incremento de confiabilidad .....	67
5.10.4- Aumento en resultados e indicadores de desempeño.....	67
5.10.5- Aumento en la vida útil de la flota de equipos .....	67
CONCLUSIÓN.....	70
BIBLIOGRAFÍA .....	71

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Organigrama del área de mantenimiento. ....	29
Tabla 2: Tabla de registro en horas y cantidad de fallas totales.....	36
Tabla 3: Rutinas de mantenimiento aplicadas a cada equipo y flota. ....	37
Tabla 4: Desglose detenciones UG90 y rutinas cotidianas de mantenimiento. ....	38
Tabla 5: Análisis de modos de fallas en rutinas de mantenimiento UG90. ....	40
Tabla 6: Iteración de tiempo y estadísticas probabilísticas UG90. ....	41
Tabla 7: Desglose detenciones UG91 y rutinas cotidianas de mantenimiento. ....	43
Tabla 8: Analisis de modos de fallas en rutinas de mantenimiento UG91. ....	45
Tabla 9: Iteración de tiempo y estadísticas probabilísticas UG91. ....	46
Tabla 10: Desglose de detenciones UG92 y rutinas cotidianas de mantenimiento.....	48
Tabla 11: Análisis de modos de fallas en rutinas de mantenimiento UG92. ....	50
Tabla 12: Iteración de tiempo y estadísticas probabilísticas UG92. ....	51
Tabla 13: Tabla desglose detenciones UG94 y rutinas cotidianas de mantenimiento. ....	53
Tabla 14: Análisis de modos de fallas en rutinas de mantenimiento UG94. ....	55
Tabla 15: Iteración de tiempo y estadísticas probabilísticas UG94. ....	56
Tabla 16: Tabla de totales de detenciones y rutinas cotidianas de mantenimiento.....	58
Tabla 17: Análisis de modos de fallas en rutinas de mantenimiento aplicado a flota. ....	60
Tabla 18: Matriz de actividades generales y responsabilidades.....	64
Tabla 19: Contabilización de detenciones según propuesta preventiva.....	68

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1: Cargador de bajo perfil, modelo R2900G, marca Caterpillar. ....	32
Ilustración 2: Sistema tren de potencia destacado en cargador R2900G, Caterpillar. ....	33
Ilustración 3: Componentes del sistema hidráulico en cargador R2900G, Caterpillar. ...	34
Ilustración 4: Gráfico rutinas cotidianas de mantenimiento tramo noventa días. ....	37
Ilustración 5: Gráfico Pareto de sistemas y porcentaje de detenciones UG90.....	38
Ilustración 6: Gráfico de dispersión con zona crítica de falla, indisponibilidad y reparación.....	39
Ilustración 7: Grafico probabilidades estadísticas UG90.....	42
Ilustración 8: Gráfico Pareto de sistemas y porcentaje de detenciones UG91.....	43
Ilustración 9: Gráfico de dispersión con zona crítica de falla, indisponibilidad y reparación.....	44
Ilustración 10: Grafico probabilidades estadísticas UG91.....	47
Ilustración 11: Gráfico Pareto de sistemas y porcentaje de detenciones UG92.....	48
Ilustración 12 Gráfico de dispersión con zona crítica de falla, indisponibilidad y reparación.....	49
Ilustración 13: Grafico probabilidades estadísticas UG92.....	52
Ilustración 14: Gráfico Pareto de sistemas y porcentaje de detenciones UG94.....	53
Ilustración 15: Gráfico de dispersión con zona crítica de falla, indisponibilidad y reparación.....	54
Ilustración 16: Grafico probabilidades estadísticas UG94.....	56
Ilustración 17: Gráfico Pareto de sistemas aplicado en flota de cargadores. ....	58
Ilustración 18: Gráfico de dispersión con zona crítica de falla, indisponibilidad y reparación.....	59
Ilustración 19: Grafico de dispersión optimizado. ....	69



## ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1: Disponibilidad esperada.....	24
Ecuación 2: Mantenibilidad .....	24
Ecuación 3: Déficit de producción.....	61

## **RESUMEN**

Este trabajo fue realizado en una empresa minera, especializada en la producción de cobre, la cual se vio afectada en sus procesos productivos, debido a la disminución de minerales extraídos causada por la baja disponibilidad de cuatro cargadores de mineral utilizados en la etapa de extracción de rocas desde túneles subterráneos. Conscientes de que la administración tradicional del mantenimiento resultaba insuficiente para alcanzar objetivos de producción, ya que la disponibilidad física de cargadores se situaba por debajo del ochenta por ciento de tiempo total de estudio, la empresa decidió llevar a cabo un análisis específico sobre el cargador R2900G fabricado por Caterpillar. El problema planteado se relaciona con la alta incidencia de detenciones no programadas en los cargadores, que afectó la eficiencia y rentabilidad de la operación minera. Para abordar este problema, se desarrolló una metodología que incluyó estudios cuantitativos, la revisión de documentación y la interpretación de registros de detenciones utilizando herramientas analíticas, tales como Diagrama de Pareto y Gráficos de Dispersión para revelar el impacto de la indisponibilidad en la producción, y a través de un análisis modos de fallas críticas, se formularon recomendaciones y propuestas de mejoras en el mantenimiento, tales como; implementar sistemas de gestión del mantenimiento, la promoción de la comunicación y comprensión de procesos productivos, generar estrategias preventivas de mantenimiento, proyectar para visualizar resultados, como aumento de la confiabilidad operacional, la disminución de la cantidad de detenciones de los equipos de producción y así entregar un servicio de calidad requerida.

## **MANTENIMIENTO – FALLAS**

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

Este estudio fundamenta la importancia crítica de mantener la operatividad de equipos mineros en una amplia gama de industrias, desde la construcción hasta la tecnología, con un enfoque de maximizar producción, minimizar costos, garantizar calidad requerida, conservar el medio ambiente y promover la participación del personal en la gestión. Para el caso estudiado, se fijó optimizar la etapa de extracción de minerales, desafío fundamental para metas de operación continua, donde el mantenimiento juega un rol clave en la consecución de estos objetivos y busca la eficacia a través de la aplicación de parámetros tales como tasa de falla, tasa de reparación, tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación, disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. El presente informe se sumerge en la gestión del mantenimiento de equipos, con un enfoque específico en el cargador subterráneo R2900G, utilizado en operaciones mineras subterráneas, en la región de Atacama, Chile. En este contexto, se proyectó optimizar la disponibilidad de los cargadores R2900G, maximizar vida útil de la flota y alcanzar los objetivos de la organización, jugando un papel esencial en el equilibrio entre la máxima producción y la producción segura. La descripción del cargador R2900G detalla su sistema de transmisión, sistema hidráulico y su funcionamiento en operaciones subterráneas. El desarrollo experimental se centró en estudios cuantitativos y la interpretación de resultados de ecuaciones, generación de gráficos y generación de diagramas a través de registros de detenciones de los cargadores R2900G. Se determinó el impacto de la indisponibilidad en la producción y a través de análisis de modos de fallas, se ofrecieron recomendaciones para la aplicación de estrategias de mantenimiento y actividades de mejora, como la implementación de sistemas de gestión del mantenimiento, la promoción de la comunicación y la comprensión de procesos productivos. Este trabajo busca contribuir al conocimiento en el campo de la gestión de activos en la industria minera, ofreciendo una metodología sólida y aplicable que puede beneficiar operaciones mineras alrededor del mundo.

## **CAPÍTULO II: GENERALIDADES**

La proyección de la economía chilena se ha visto afectada por la incertidumbre por diferentes aspectos socio-económicos mundiales, lo que ha llevado a un aumento concreto en metas de producción de minerales. El proceso de producción de metales implica la explotación de rocas, seguida de molienda y procesamiento químico para obtener minerales puros. La alta exigencia que somete una empresa dentro de una faena minera como tal, cuya continuidad operacional no debe verse afectada, fija su objetivo en la necesidad de adquirir maquinaria cuyas capacidades sean optimizar sus tiempos y producción.

### **2.1- Minería y su producción**

La minería, desde sus inicios, ha sido impulsada por la necesidad de obtener materiales indispensables para la fabricación de herramientas y utensilios necesarios para el avance de la civilización humana. En particular, la producción de cobre ha desempeñado un papel crucial en este sentido, y su proceso comienza con la extracción de minerales desde la superficie mediante la minería a cielo abierto o a través de complejos sistemas de túneles subterráneos.

Con el paso del tiempo, la maquinaria y la industrialización han transformado los métodos artesanales en procesos altamente eficientes y mecanizados. Esta evolución ha generado una visión clara y definida, estableciendo objetivos y metas de producción continuas a lo largo del tiempo. Estas metas se dividen en diferentes etapas dentro de un proceso productivo, cada una de ellas destinada a proporcionar la materia prima y los elementos químicos que utilizamos en nuestra vida cotidiana.

### **2.2- Etapa de extracción de mineral**

La extracción de mineral en una minera subterránea involucra varias etapas importantes que van desde el estudio de la ubicación de la roca hasta el traslado del material a la superficie. A continuación, se describen etapas claves involucradas en este proceso:

2.2.1- Estudio de ubicación del mineral: Antes de iniciar la extracción, se lleva a cabo un estudio exhaustivo para determinar la ubicación y calidad del mineral en el yacimiento.

Esto implica análisis geológicos, muestreo y pruebas para identificar las zonas de interés que contienen los minerales valiosos.

2.2.2- Diseño de los túneles y galerías: Una vez identificada la ubicación del mineral, se planifica y diseña la red de túneles y galerías subterráneas necesarios para acceder a las zonas de interés. Se utilizan maquinarias como perforadoras frontales para realizar perforaciones precisas y controladas para asegurar la estabilidad de las galerías.

2.2.3- Preparación de voladuras: Una vez realizadas las perforaciones, se insertan materiales explosivos en los agujeros perforados. Estos explosivos son manipulados por maquinarias diseñadas para mejorar la seguridad y la productividad en las voladuras subterráneas. Se busca obtener un material rocoso granulado rentable y de alta calidad.

2.2.4- Voladuras controladas: La detonación de los explosivos permite romper la roca y crear un espacio para el acceso subterráneo. Se llevan a cabo voladuras controladas para minimizar el impacto en las estructuras circundantes y maximizar la eficiencia de la extracción.

2.2.5- Carguío de mineral: Después de la voladura, el material granulado resultante, que puede contener tanto mineral como roca estéril, se retira mediante cargadores, tales como el R2900G. Estos cargadores tienen la capacidad de transportar grandes cantidades de material y se utilizan para separar la roca estéril y cargar el mineral valioso.

2.2.6- Transporte del mineral a la superficie: El mineral valioso, separado de la roca estéril, se carga en camiones en el punto subterráneo. Para esta tarea, se utilizan camiones de bajo perfil como el AD60, que están diseñados para adaptarse a las condiciones y dimensiones de los túneles subterráneos. Estos camiones transportan el mineral a la superficie para su posterior procesamiento.

Dentro de los procesos de operación y desarrollo de la minería subterránea, el mantenimiento de maquinaria pesada desempeña un papel fundamental en la obtención de los minerales necesarios para diversas aplicaciones industriales y comerciales. El estudio realizado a una flota de equipos en una faena minera subterránea de la región de Atacama, Chile, resalta la importancia de mantener en óptimas condiciones los cargadores de bajo perfil utilizados en la extracción y transporte de minerales.

El estado de las máquinas durante la extracción de mineral depende de su exigencia y pueden generarse fallas, interrumpiendo su funcionamiento y proceso productivo debido al desgaste, condiciones externas o complejidad de los sistemas y componentes. El mantenimiento es esencial para garantizar la continuidad operacional y debe ser considerado como una inversión y no como un gasto.

El mantenimiento es potenciado gracias a la integración de la ingeniería, el registro y análisis de datos, y el uso de herramientas digitales. Esto permite transparentar la información, obtener parámetros de mantenimiento, evaluar la eficacia de las actividades de mantenimiento y determinar la vida útil de los equipos. También se pueden establecer estrategias para mitigar el impacto de la cantidad de detenciones en una flota de equipos y así poder reducirlas.

### **2.3- Planteamiento del problema**

Una empresa dedicada a la extracción de mineral debe fijar sus metas de producción para considerar el tiempo efectivo de operación de las diversas maquinarias, tiempo que debe ser administrado por las diferentes áreas de producción y mantenimiento para la generación de planes y estrategias que no afecten la extracción de mineral.

En la etapa de extracción de mineral, resulta fundamental identificar los equipos críticos y plantearse la condición de aquellos equipos, considerados vitales o esenciales para la operación continua de extracción de mineral. Esto es especialmente relevante debido a que de ellos dependen las detenciones, se sean parciales o totales de tales procesos.

Durante la operación de una faena minera, es importante analizar los factores que puedan afectar la producción si la cantidad de mineral extraído no cumple con las medidas exigidas por la empresa mandante. Uno de los aspectos claves es el tiempo dedicado a las diferentes etapas de extracción de mineral. La problemática detectada se centra en un aumento de la cantidad de detenciones por reparaciones de fallas en la flota de equipos de carguío de mineral. Es necesario llevar a cabo un análisis y gestión de mantenimiento basado en los registros obtenidos durante la operación, desde sus detenciones como también las actividades de mantenimiento ejecutadas en ella.

La baja disponibilidad física de cuatro cargadores de mineral utilizados en la fase de carguío en la etapa de extracción de mineral desde túneles subterráneos, no logra alcanzar los porcentajes satisfactorios de tiempos disponibles para su operación exigidos por la empresa mandante, lo que compromete la eficiencia y el cumplimiento de los objetivos de producción.

Según los requerimientos establecidos, en un periodo de noventa días (dos mil seiscientos sesenta horas), cuatro cargadores de mineral debían estar disponibles físicamente mil setecientos veintiocho horas, correspondiente al ochenta por ciento del periodo. El restante veinte por ciento del periodo (cuatrocientas treinta y dos horas) se destinó a actividades de mantenimiento y reparación, con el propósito de asegurar la confianza y seguridad en el funcionamiento de los equipos de carga de mineral.

Sin embargo, durante el período de estudio, la baja disponibilidad física de los cargadores reflejó que no estuvieron operativos durante el tiempo requerido para alcanzar los niveles de producción deseados. Esta falta de disponibilidad afectó directamente la productividad, generando insatisfacción en quienes administran la producción y retrasos de la extracción de doce mil toneladas diarias de mineral establecidas como objetivo.

Es crucial comprender que la operación de maquinaria pesada requiere una habilidad especializada y una supervisión constante por parte de los operadores y mantenedores. Además, es importante tener un conocimiento sobre las funciones y condiciones de los diversos componentes y sistemas de los equipos, así como familiarizarse con los instrumentos de medición, sistemas de monitoreo, controles, dispositivos de advertencia

y protocolos de emergencia, todo ello en cumplimiento de las regulaciones legales establecidas.

Además de estas responsabilidades, es esencial destacar la importancia del mantenimiento correctivo para garantizar el rendimiento óptimo de la maquinaria pesada. El mantenimiento correctivo se refiere a las acciones tomadas para reparar o corregir fallas o averías una vez que se han producido. En condiciones severas y adversas, como terrenos difíciles o entornos peligrosos, una flota de equipos se expone a un mayor desgaste y riesgo de fallas catastróficas.

El impacto negativo en la producción debido a condiciones severas adversas y acciones subestándar de operación de maquinaria pesada puede ser significativo. Las detenciones no planificadas por averías y los tiempos de inactividad prolongados pueden resultar en retrasos de los tiempos proyectados, pérdida de productividad y costos adicionales. Además, la seguridad de los operadores y otros trabajadores también puede estar en riesgo si no se mantienen los estándares adecuados de operación y mantenimiento.

Para minimizar estos impactos negativos, es fundamental implementar prácticas de mantenimiento preventivo de manera regular. El mantenimiento preventivo implica llevar a cabo inspecciones, ajustes y reparaciones programadas con el fin de prevenir fallas y mantener la maquinaria en óptimas condiciones de funcionamiento. Al realizar un plan mantenimiento estratégico preventivo adecuado, se reducirá la probabilidad de fallas inesperadas y se maximizará la vida útil de los equipos.

Una gestión eficaz del mantenimiento es fundamental para mejorar la productividad general de una organización. Esto se logra al garantizar que las instalaciones y equipos estén en óptimas condiciones operativas previstas, lo que a su vez permite preservar costos sin comprometer la seguridad ni la continuidad operativa requerida por el negocio.

La gestión del mantenimiento en una empresa o área de mantenimiento considera todas sus actividades como proceso productivo. Esto incluye la planificación, programación, gestión, administración y asignación de recursos materiales y humanos en la ejecución de actividades de mantenimiento. Para una flota de equipos en funcionamiento continuo, es importante clasificar las actividades de mantenimiento según los tipos de trabajos



realizados y obtener información detallada sobre lo ejecutado. Esto permite registrar diferentes modos de fallas, reflejar la magnitud de los trabajos realizados y determinar áreas de mejora en el funcionamiento de la flota y posibles reducciones en las detenciones por motivos de mantenimiento.

La falta de un plan de mantenimiento sólido y confiable para una flota de equipos puede tener un impacto negativo en la producción de extracción de mineral. Este impacto puede ser causado tanto por factores externos que afectan el rendimiento de los equipos como por el envejecimiento acelerado de componentes y sistemas debido a la falta de un plan estratégico de mantenimiento adecuado.

En el área de mantenimiento, la implementación y desarrollo constante de un modelo de gestión de mantenimiento se enfoca en la ejecución de trabajos alineados con los objetivos y metas de producción de la empresa como mandante. Es importante evaluar la integración de herramientas y habilidades informáticas básicas en la gestión del mantenimiento, como el uso de sistemas operativos y programas digitales. Este análisis puede contribuir significativamente al control y la eficiencia de las actividades de mantenimiento, incluyendo la planificación, programación y ejecución de tareas. El seguimiento del historial de detenciones de la flota de equipos, el uso de indicadores y parámetros de mantenimiento pretenden demostrar el impacto que genera la criticidad o frecuencia de detenciones no programadas en la producción de extracción de mineral.

Para llevar a cabo este estudio, se requieren varios recursos. Es necesario contar con un ordenador portátil que permita acceder y analizar los registros de detenciones utilizando programas y plataformas digitales específicas para generar indicadores y calcular parámetros de mantenimiento relevantes. Además, se necesitan elementos e infraestructura básica de oficina, como papel, bolígrafos e impresora, para facilitar la organización y documentación de la información recopilada durante el estudio.

Asimismo, se requiere una camioneta que cumpla con la normativa correspondiente para llevar a cabo la supervisión en terreno. Esta camioneta permitirá desplazarse a las ubicaciones de los equipos mineros, realizar inspecciones y seguimiento del mantenimiento. Es fundamental contar con la indumentaria adecuada, que incluye ropa de

trabajo resistente, calzado de seguridad, casco, gafas de protección y cualquier otro equipo de protección personal necesario para garantizar la seguridad durante las visitas a las áreas mineras y sectores de trabajos de mantenimiento.

Además, es importante tener un conocimiento profundo del funcionamiento y los sistemas de los equipos mineros, especialmente de los cargadores u otra maquinaria utilizada. Esto permitirá interpretar los datos del registro de detenciones de manera efectiva y comprender las causas subyacentes de las detenciones. También se requiere acceso a información detallada sobre la cantidad de detenciones y su clasificación para llevar a cabo cálculos y obtener los parámetros de mantenimiento necesarios. Esto puede incluir datos como el tiempo de inactividad de cada equipo, la causa de la detención y cualquier otra información relevante que ayude a identificar patrones y tendencias.

En particular, un análisis cuantitativo adopta un enfoque numérico y probabilístico con el objetivo de cuantificar los diversos parámetros que definen la situación actual o pasada de una flota de equipos. Esto se logra a través del análisis de la cantidad de detenciones y del tiempo empleado en cada una de las actividades de mantenimiento, todo ello con el propósito de restablecer la función operacional dentro de la etapa de extracción de mineral.

El registro y cuantificación de detenciones de equipos, aporta como fuente de información para la generación de indicadores de desempeño e interrogantes para determinación de estrategias de mejoramiento de rendimiento:

- ¿Cuál es la situación de los equipos en operación?
- ¿Cuál es la disponibilidad que presentan los equipos?
- ¿Cuál es la confiabilidad de los equipos?
- ¿Cuál es la mantenibilidad que registran los equipos?
- ¿Qué estrategias de mantenimiento podemos aplicar en base a cifras obtenidas?

## **2.4- Objetivos del estudio**

### 2.4.1- Objetivo General

Proponer mejoras en la gestión de mantenimiento de cargadores subterráneos R2900G.

### 2.4.2- Objetivos Específicos

- Analizar la situación de la flota a través de su documentación técnica registrada.
- Realizar estudios cuantitativos para comprender la tasa de fallas y sus causas en los equipos.
  - Interpretar los registros de detenciones e identificar patrones y tendencias en la cantidad de fallas en Gráficos Paretos y Diagramas Jack Knife.
  - Identificar los modos de causas de las detenciones críticas y sus impactos en la disponibilidad y producción de la operación minera.
  - Formular recomendaciones para la aplicación de estrategias de mantenimiento que reduzcan las detenciones no planificadas y mejoren la confiabilidad de los equipos.
  - Evaluar resultados proyectados en la conciliación de la contabilización de detenciones preventivas y mantenciones programadas, como método de reducción de detenciones, incremento de confiabilidad y extensión de la vida útil de la flota.
  - Contribuir a la optimización de los procesos productivos y la preservación de activos en la industria minera.

## **CAPÍTULO III: GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO**

### **3.1- Antecedentes.**

La optimización de gastos, la implementación de personal altamente capacitado debido a la complejidad de una flota de equipos y maquinaria, y el cumplimiento de los requisitos de los fabricantes para garantías y evitar pérdidas por detenciones no programadas, hacen necesario que las empresas establezcan un área dedicada a las labores y gestión del mantenimiento. Según la norma CEI 60050-191 del vocabulario electrotécnico internacional, el mantenimiento se define como la combinación de todas las acciones técnicas y de gestión destinadas a mantener o restaurar un elemento a un estado que le permita funcionar según los requisitos establecidos. Esta área debe estar alineada directamente con los objetivos y metas de la empresa mandante o área de producción.

También es importante considerar el papel del mantenimiento en la identificación, priorización y focalización de fallas, que deben incluir variables rutinarias, tanto en la identificación administrativa, como en la aplicación técnica. Se define una falla como el deterioro o funcionamiento anormal de cualquier elemento, componente o sistema de un equipo que impide su correcta operación.

El funcionamiento normal de una instalación implica mantener niveles de procesos productivos, calidad del producto, seguridad en la producción y minimizar el impacto ambiental. Cualquier circunstancia que afecte el rendimiento de un proceso de producción en un equipo debe considerarse una falla.

La estrategia base del mantenimiento y su cultura organizacional se inicia con un propósito claro, una visión y una misión que generen confianza y demuestren colaboración, innovación y pasión por obtener resultados a través de prácticas seguras. Los objetivos deben considerar la importancia del mantenimiento y su impacto en los resultados, enfocando actividades con competencias y capacidades óptimas de operación y organización. De esta manera, se pueden ofrecer soluciones que mejoren la proyección de los resultados, maximizando el tiempo efectivo de operación de la flota de equipos y sus procesos productivos.

### **3.2- Relevancia en la gestión del mantenimiento.**

La relevancia del mantenimiento se refiere a la importancia de llevar a cabo actividades de mantenimiento de manera regular y planificada en infraestructuras y equipos utilizados en diferentes procesos productivos para garantizar su correcto funcionamiento, prolongar su vida útil y evitar fallas o interrupciones en la operación.

El mantenimiento preventivo, que implica la realización de inspecciones regulares, el reemplazo de piezas desgastadas y la reparación de posibles problemas antes de que se conviertan en fallas mayores, ayuda a evitar interrupciones no planificadas en la producción y minimiza los tiempos de inactividad. También contribuye a prolongar la vida útil de las instalaciones y maquinarias, lo que a su vez reduce los costos de reemplazo.

El mantenimiento adecuado y oportuno de diversos sistemas y componentes es crucial para garantizar que estas instalaciones y maquinarias funcionen de manera eficiente y confiable. Si se produce una falla o deterioro en alguno de estos elementos, puede afectar negativamente el proceso productivo, afectando en la cantidad y calidad del producto final.

Además, el mantenimiento adecuado ayuda a garantizar la seguridad de los trabajadores, ya que se pueden identificar y corregir posibles riesgos o peligros asociados con el funcionamiento de las instalaciones y maquinarias.

En resumen, la relevancia del mantenimiento en instalaciones y maquinarias radica en su capacidad para prevenir fallas, minimizar el tiempo de inactividad, garantizar la calidad del producto final, prolongar la vida útil de los equipos y garantizar la seguridad de los trabajadores.

### **3.3- Objetivo e importancia del mantenimiento**

El objetivo del mantenimiento es comprender y aprovechar los beneficios de conservar todos los componentes de un sistema complejo que afecta directa o indirectamente a los servicios ofrecidos por una empresa y su producto. El mantenimiento no se limita a preservar el estado de equipos móviles o instalaciones en procesos productivos, sino que

también abarca aspectos como iluminación, comunicación, energía, suministros básicos, infraestructuras e instalaciones propias. Los objetivos del mantenimiento deben estar alineados con las metas de producción establecidas por la empresa, y deben ser específicos para asegurar su aplicación en la organización, la distribución de actividades y la ejecución de tareas de mantenimiento o reparación que involucren el uso de áreas físicas proporcionadas por los responsables de la producción principal.

Para enfocar estrategias de mantenimiento, es importante tener en cuenta los siguientes objetivos:

3.3.1- Máxima producción: Garantizar la máxima disponibilidad de los activos, asegurando que estén en pleno funcionamiento cuando se necesiten para optimizar la producción.

3.3.2- Mínimos costos: Reducir al mínimo las actividades de mantenimiento en términos de recursos monetarios y tiempo, sin comprometer la calidad y la eficiencia del proceso.

3.3.3- Calidad requerida: No solo restaurar los equipos y las instalaciones a su estado operativo, sino también mantener su calidad para asegurar la producción de bienes y servicios de acuerdo con los estándares establecidos.

3.3.4- Conservación del medio ambiente: Evitar averías y fugas que puedan causar contaminación y daños ambientales, implementando medidas preventivas y correctivas para minimizar el impacto ambiental del mantenimiento.

3.3.5- Higiene y seguridad: Capacitar y educar al personal sobre las normas de seguridad y los procedimientos adecuados para prevenir accidentes y lesiones, promoviendo un entorno de trabajo seguro y saludable.

3.3.6- Participación del personal: Involucrar a las personas que demuestren interés en influir en el área administrativa de mantenimiento, fomentando su participación activa, aportando ideas y soluciones para mejorar las prácticas y procesos de mantenimiento.

Estos objetivos son fundamentales para guiar un proceso de gestión del mantenimiento, que contribuya al óptimo funcionamiento de los activos, la continuidad de la producción y el logro de los objetivos de la empresa.

### **3.4- Criterios para la Aplicación de Parámetros de Mantenimiento**

Una forma inicial de establecer y desarrollar disciplinas de mantenimiento consiste en registrar el tiempo clasificado entre períodos de disponibilidad y de reparación, con el fin de medir y establecer criterios de disponibilidad que se ajusten a las exigencias y condiciones de la operación. Algunos parámetros a considerar para la creación de indicadores de desempeño son los siguientes:

3.4.1- Tasa de fallas: Se refiere al número total de fallas experimentadas durante un período determinado de operación en horas ( $\lambda$ ).

3.4.2- Tasa de reparación: Representa el número total de reparaciones realizadas durante el tiempo total de reparación ( $\mu$ ).

3.4.3- MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas): Es el promedio de tiempo transcurrido entre cada detención del equipo por mantenimiento.

3.4.4- MTTR (Tiempo Medio de Reparación): Indica el tiempo promedio necesario para reparar una falla y volver a poner en funcionamiento el equipo.

A través de tales conceptos ya registrados como historial, es posible para aquellos responsables del mantenimiento administrativo, poder analizar distintas acciones para lograr aumentos necesarios de la disponibilidad operativa, directamente de la mano con la confiabilidad y generar estrategias en reducción de tiempos y frecuencias de detenciones destinados a la mantenibilidad a un corto plazo.

3.4.5- Disponibilidad: Se define como la confianza que da un equipo, sistema o componente ya intervenido en su mantenimiento, al ejercer su función en un tiempo ya transcurrido. Matemáticamente, la disponibilidad  $D(t)$  se calcula como la relación entre el tiempo disponible para la operación y la suma entre el tiempo disponible para la operación y el tiempo total transcurrido en el mantenimiento.

Ecuación 1: Disponibilidad esperada.

$$D(t) = \frac{\sum \text{Tiempo disponible para operación}}{\sum \text{Tiempo disponible para operación} + \sum \text{Tiempo en mantenimiento}}$$

3.4.6- Confiabilidad: Se refiere a la “seguridad” que se tiene de un componente, sistema o equipo al desempeñar su función básica. Una forma precisa para describir la confiabilidad, es la probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas. La probabilidad de que no ocurra una falla de un determinado tipo en una aplicación definida se obtiene a través de funciones de distribución matemática obtenidas de los registros de detenciones, y sus resultados se homologan a aquellos registros y parámetros de operación, mantenimiento y condiciones externas de uso.

3.4.7- Mantenibilidad: Se define como la capacidad que tiene un equipo o sistema de ser puesto en funcionamiento dentro de un tiempo establecido, cuando las actividades de mantenimiento se llevan a cabo según los procedimientos establecidos. Matemáticamente, la mantenibilidad se centra en la probabilidad de que un equipo sea reparado en un tiempo determinado. Su expresión matemática se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 2: Mantenibilidad

$$\bullet M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Donde:

M(t): Función de mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo  $t=0$  y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo  $t$  final.

$e$ : Constante neperiana ( $e = 2.718$ ).

$\mu$ : Tasa de reparación.

$t$ : Tiempo.



3.4.8- Parámetro de forma: Medida estadística que modela el comportamiento de la confiabilidad de un equipo o sistema, en la utilización de herramientas de gestión del mantenimiento a lo largo del tiempo. Su resultado es obtenido de ecuaciones y funciones logarítmicas de los tiempos de detenciones registradas. Si su valor resultante es mayor a uno, indica un aumento gradual en la tasa de fallas en el tiempo, señalando secuencia de eventos según vida útil del equipo. Por otra parte, un valor menor a uno significa indica una estabilidad en la frecuencia de detenciones por desgaste normal. Si el valor es muy pequeño, cercano a cero, significa una secuencia aleatoria de detenciones por fallas prematuras, podría indicar problemas de calidad, diseño, de operación o problemas inesperados en un equipo.

3.4.9- Gráfico Pareto: Herramienta utilizada en la gestión del mantenimiento para identificar y priorizar las causas más significativas de los problemas o fallas que afectan la operación de un equipo. Metodología ideada por Vilfredo Pareto, quien formula que el ochenta por ciento de los problemas se originan en el veinte por ciento de las causas.

En aspectos como la gestión del mantenimiento, el Gráfico Pareto permite visualizar gráficamente la frecuencia o impacto de los problemas y averías de los diversos sistemas y subsistemas, clasificándolos en orden descendente en importancia. De esta manera, los equipos de trabajo en gestión pueden identificar problemas recurrente o críticos, dando enfoque en actividades que aborden sus causas fundamentales, priorizar acciones correctivas para optimizar la asignación de recursos y minimizar el tiempo de inactividad de los activos, contribuyendo así a una gestión del mantenimiento más efectiva y eficiente.

3.4.10- Método Jack Knife: Técnica estadística empleada en la gestión del mantenimiento para evaluar y mejorar la precisión de las estimaciones sobre el desempeño de los activos y sistemas. Esta metodología es especialmente útil cuando no es posible obtener una expresión analítica para la varianza o sesgo de un estimador.

Dentro de la gestión del mantenimiento, el Método Jack Knife se aplica para evaluar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos y sistemas. Consiste en tomar múltiples muestras de datos de mantenimientos realizados, cada una con un elemento excluido de la muestra original para calcular una estimación de interés en cada una de las muestras

para obtener una distribución de resultados, evaluar la estabilidad y robustez de los resultantes estimados y predecir el rendimiento y vida útil de los activos

Estas herramientas analíticas, como el Gráfico Pareto y el Método Jack Knife, proporcionan una mayor confianza en la toma de decisiones en el mantenimiento y permite ajustar estrategias y políticas para maximizar la gestión del mantenimiento, lo que se traduce a una mayor disponibilidad, prolongación de la vida útil de los equipos y reducción de costos.

Una vez establecidos los criterios para la gestión del mantenimiento, la producción del mantenimiento se enfoca en aumentar la disponibilidad de un equipo, incrementar su confiabilidad y reducir el tiempo relacionado a la mantenibilidad, o simplemente aumentar el tiempo entre fallas y disminuir los tiempos de reparación durante la ejecución del mantenimiento, tanto imprevisto como programado.

La clasificación de las detenciones de una flota de equipos está representada como programadas e imprevistas, considerando aquellas programadas dentro del tiempo conciliado para labores de mantención, mientras que las imprevistas afectarán el tiempo de operación y producción, estas últimas determinadas como foco de atención para fijar los objetivos de este estudio.

### **3.5- Configuración Organizacional de un Departamento de Mantenimiento**

Un departamento de mantención debe considerar que la totalidad de recursos y medios que maneje cualquier empresa, se deben dividir entre colaboradores de diferentes áreas o subdivisiones para realizar actividades, logrando una coordinación efectiva entre áreas para alcanzar metas deseadas por la empresa, teniendo claro que un departamento de mantención es un grupo de personas debidamente formadas y capacitadas en función de metas definidas y objetivos específicos operacionales, tales como:

3.5.1- Optimizar disponibilidad de los equipos de producción: Esto implica implementar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, así como realizar un seguimiento continuo del rendimiento de la flota de equipos. De esta manera, se pueden llevar a cabo intervenciones de mantenimiento adecuadas y oportunas.

3.5.2- Disminuir costos de mantenimiento: Es crucial mejorar la eficiencia y rentabilidad de la organización mediante una adecuada gestión de los recursos. Esto implica planificar las actividades de mantenimiento y minimizar los tiempos de inactividad utilizando técnicas rentables, como el mantenimiento basado en condiciones o centrado en la confiabilidad.

3.5.3- Optimizar recursos humanos: La asignación y gestión eficiente del personal de mantenimiento es fundamental para alcanzar los objetivos de la organización. Esto incluye contar con un equipo capacitado y competente, establecer programas de capacitación y desarrollo continuo, crear un ambiente de trabajo seguro y motivador, e implementar un sistema de gestión del conocimiento para compartir experiencias y técnicas de mantención.

3.5.4- Maximizar la vida útil de la flota de maquinarias: Para garantizar una operación continua y eficiente, es necesario afrontar nuevos desafíos en diferentes aplicaciones de mantenimiento de una flota de equipos móviles. Esto implica establecer programas de mantenimiento adecuados, que incluyan limpiezas, lubricaciones e inspecciones, además de seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a intervalos de mantenimiento. También se pueden aplicar estrategias como análisis de fallas, monitoreo de condiciones y retroalimentación de la información obtenida para optimizar los procesos de mantenimiento.

Los objetivos proporcionan una guía clara y enfoque estratégico para alcanzar una gestión del mantenimiento eficiente y eficaz. Ahora, al abordar principios fundamentales de una organización, podemos establecer criterios y valores que sustenten una organización sólida, que garantice una estructura organizativa coherente y orientada a resultados, dentro de un marco de trabajo sólido que impulse la eficiencia, confiabilidad y mantenibilidad de activos, tales como:

3.5.5- Objetivo para una organización: Establecer metas claras y definidas para el departamento de mantenimiento, alineadas con los objetivos operacionales de la organización. Esto permitirá orientar los esfuerzos hacia resultados concretos y medibles.

3.5.6- Función específica: Definir las responsabilidades y funciones específicas de cada miembro del equipo de mantenimiento. Esto asegurará que cada persona sepa exactamente qué tareas le corresponden y cuál es su rol dentro de la organización.

3.5.7- Jerarquía organizacional: Establecer una estructura jerárquica clara que defina la cadena de mando y las líneas de autoridad. Esto facilitará la toma de decisiones, la asignación de responsabilidades y la comunicación eficiente dentro del departamento.

3.5.8- Autoridad y responsabilidad jerárquica: Delegar autoridad a cada nivel jerárquico, otorgando la capacidad de tomar decisiones y asumir responsabilidades correspondientes. Esto permitirá agilizar los procesos y fomentar la autonomía en la toma de decisiones.

3.5.9- Respeto de la cadena de mando: Reconocer y seguir el orden establecido en la estructura jerárquica de la organización. Esto garantizará la fluidez de la comunicación, evitando conflictos y malentendidos.

3.5.10- Difusión: Compartir información relevante con todos los miembros del equipo de mantenimiento de manera clara y oportuna. Esto promoverá la transparencia, la colaboración y el acceso a conocimientos necesarios para llevar a cabo las tareas de manera eficiente.

3.5.11- Control: Establecer mecanismos de control para evaluar el desempeño del departamento de mantenimiento. Esto implica el seguimiento de indicadores clave, la realización de auditorías, revisiones periódicas y la implementación de acciones correctivas.

3.5.12- Coordinación: Fomentar la colaboración y el trabajo en equipo entre miembros del departamento y con otras áreas de la organización. Esto permitirá una gestión integrada de actividades de mantenimiento, evitando duplicidades y optimizando los recursos disponibles.

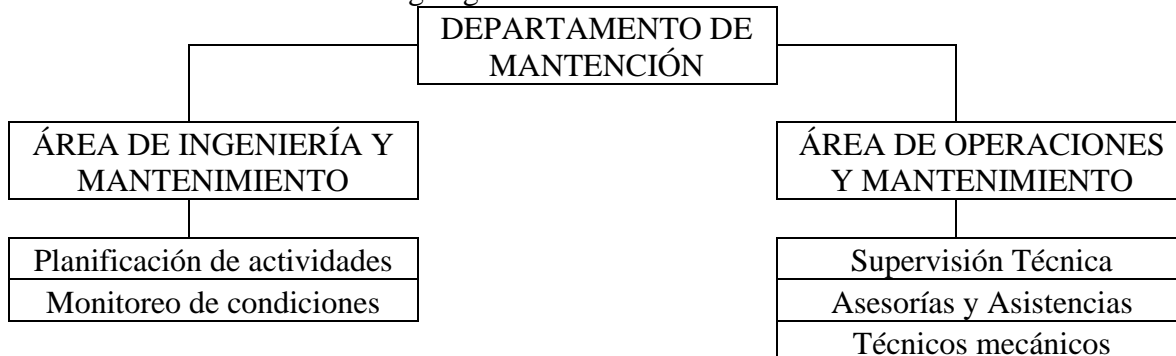
Al considerar limitaciones en la obtención de recursos para la ejecución de diversas actividades de mantenimiento, podemos establecer esquemas o modelos de organigramas que faciliten la colaboración multidisciplinaria entre los miembros del equipo. Esto

permitirá maximizar la eficiencia en el uso de los recursos iniciales y lograr una coordinación efectiva en todas las actividades necesarias.

### 3.6- Organigrama del Departamento de Mantenimiento

Un organigrama eficiente proporciona una representación visual clara y precisa de las funciones, responsabilidades y actividades de una organización. Para el caso estudiado, se ha recopilado información sobre las funciones y actividades de la empresa, lo que ha permitido interpretar un organigrama que brinda una visión general de su estructura en el área de mantenimiento, permitiendo compararse con otros negocios, con equipos similares, sin considerar las diferentes aplicaciones operacionales de la flota bajo su responsabilidad, considerando un jefe de mantenimiento y subdivisiones que se encargan de diferentes actividades laborales.

Tabla 1: Organigrama del área de mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia.

El área de Ingeniería y Mantenimiento considera la planificación de actividades y el monitoreo de condiciones de la flota de equipos de carguío, mientras que el área de Operaciones y Mantenimiento se conforma por supervisores, asesores, asistentes y ejecutantes técnicos.

La claridad, simplicidad y simetría entre niveles jerárquicos de la misma altura, fortalece el enfoque de cumplimiento de objetivos y facilita la comunicación entre personas, según sea el tamaño y estructura organizacional.

3.6.1- Jefe de departamento: Es responsable de supervisar la ejecución de los programas y planes de mantenimiento de equipos, tanto en el taller como en la operación en terreno de la faena. Su objetivo principal es garantizar el cumplimiento de las acciones de mantenimiento y reparación, identificar las necesidades de recursos humanos y materiales, y tomar medidas en función de la variabilidad de la operación. Además, el jefe de departamento se asegurará de que se sigan los estándares de la empresa o del área ejecutiva, y velará por el cumplimiento de los procedimientos técnicos y administrativos. Su gestión se enfocará en optimizar la utilización de los recursos asignados y promover el logro eficiente de los objetivos de mantenimiento, mediante la implementación de prácticas de gestión basadas en la confiabilidad humana y operacional, así como en el uso de indicadores de mantenimiento para la retroalimentación y el mejoramiento continuo.

3.6.2- Área de ingeniería y mantenimiento: Encargados de la planificación de actividades y el monitoreo de la flota de equipos de carguío, esta área se compone por programadores, digitadores y planificadores. Su función principal es determinar qué tareas de mantenimiento deben ejecutarse, cómo realizarlas y cuándo llevarlas a cabo. Trabajan en estrecha colaboración con Monitoreo de condiciones, conformado por analistas e inspectores, para brindar recomendaciones sobre la operación y ejecución de trabajos. Contribuyen a la mantención de los equipos mineros mediante la aplicación de estrategias de mantenimiento basadas en las especificaciones técnicas y estándares del fabricante. Además, gestionan la confiabilidad de los activos a través de indicadores de mantenimiento, y promueven la retroalimentación y el mejoramiento continuo en la ejecución de las tareas de mantenimiento.

3.6.3- Área de operaciones de mantenimiento: Encargados de la supervisión de la ejecución técnica de las tareas de mantenimiento, conformada por un jefe de operaciones y supervisores técnicos, son los encargados de dirigir y supervisar el proceso de ejecución de mantenimiento en los equipos, siguiendo los programas y planes establecidos por el área de ingeniería y mantenimiento. Asimismo, velan por el cumplimiento de los procedimientos y protocolos técnicos y administrativos, basados en indicadores de mantenimiento, especificaciones contractuales y políticas de la empresa o departamento

de mantenimiento. Fomentan la retroalimentación y el mejoramiento continuo, buscando optimizar la eficiencia en la ejecución de las tareas de mantenimiento.

2.6.4- Técnicos: El grupo de técnicos conformado por asesores, asistentes y mecánicos, quienes desempeñan funciones relacionadas con la evaluación y ejecución de los diferentes procesos de mantenimiento, suministran información del estado físico de flota y fallas, son quienes solicitan los recursos necesarios en el momento oportuno para cumplir con los programas establecidos y administran los recursos asignados de acuerdo con las políticas existentes. Realizan diagnósticos de componentes y sistemas, así como la reparación de estos, coordinando eficientemente la ejecución de sus trabajos, contribuyendo a la gestión de activos, implementando prácticas de mantenimiento basadas en indicadores y participando activamente en la retroalimentación y el mejoramiento continuo del proceso de mantenimiento.

## **CAPÍTULO IV: CARGADOR SUBTERRÁNEO R2900G.**

### **4.1 Descripción del cargador R2900G.**

El cargador R2900G es un equipo de carga subterránea. Fabricado por Caterpillar, empresa reconocida en la fabricación de equipos pesados, el R2900G es parte de la serie de cargadores diseñados específicamente para trabajos en entornos subterráneos, como minas y túneles, ofreciendo rendimiento confiable y eficiente en condiciones exigentes.

La estructura del R2900G está construida con un marco de acero que ha sido diseñado para resistir fuerzas torsionales, impactos y tensiones generadas durante los ciclos de carga. Su diseño robusto protege los componentes de transmisión de potencia y el sistema hidráulico del cargador.

Una de las ventajas del R2900G es su fácil acceso a los puntos de servicio diarios de mantenimiento. Caterpillar ha tenido en cuenta la importancia de realizar inspecciones y tareas de servicio rutinarias de manera rápida y sencilla. El cargador cuenta con puntos de acceso convenientes que permiten un fácil acceso a los componentes clave, lo que agiliza las labores de mantenimiento y reduce el tiempo de inactividad.

Ilustración 1: Cargador de bajo perfil, modelo R2900G, marca Caterpillar.

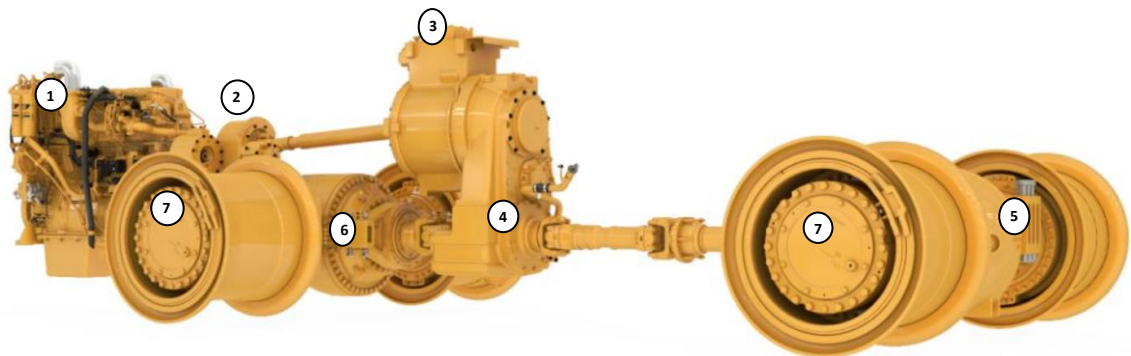


Fuente: Google Imágenes, referencia R2900G.



4.1.1- Sistema de transmisión: El cargador R2900G utiliza un sistema de transmisión eficiente para convertir la potencia generada por su motor diésel en movimiento y tracción. El motor diésel (1) impulsa el volante, que a su vez transmite la potencia al convertidor de par a través de engranes. El convertidor de par está conectado a los engranajes de subida de marcha (2), y la potencia del motor se envía al eje motriz superior y al planetario de la transmisión. El sistema de transmisión (3) del R2900G incluye seis embragues hidráulicos que se activan para proporcionar cuatro velocidades de avance y cuatro velocidades de retroceso. El eje de salida del planetario de la transmisión está conectado a los engranajes de transferencia de salida (4), que distribuyen la potencia a sus diferenciales, delantero (5) y trasero (6). Además, la potencia también se envía al eje motriz central de cada diferencial, que hacen girar semiejes y las ruedas (7) del cargador.

Ilustración 2: Sistema tren de potencia destacado en cargador R2900G, Caterpillar.



Fuente: Google imágenes, referencia tren de potencia R2900G.

El sistema de transmisión del equipo es altamente eficiente y ofrece diversas funciones para optimizar el rendimiento de la máquina. La transmisión electrónica de cambio automático permite aumentar la eficiencia del operador al proporcionar cambios suaves y precisos.

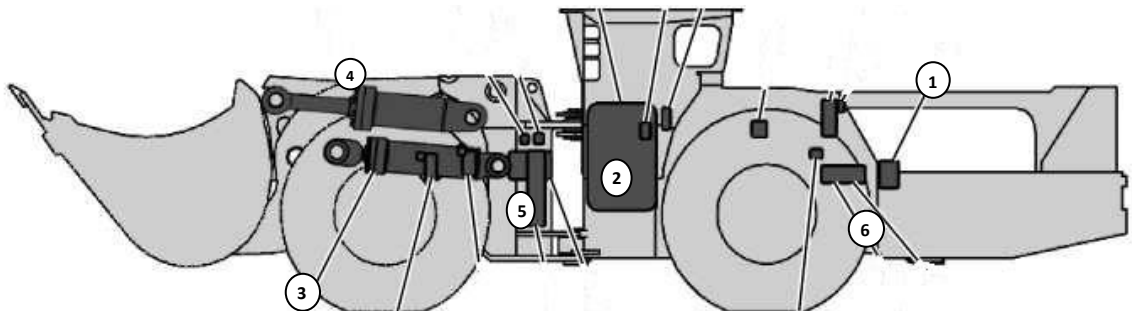
Otra característica importante del cargador R2900G es su neutralizador de transmisión. Este sistema permite al operador activar los frenos de servicio y neutralizar la transmisión cuando sea necesario. Esto es especialmente útil para optimizar el rendimiento del motor diésel y garantizar un flujo hidráulico completo. Al neutralizar la transmisión, el operador puede realizar funciones de excavación y carga de manera óptima, mejorando la eficiencia y la precisión en cada tarea.

4.1.2- Sistema hidráulico: El cargador R2900G está equipado con un sistema hidráulico para operar su implemento principal. Utilizando una bomba de engranajes de una sola sección (1), suministra aceite desde el tanque hidráulico (2) hacia los cilindros de levantamiento (3) e inclinación (4). Una válvula de control principal (5), ubicada en el bastidor delantero, dirige el flujo de aceite desde la bomba hacia los cilindros correspondientes, permitiendo un control preciso de las funciones del implemento.

Para proteger los cilindros hidráulicos de impactos externos, el sistema hidráulico también cuenta con una válvula de alivio principal y válvulas de alivio adicionales en la válvula de control principal. Estas válvulas de alivio permiten que el exceso de aceite a presión se descargue al tanque hidráulico, evitando daños en los componentes y garantizando la durabilidad del equipo.

Además del sistema hidráulico del implemento principal, el cargador R2900G cuenta con un sistema piloto que utiliza una bomba de engranajes de dos secciones. Esta bomba (6) suministra aceite al freno de estacionamiento, freno de servicio y al sistema piloto para los sistemas de dirección e implemento. Un conjunto de válvulas de control piloto y otros componentes permiten controlar y dirigir el flujo de aceite en el sistema piloto, lo que proporciona una operación suave y precisa del equipo.

Ilustración 3: Componentes del sistema hidráulico en cargador R2900G, Caterpillar.



Fuente: Google imágenes, referencia sistema hidráulico R2900G.

4.1.2- Funcionamiento del cargador R2900G: El cargador R2900G se opera desde la cabina del operador, donde utiliza controles intuitivos ubicados en su interior, lo que permite una operación cómoda y segura.

Al activar los controles de dirección, el sistema piloto suministra aceite al sistema de dirección del cargador. Esto permite al operador girar y mover el equipo en la dirección deseada con facilidad. La respuesta rápida y suave del sistema de dirección contribuye a una maniobrabilidad precisa, lo que es especialmente importante en espacios confinados y terrenos difíciles.

Además de la dirección, el sistema piloto también controla otras operaciones importantes del cargador R2900G. Por ejemplo, el operador puede utilizar los controles para activar el sistema hidráulico del implemento principal, que incluye los cilindros de levantamiento e inclinación del cucharón. Esto permite la carga y manipulación eficiente de materiales, mejorando la productividad en entornos mineros subterráneos.

El sistema de transmisión del R2900G también merece mención. Este sistema permite al operador cambiar entre diferentes velocidades de avance y retroceso según las necesidades del trabajo. Los embragues hidráulicos se activan para proporcionar la tracción necesaria en cada velocidad, lo que garantiza un rendimiento óptimo en diversas condiciones de trabajo.

En resumen, el cargador R2900G de Caterpillar es una máquina poderosa y confiable que combina un diseño robusto con características avanzadas. Su capacidad para adaptarse a las necesidades del operador, su sistema de transmisión eficiente y su sistema hidráulico potente lo convierten en una elección ideal para aplicaciones mineras subterráneas.

## CAPÍTULO V: DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 5.1- Estudios cuantitativos

El objetivo de los estudios cuantitativos es interpretar la información obtenida a partir de cálculos numéricos, en este caso, basados en el registro de detenciones de una población de cuatro cargadores de mineral en un período de noventa días. Estos cargadores operan las veinticuatro horas del día, los siete días de la semana. El propósito de estos estudios es avanzar en el conocimiento y la gestión del mantenimiento, incluyendo actividades, estrategias y planes en función de la condición actual de los equipos bajo la responsabilidad de una empresa o área de mantenimiento. El análisis de diferentes tipos de actividades en un período de tiempo determinado, a través de los resultados obtenidos en los cálculos de los parámetros de mantenimiento, se enfoca en reducir la frecuencia y la criticidad de las detenciones prolongadas.

### 5.2- Estudio de la documentación

El estudio de la documentación tiene como objetivo preparar los parámetros de mantenimiento, como la disponibilidad, la confiabilidad y la mantenibilidad. Esto implica extraer datos de los registros de fallas de los cuatro cargadores de mineral. El estudio se centra en identificar acciones para reducir la cantidad de fallas y disminuir los tiempos afecto a detenciones de los equipos.

Tabla 2: Tabla de registro en horas y cantidad de fallas totales.

REGISTRO DETENCIONES JULIO, AGOSTO, SEPTIEMBRE 2022					
PALA	CANTIDAD FALLAS	PERIODO	TTR	TBF	TASA DE FALLA
90	78	2160	695,00	1465,00	0,036111
91	71	2160	914,70	1245,30	0,032870
92	63	2160	663,48	1496,52	0,029167
94	78	2160	831,95	1328,05	0,093756
FLOTA	290	8640	3105,13	5534,87	0,033565

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

El registro de fallas presentado en el estudio abarca un período que va desde julio hasta septiembre del año 2022, según se muestra en la tabla número dos.

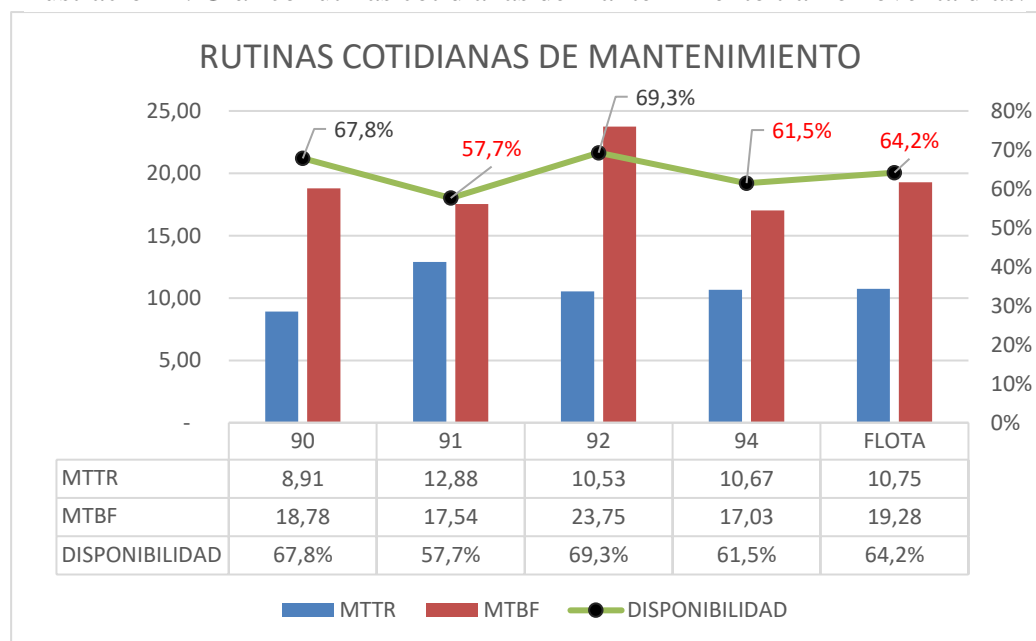
Se asignó un número a cada uno de los cuatro cargadores de bajo perfil durante los meses de julio, agosto y septiembre. Las detenciones se cuantificaron según la cantidad de fallas y el tiempo transcurrido en los sistemas que componen cada cargador de mineral.

Tabla 3: Rutinas de mantenimiento aplicadas a cada equipo y flota.

RUTINAS DE MANTENIMIENTO EN FLOTA JULIO, AGOSTO, SEPTIEMBRE 2022				
PALA	MTTR	MTBF	DISPONIBILIDAD	TASA DE REPARACIÓN
90	8,91	18,78	67,8%	0,0532423
91	12,88	17,54	57,7%	0,0570144
92	10,53	23,75	69,3%	0,0420978
94	10,67	17,03	61,5%	0,0587327
FLOTA	10,71	19,09	64,2%	0,0933937

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Ilustración 4: Gráfico rutinas cotidianas de mantenimiento tramo noventa días.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Después de llevar a cabo las rutinas cotidianas de mantenimiento, se ha observado que la disponibilidad proporcionada por el departamento de mantenimiento a las operaciones y la producción de la mina no está alcanzando resultados satisfactorios para su principal actividad, que es mantener un mínimo del ochenta por ciento del tiempo total de funcionamiento. Aunque los intervalos entre las interrupciones (MTBF) son aceptables, la frecuencia de las interrupciones reflejada en la tabla número dos, hace que el tiempo

promedio de reparación aumente, contrarrestando el aumento en la productividad del departamento de mantenimiento (disponibilidad).

Un análisis de la cantidad de detenciones permite comprender qué equipos han obtenido mejores resultados en términos de disponibilidad, producción en su funcionamiento y así aprovechar los equipos con un mayor número de fallas para administrar de manera eficiente los tiempos y tipos de detenciones. De esta manera, podemos optimizar el rendimiento de los equipos y su producción operacional.

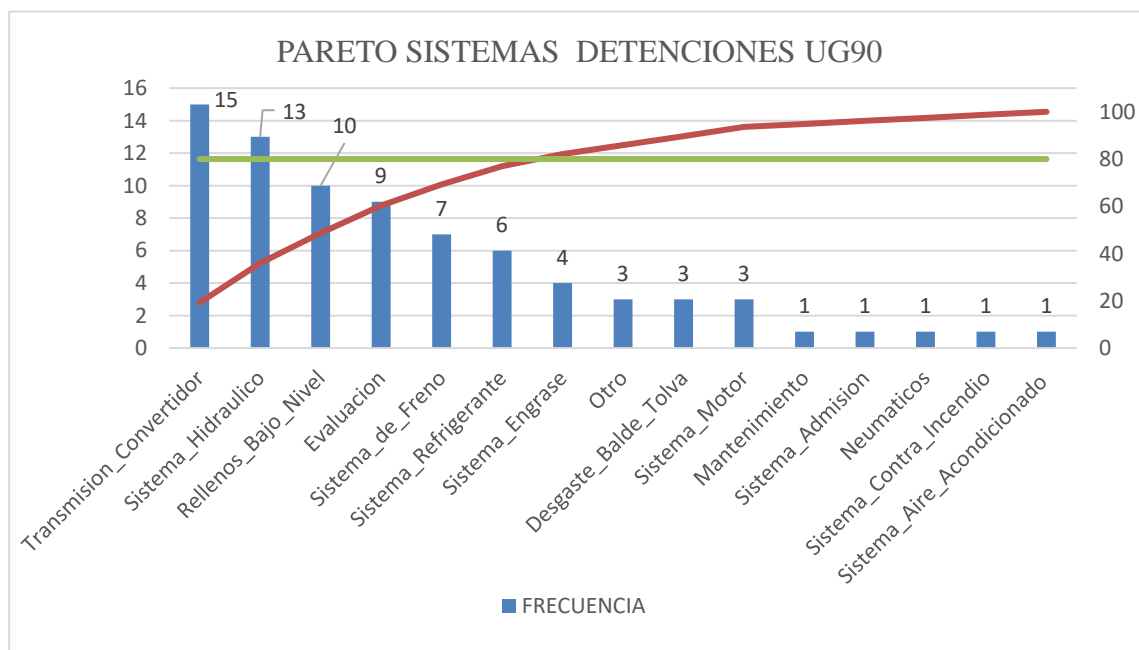
### 5.3- Interpretación de registro de detenciones de equipo UG90

Tabla 4: Desglose detenciones UG90 y rutinas cotidianas de mantenimiento.

EQUIPO	MTTR	MTBF	DISP	TASA FALLA	TASA REPARACIÓN	BETA	ALFA
90	8,91	18,78	68%	0,0361111	0,11223022	0,651827	144,61

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

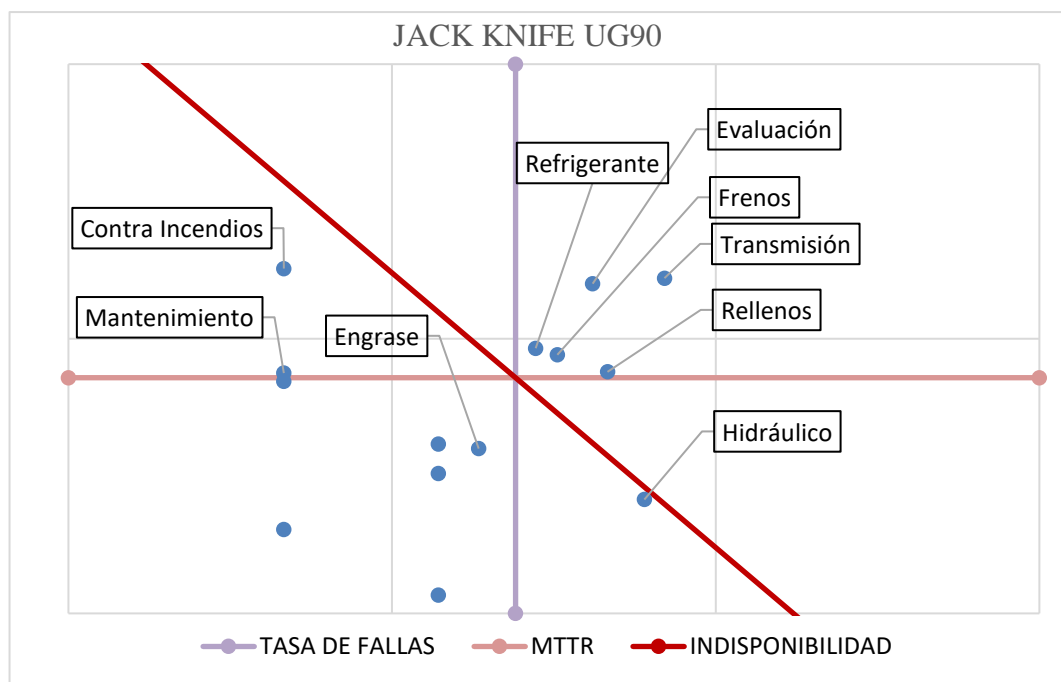
Ilustración 5: Gráfico Pareto de sistemas y porcentaje de detenciones UG90.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

A partir de los datos registrados, se han elaborado gráficos de Pareto para visualizar los sistemas más afectados por la frecuencia de detenciones de cada equipo. La línea ochenta en el gráfico indica el punto en el que se acumula el ochenta por ciento de las detenciones.

Ilustración 6: Gráfico de dispersión con zona crítica de falla, indisponibilidad y reparación.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Se ha incluido un gráfico de dispersión que representa las áreas críticas en términos de interrupciones y tiempo de reparación. Se han tenido en cuenta los tipos de interrupciones que, aunque se resuelven rápidamente, afectan nuestro rendimiento en términos de calidad de trabajo.

A su vez, apoyados por personal técnico del área de ingeniería, se realizó un proceso de análisis de modos de fallas en los sistemas críticos reflejados en los diferentes KPI's y Jack knife, para definir tipos de mitigaciones y entregar responsables en la generación de actividades como método de aplicación inmediata para el personal actualmente operando en las diferentes áreas, tanto en las operaciones de mantenimiento como en la producción de la mina, generar una visión de prevención de fallas durante su periodo de trabajo, sin complicar los diferentes procesos involucrados en la producción de las áreas que conformen la empresa.

Tabla 5: Análisis de modos de fallas en rutinas de mantenimiento UG90.

Sistemas	Modos de falla	Consecuencias	Gravedad	Cant	Prioridad	Npr	Mitigación	Responsable
Transmisión	Falla Interna	Falla Catastrófica	3	15	1	45	Programar mantenimientos	Mantenimiento
Relleno	Filtración	Contaminación	2				10	
Evaluación	Implementos	Operatividad	2	9	1	18	Instruir personal operador	
Frenos	Falla Interna	Falla Catastrófica	3	7	2	42	Inspeccionar sistemas y componentes	Mantenimiento
Refrigerante	Alza de temperatura			6	1	18	Programar mantenimientos	
Hidráulico	Filtración			13	1	39	Inspeccionar sistemas y componentes	
Contra Incendios	Falla Interna			1	2	6	Inspeccionar sistemas y componentes	
Engrase	Programa	Operatividad	2	4	1	8	Programar mantenimientos	Producción
	Filtración						Instruir personal operador	

Fuente: Elaboración propia.

Se han asignado actividades generales para cada área operativa de la empresa, tanto en el área de mantenimiento como la producción de la mina, reforzando la programación de detenciones preventivas de los equipos para inspecciones de sistemas, componentes y planificar actividades de mayores recursos.

Para la información reflejada en la tabla de análisis de falla, se tomaron situaciones y condiciones que afecten la producción como área de mantenimiento en sus diversas actividades de inspección y/o mantención en el equipo, considerando aspectos generales



de los gráficos Pareto y Jack Knife para dar inicio a tipos de actividades que involucren programar tareas específicas en diversos sistemas que compongan los equipos y la flota.

Los puntos críticos que requieren atención se encuentran en los sistemas de transmisión de movimiento, evaluaciones, rellenos, sistemas hidráulicos y frenos. Esto implica tomar medidas rápidas, como solicitar el monitoreo y control de las condiciones de los componentes rotativos, llevar a cabo evaluaciones in situ del sistema de tren de potencia que consideren el estado físico de los componentes rotativos y las presiones de funcionamiento de los componentes de transmisión del equipo, desde el convertidor de torque hasta la última reducción planetaria (en el caso de nuestros equipos, los mandos finales, es decir, el piñón y la corona). Además, se deben realizar mejoras en las evaluaciones hidráulicas y trabajar en la prevención de filtraciones causadas por desgaste abrasivo entre elementos o filtraciones entre componentes menores.

Considerando la información entregada en la tabla número cuatro, podemos obtener resultados a indicadores de confiabilidad, probabilidad de falla y mantenibilidad.

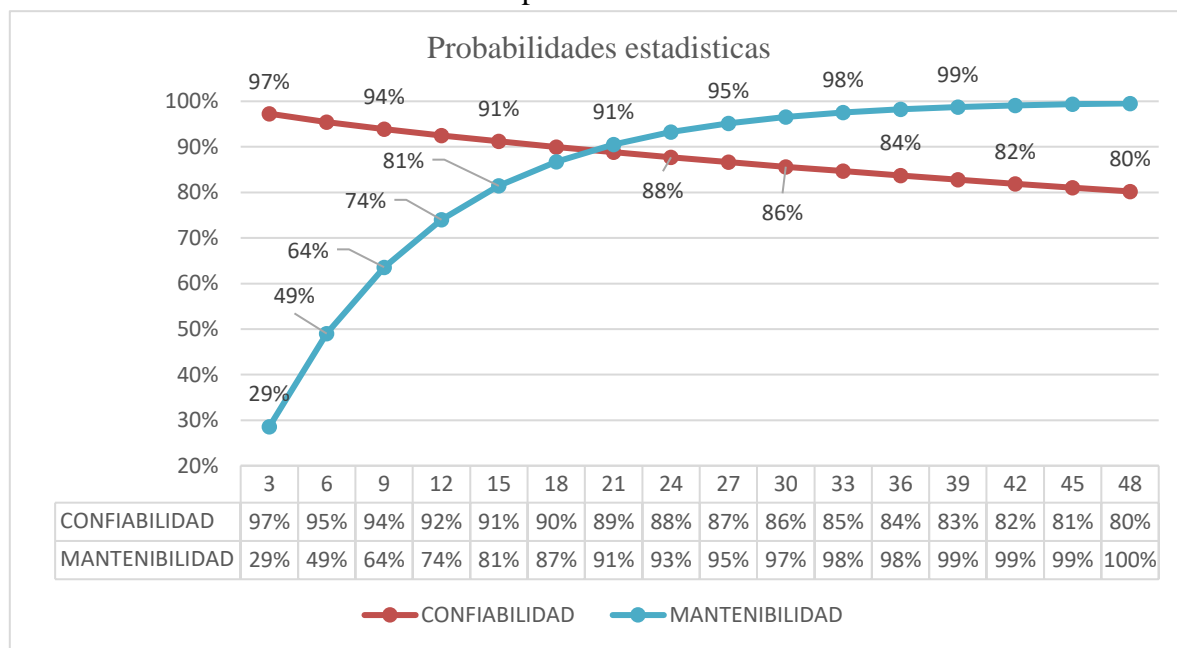
Tabla 6: Iteración de tiempo y estadísticas probabilísticas UG90.

PROBABILIDAD DE FALLOS				
Iteración	Prob. Falla	Confiabilidad	Densidad	Mantenibilidad
3	8%	92%	0,0155431	25%
6	12%	88%	0,0114650	43%
9	15%	85%	0,0094970	57%
12	18%	82%	0,0082584	68%
15	20%	80%	0,0073788	75%
18	22%	78%	0,0067089	82%
21	24%	76%	0,0061748	86%
24	26%	74%	0,0057349	89%
27	27%	73%	0,0053638	92%
30	29%	71%	0,0050449	94%
33	30%	70%	0,0047668	95%
36	32%	68%	0,0045212	97%
39	33%	67%	0,0043022	97%
42	34%	66%	0,0041052	98%
45	36%	64%	0,0039268	99%
48	37%	63%	0,0037641	99%

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Se realizó una iteración de tres horas hasta las cuarenta y ocho horas, que corresponden a dos días para la generación de indicadores de confiabilidad y mantenibilidad. Los porcentajes obtenidos en la aplicación de fórmulas matemáticas para representar la probabilidad de fallar y la probabilidad de reposición de los equipos post intervención mecánica fueron entregados al directorio de mantenimiento y producción.

Ilustración 7: Grafico probabilidades estadísticas UG90.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Conforme a los resultados obtenidos, los tipos de detenciones a adoptar de forma inmediata caben en un lapso de 12 a 18 horas de operación para una detención preventiva, que incluya el abastecimiento de consumibles (Grasa, rellenos hidráulicos, agua limpiaparabrisas), inspección visual y evaluación de sistemas críticos durante 3 horas en el equipo para programar actividades según el estado de estos. Al detectar un hallazgo en la inspección, si su criticidad implica la falla catastrófica de un componente o ponga en riesgo al operador del equipo, este se detendrá de forma inmediata para corregir condiciones subestándares que afecten la integridad de quien opera el equipo, así mismo la maquina como activo. Esta información fue entregada al directorio de mantenimiento y en reuniones con el directorio de operaciones y producción, consensuaron porcentajes válidos para la aplicación de actividades de mantenimiento como medida de mitigación inmediata.

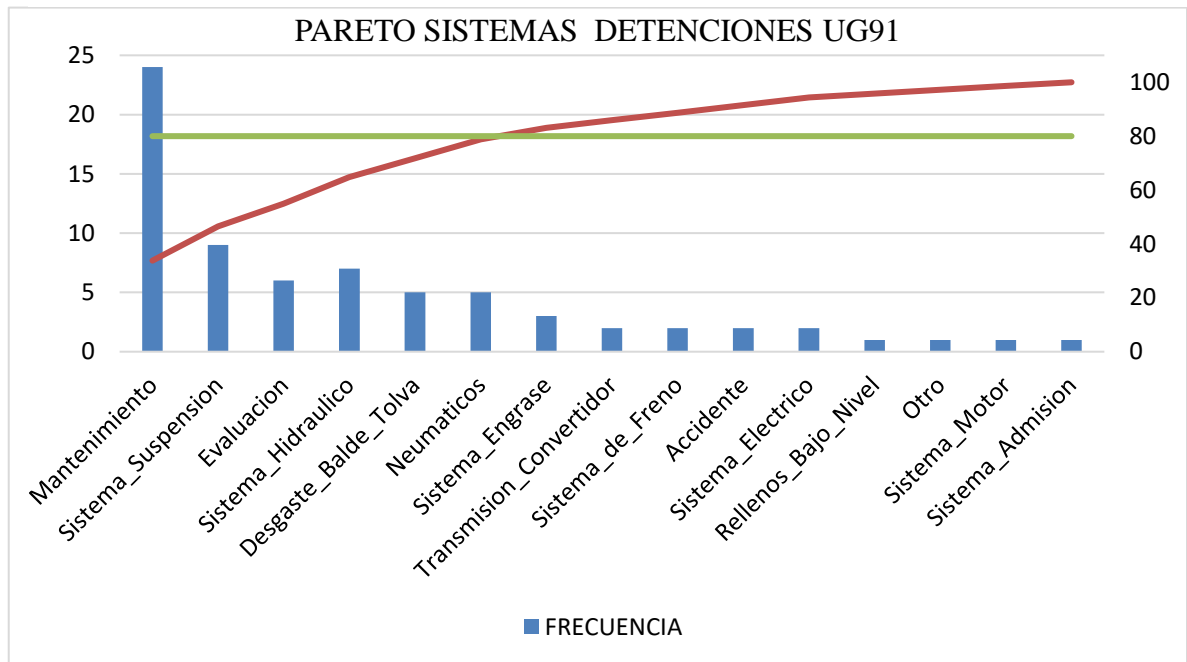
#### 5.4- Interpretación de registro de detenciones de equipo UG91

Tabla 7: Desglose detenciones UG91 y rutinas cotidianas de mantenimiento.

EQUIPO	MTTR	MTBF	DISPONIBILIDAD	TASA FALLA	TASA REPARACIÓN	BETA	ALFA
91	12,88	17,54	58%	0,032870	0,077621	0.6390	227,79

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Ilustración 8: Gráfico Pareto de sistemas y porcentaje de detenciones UG91.



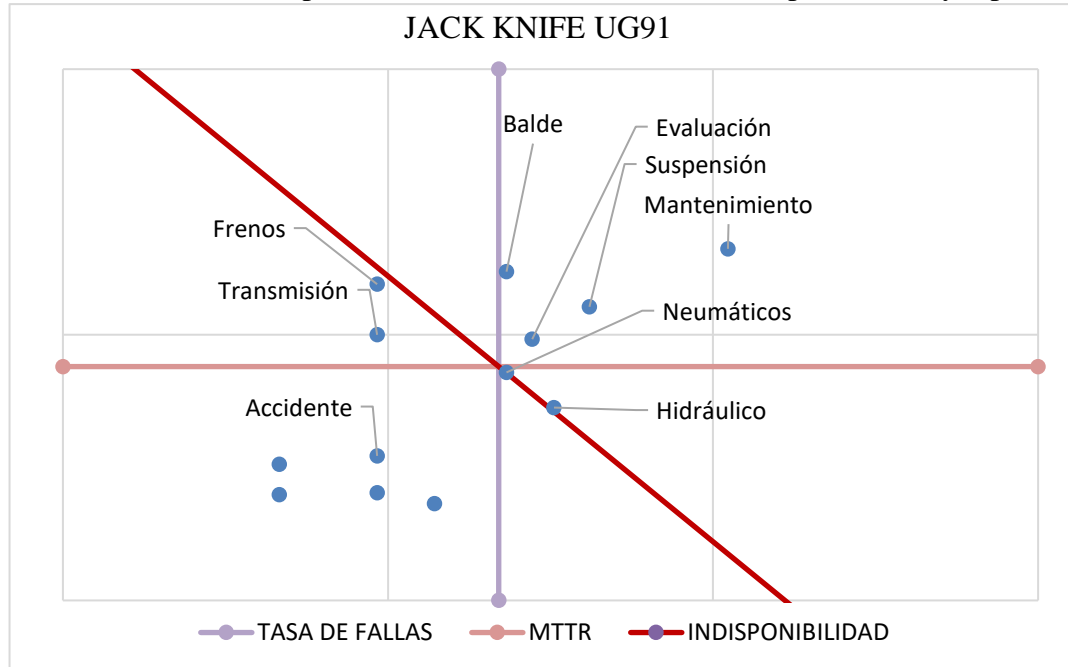
Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

La cantidad de detenciones y el tiempo dedicado a las evaluaciones de detenciones imprevistas en el equipo, las detenciones debidas a labores de mantenimiento, así como los problemas relacionados con la transmisión y los sistemas de frenado, indican una deficiencia en la eficiencia y calidad de nuestros trabajos. Además, el desgaste prematuro del balde en el equipo, las interrupciones en el sistema de suspensión del balde, las detenciones inesperadas causadas por problemas con los neumáticos y los accidentes registrados, nos llevan a reflexionar sobre las condiciones de operación en la mina subterránea.

La ilustración número ocho refleja una larga historia de detenciones por mantenimiento, junto con la frecuencia de detenciones por evaluación y el sistema de suspensión del balde. Estos factores son determinantes para evaluar la criticidad de las detenciones por mantenimiento, desglosar el total de los trabajos para dar una nueva

clasificación de detenciones en el equipo y transparentar la realidad de lo ocurrido en el tramo de los noventa días comprendidos para el estudio. Además, es importante tener en cuenta que los componentes de sacrificio requieren monitoreo y control según tiempo de utilización del equipo debido a su desgaste inminente, como se refleja en la cantidad de detenciones y el tiempo estimado para reparar el sistema del balde.

Ilustración 9: Gráfico de dispersión con zona crítica de falla, indisponibilidad y reparación.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

El gráfico de dispersión representa las áreas críticas en términos de detenciones y tiempo de reparación. También considera diferentes tipos de detenciones, donde, aunque la probabilidad de falla es menor que el promedio, el tiempo necesario para restablecer sus funciones afecta nuestros indicadores de rendimiento como equipo de mantenimiento. En cuanto a las detenciones imprevistas por evaluaciones en el equipo, larga data de mantenimiento y los tipos de detenciones que afectan componentes de desgaste inminente, se deben analizar detenidamente sus causas subyacentes y tomar medidas para prevenirlas en el futuro. Esto puede incluir una mayor planificación e inspección para programación de actividades de mantenimiento con enfoque preventivo y capacitación adecuada para el personal que opera el equipo.

Personal técnico del área de ingeniería y mantenimiento realizó su análisis de modos de falla en el equipo, entregando la siguiente información:

Tabla 8: Analisis de modos de fallas en rutinas de mantenimiento UG91.

Sistemas	Modos de falla	Consecuencias	Gravedad	Cant	Prioridad	Npr	Mitigación	Responsable
Mantenimiento	Falla catastrófica	Operatividad	3	24	3	216	Programar tipos de detenciones para inspecciones, abastecimientos y engrases de equipos.	MANTENIMIENTO
Balde				5	3	45		
Suspensión				9	3	81		
Hidráulico	Filtración	Contaminación	2	7	2	28		
Evaluación	Falla eléctrica	Operatividad	3	6	1	18	Rectificar condiciones de operación	OPERACIONES
Transmisión	Falla Interna				2	1		
Frenos		Falla catastrófica		2	2	12		
Accidente	Vidrios	Operatividad	2	2	2	8	Instruir personal operador	

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Es importante enfatizar el impacto que generamos con nuestras acciones que afecten nuestra integridad y seguridad laboral. Se aplicaron medidas correctivas para prevenir que se repitan modos de fallas por accidentes en el futuro, se incluyeron revisiones de procedimientos de trabajo de carga y operación del equipo, capacitaciones adicionales en seguridad, promocionar así una cultura de seguridad en toda la organización, demostrando que se puede trabajar y producir de forma segura, previniendo fallas que involucren el desgaste excesivo de componentes de sacrificio y obtener una reparación o sustitución oportuna de estas piezas, hablando de componentes como neumáticos, balde y explorar en opciones más resistentes y duraderas que se adapten mejor a las condiciones de trabajo específicas de la mina subterránea o bien recomendadas por fabricante.

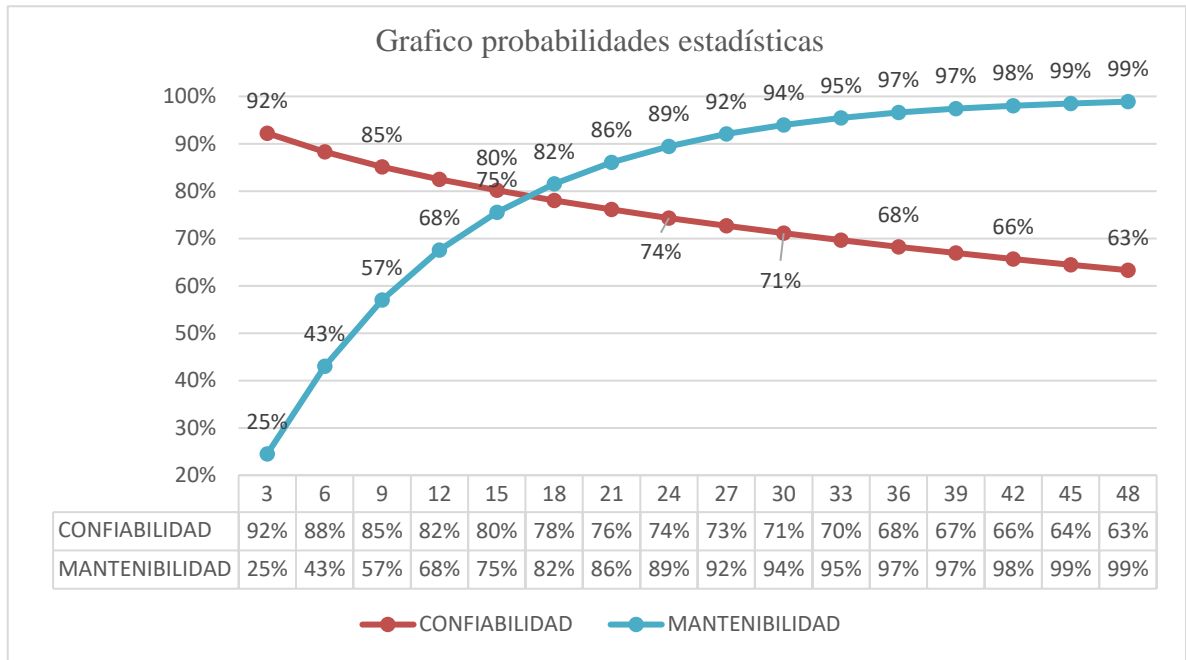
Tabla 9: Iteración de tiempo y estadísticas probabilísticas UG91.

Probabilidad de fallos				
Iteración	Prob. Falla	Confiabilidad	Densidad	Mantenibilidad
3	6%	94%	0,0125741	21%
6	9%	91%	0,0094536	37%
9	12%	88%	0,0079334	50%
12	14%	86%	0,0069701	61%
15	16%	84%	0,0062822	69%
18	18%	82%	0,0057556	75%
21	20%	80%	0,0053339	80%
24	21%	79%	0,0049851	84%
27	23%	77%	0,0046898	88%
30	24%	76%	0,0044350	90%
33	25%	75%	0,0042120	92%
36	26%	74%	0,0040144	94%
39	28%	72%	0,0038376	95%
42	29%	71%	0,0036781	96%
45	30%	70%	0,0035331	97%
48	31%	69%	0,0034006	98%

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Con los datos obtenidos en la tabla número siete de la página cuarenta y tres, obtuvimos resultantes para los indicadores de confiabilidad, probabilidad de falla y probabilidad de reposición del equipo post horas de intervención, se graficaron sus tendencias en base a iteración de tres hasta cuarenta y ocho horas, correspondiente a dos días de operación continua o de reparación si lo amerita. Interpretando por ejemplo que, tras quince horas de operación, la probabilidad de que el equipo falle, sin importar la cantidad de horas de detención, será de un dieciséis por ciento. Por otra parte, si el tiempo para reparar el equipo es de quince horas, la probabilidad de que este vuelva a cumplir sus funciones será de un sesenta y nueve por ciento.

Ilustración 10: Grafico probabilidades estadísticas UG91.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Apoyado por el gráfico de confiabilidad, los resultados obtenidos fueron entregados al directorio de mantenimiento y a cliente, argumentando que los tipos de detenciones a adoptar de forma inmediata cabe en un lapso de doce a dieciocho horas de operación para una detención preventiva, que incluya el abastecimiento de consumibles (Grasa, rellenos hidráulicos, agua limpiaparabrisas), inspección visual y evaluación de sistemas críticos durante 3 horas en el equipo para programar actividades según el estado de estos. Al detectar un hallazgo en la inspección, si su condición contempla la falla catastrófica de un componente por desgaste excesivo, rotura por incidente o daño material que ponga en riesgo al operador del equipo, este se detendrá de forma inmediata, se reportará su condición en base a la criticidad de lo detectado para posteriormente corregir condiciones subestándares que afecten la integridad de quien opera el equipo, así mismo la maquina como activo. Esta información fue entregada al directorio de mantenimiento y en reuniones con el directorio de operaciones y producción, consensuaron porcentajes válidos para la aplicación de actividades de mantenimiento como medida de mitigación de tipos de detenciones.

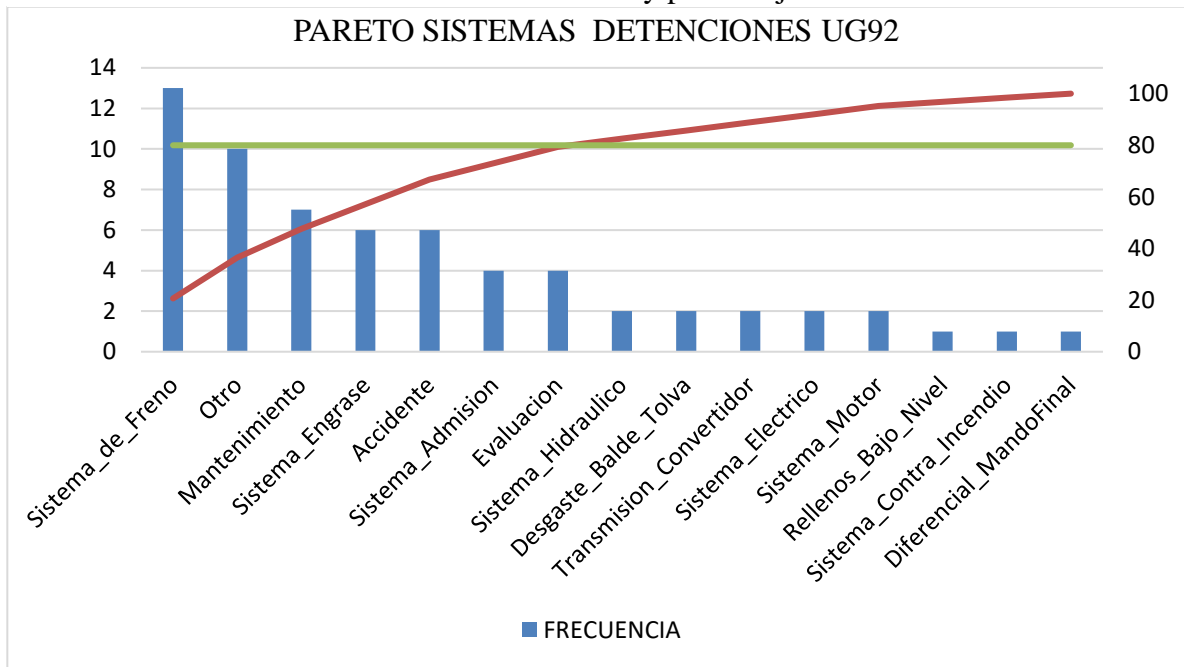
### 5.5- Interpretación de registro de detenciones de equipo UG92

Tabla 10: Desglose de detenciones UG92 y rutinas cotidianas de mantenimiento.

EQUIPO	MTTR	MTBF	DISPONIBILIDAD	TASA FALLA	TASA REPARACIÓN	BETA	ALFA
91	10,53	23,75	69%	0,029167	0,094953	0,6435	143,67

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Ilustración 11: Gráfico Pareto de sistemas y porcentaje de detenciones UG92.

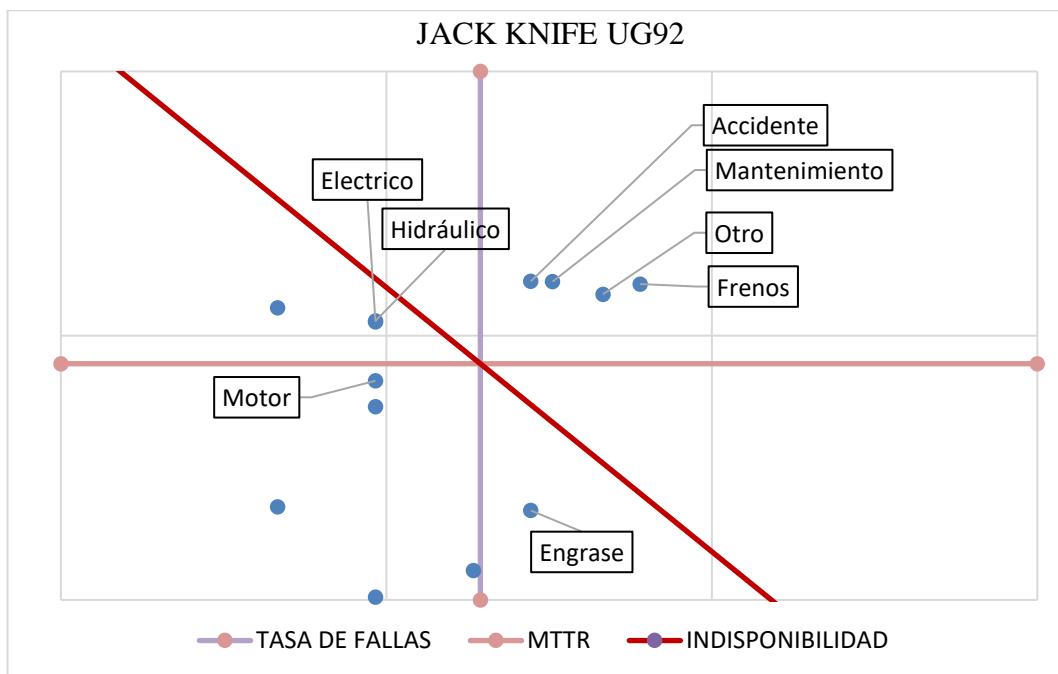


Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Uno de los desafíos identificados es la falta de información para la clasificación de sistemas, específicamente en el caso del sistema "otro". Este sistema ha representado detenciones del equipo en terreno debido a la rotura del eje cardán en su sistema de tren de potencia. Para abordar esta falta de información, es esencial realizar un análisis exhaustivo de las actividades realizadas y considerar la incorporación de nuevas estrategias de gestión de activos que permitan una mejor clasificación de los sistemas y una mayor comprensión de sus modos de falla.



Ilustración 12 Gráfico de dispersión con zona crítica de falla, indisponibilidad y reparación.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Un enfoque clave para mejorar la gestión del mantenimiento y la confiabilidad de los equipos es realizar evaluaciones físicas de los componentes, desde la salida rotatoria del motor hasta la última reducción planetaria. Especial atención debe darse a los mandos finales de los equipos, ya que desempeñan un papel fundamental en el rendimiento y la operatividad. Esto implica llevar a cabo inspecciones periódicas, pruebas de desgaste, monitoreo de condiciones internas y análisis de lubricantes reemplazados para detectar posibles problemas mecánicos y tomar medidas preventivas antes de que ocurran fallas catastróficas.

Además, se deben fortalecer las actividades administrativas relacionadas a la gestión de activos y el mantenimiento. Esto implica mantener un stock crítico de repuestos para cubrir imprevistos operativos y daños materiales, con el fin de minimizar los tiempos de detención por falta de repuestos. También es esencial garantizar una rápida disponibilidad de elementos menores necesarios para los trabajos en los sistemas de engrase, lo que contribuirá a mantener el buen funcionamiento de los equipos y reducir las probabilidades de falla.

Tabla 11: Análisis de modos de fallas en rutinas de mantenimiento UG92.

Sistemas	Modos de falla	Consecuencias	Gravedad	Cant	Prioridad	Npr	Mitigación	Responsable
Frenos	Falla Interna	Falla Catastrófica	3	15	3	135	Programar tipos de detenciones para inspecciones, abastecimientos y engrases de equipos.	MANTENIMIENTO
Otro	Falla Catastrófica			10	2	60		
Mantenimiento	Programa	Operatividad		9	2	54	Instruir personal operador	OPERACIONES
	Baja eficiencia							
Accidente	Falla Catastrófica			7	3	63		
Engrase	Programa			6	2	36	Programar mantenimientos	MANTENIMIENTO
	Filtración							
Hidráulico	Filtración			13	2	78	Instruir personal operador	OPERACIONES
Eléctrico	Falla de cables			1	3	9		
Motor	Baja eficiencia			4	3	36		
	Filtración							

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

La rotura del cárter del motor diésel como modo de falla operacional y la baja disponibilidad de repuestos para atender la criticidad de las fallas generadas han afectado la priorización de la contingencia de atención de los equipos de producción, en la etapa de extracción de minera, restándole atención a las detenciones programadas por mantenimiento preventivo. Esto ha llevado a un aumento en el tiempo medio de reparación de la condición y ha generado eventos operacionales registrados, lo cual plantea preocupaciones sobre las condiciones de operación en la mina subterránea. Para abordar esta situación, es fundamental implementar estrategias de programación de detenciones, instruir personal mecánico sobre la criticidad del equipo en cuanto a inspecciones y

abastecimiento de consumibles en el equipo, además de solicitar al área de abastecimiento de la empresa minera, mejorar la disponibilidad de repuestos críticos de equipos que afectan directamente la producción de mineral extraído de túneles subterráneos.

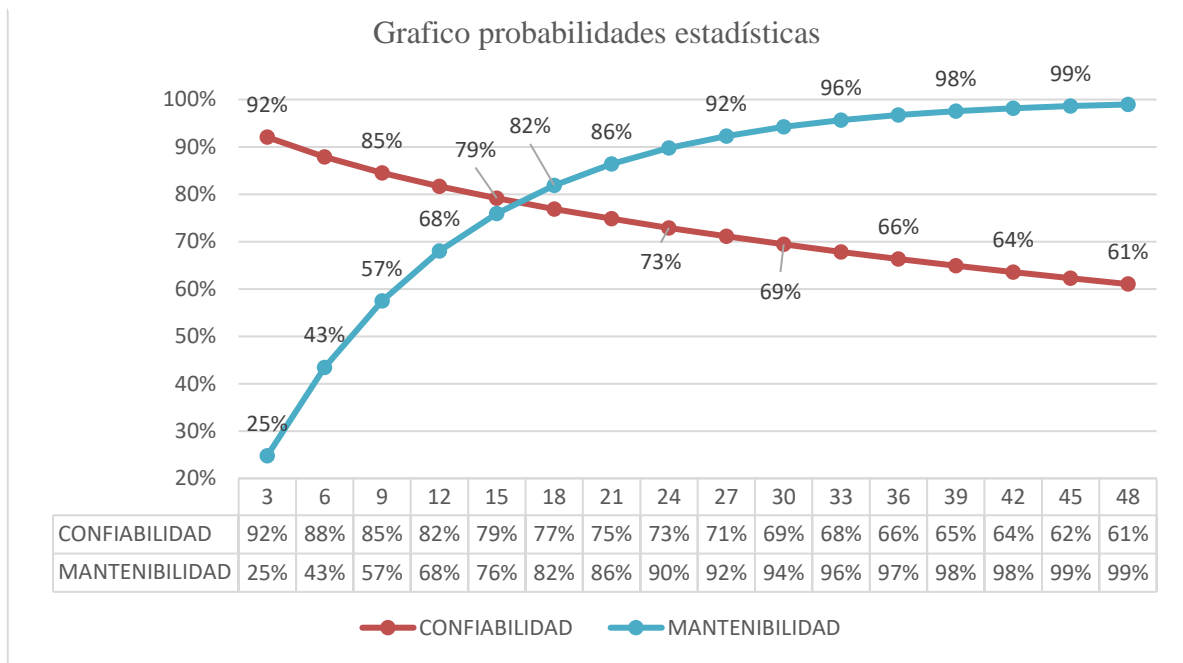
Tabla 12: Iteración de tiempo y estadísticas probabilísticas UG92.

PROBABILIDAD DE FALLOS				
Iteración	Prob. Falla	Confiabilidad	Densidad	Mantenibilidad
3	8%	92%	0,0163730	25%
6	12%	88%	0,0122061	43%
9	15%	85%	0,0101633	57%
12	18%	82%	0,0088643	68%
15	21%	79%	0,0079346	76%
18	23%	77%	0,0072222	82%
21	25%	75%	0,0066513	86%
24	27%	73%	0,0061792	90%
27	29%	71%	0,0057795	92%
30	31%	69%	0,0054348	94%
33	32%	68%	0,0051334	96%
36	34%	66%	0,0048667	97%
39	35%	65%	0,0046283	98%
42	36%	64%	0,0044135	98%
45	38%	62%	0,0042186	99%
48	39%	61%	0,0040406	99%

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Con los datos obtenidos en la tabla número diez de la página cuarenta y ocho, obtuvimos resultantes para los indicadores de confiabilidad, probabilidad de falla y probabilidad de reposición del equipo post horas de intervención, se graficaron sus tendencias en base a iteración de tres hasta cuarenta y ocho horas, correspondiente a dos días de operación continua o de reparación si lo amerita. Interpretando por ejemplo que, tras quince horas de operación, la probabilidad de que el equipo falle, sin importar la cantidad de horas de detención, será de un veintiún por ciento. Por otra parte, si el tiempo para reparar el equipo es de quince horas, la probabilidad de que este vuelva a cumplir sus funciones será de un setenta y seis por ciento.

Ilustración 13: Grafico probabilidades estadísticas UG92.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

En resumen, los tipos de detenciones a adoptar de forma inmediata caben en un lapso de doce a veintiún horas de operación para una detención preventiva, que incluya el abastecimiento de consumibles (Grasa, rellenos hidráulicos, agua limpiaparabrisas), inspección visual y evaluación de sistemas críticos durante tres horas en el equipo para programar actividades según el estado de estos. Para mejorar la gestión del mantenimiento, la confiabilidad y la mantenibilidad del equipo, es necesario abordar las áreas identificadas en términos de tiempos de espera por falta de repuestos. Esto implica realizar un levantamiento de componentes mayores de los sistemas principales de los equipos para mejorar la disponibilidad de repuestos críticos, realizar evaluaciones físicas de componentes clave y fortalecer los procesos administrativos relacionados con la gestión de activos. Estas acciones contribuirán a mejorar los indicadores de rendimiento del equipo de mantenimiento y a garantizar una operación más eficiente y confiable en la mina subterránea. Esta información fue entregada al directorio de mantenimiento y en reuniones con el directorio de operaciones y producción, consensuaron porcentajes válidos para la aplicación de actividades de mantenimiento como medida de mitigación inmediata.

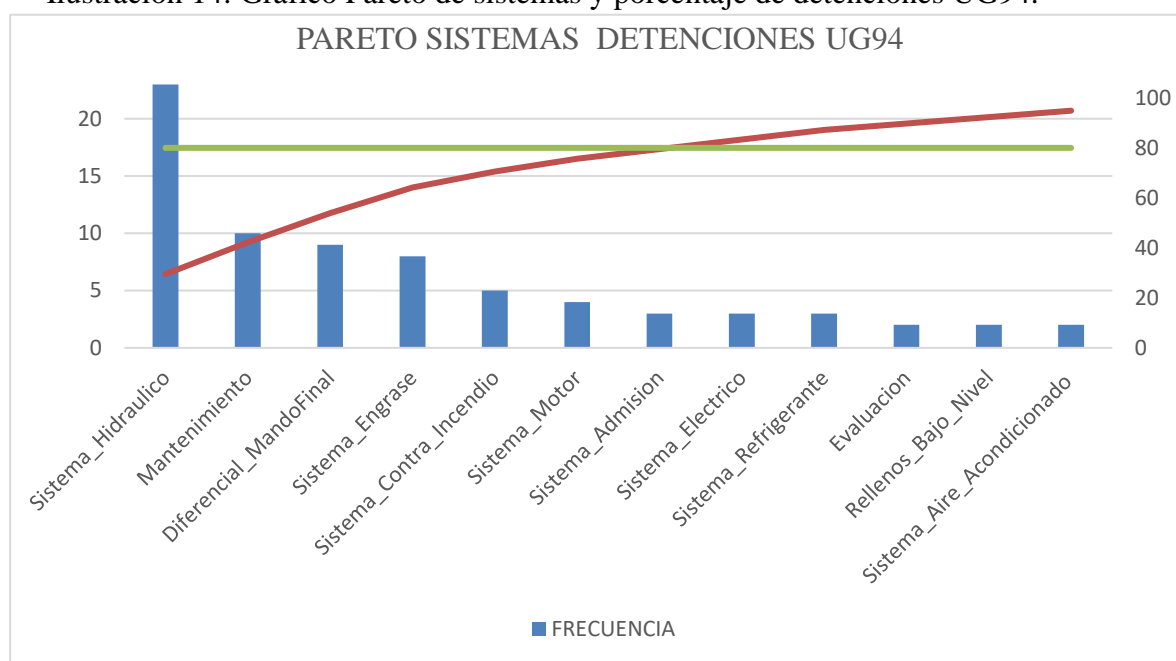
## 5.6- Interpretación de registro de detenciones de equipo UG94

Tabla 13: Tabla desglose detenciones UG94 y rutinas cotidianas de mantenimiento.

EQUIPO	MTTR	MTBF	DISPONIBILIDAD	TASA FALLA	TASA REPARACIÓN	BETA	ALFA
91	10,67	17,03	61%	0,036111	0,093756	0,62422	168,15

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

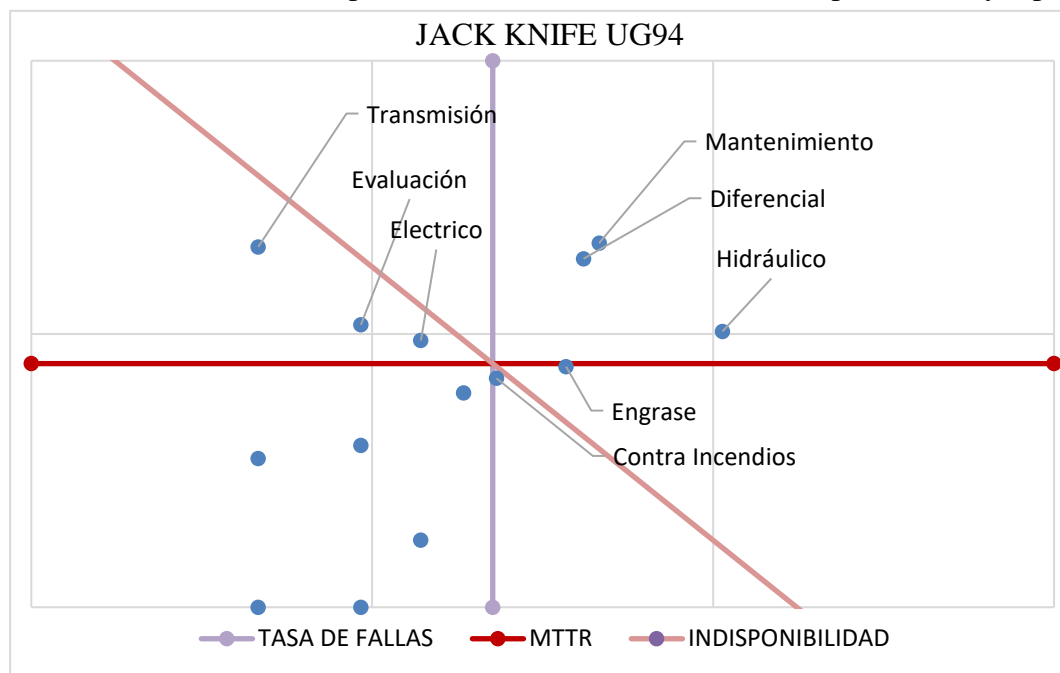
Ilustración 14: Gráfico Pareto de sistemas y porcentaje de detenciones UG94.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Los puntos críticos a atender se encuentran en los sistemas hidráulicos debido a su alta frecuencia de detenciones, el sistema de tren de potencia por su prolongado tiempo de reparación, y el sistema de engrase. Aunque estos aspectos no deberían afectar negativamente nuestro trabajo como mantenedores, el registro de detenciones revela la falta de herramientas y repuestos necesarios para realizar tanto el engrase manual como el funcionamiento del sistema automático de engrase. Es crucial abordar estas deficiencias y garantizar que contemos con los recursos adecuados para mantener el equipo en óptimas condiciones de funcionamiento. En particular, la falta de claridad en el tipo de intervenciones de mantenimiento genera confusión en el análisis de las detenciones, ya que se describen actividades que deberían tomar un máximo de dos horas, sin embargo, estas se extienden hasta las veinticuatro horas.

Ilustración 15: Gráfico de dispersión con zona crítica de falla, indisponibilidad y reparación.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

El gráfico de dispersión representa zonas críticas de detención y tiempos críticos de reparación, como también se consideran tipos de detenciones que, si bien su probabilidad de fallar o detenerse por tal sistema sea menor a la media, su tiempo medio a reparar incide directamente en el resultante de nuestros indicadores de desempeño.

En este caso, se observa que hay contabilizaciones significativas de reparaciones por rotura de componentes de larga extensión de tiempo, especialmente en los sistemas hidráulicos y el tren de potencia (transmisión, diferencial). Es importante destacar que la falta de componentes con un stock mínimo estratégico y herramientas específicas para el reemplazo de piezas ha generado demoras significativas en las labores de mantenimiento. Esto ha provocado la necesidad de tomar medidas como retirar componentes que no se utilizan actualmente por estar fuera de la norma de funcionamiento, con el fin de agilizar su puesta en marcha. Estas actividades adicionales han incrementado el tiempo promedio de reparación (MTTR) y la frecuencia de las detenciones, afectando negativamente la disponibilidad del equipo y sus sistemas internos por contaminación.

Tabla 14: Análisis de modos de fallas en rutinas de mantenimiento UG94.

Sistemas	Modos de falla	Consecuencias	Gravedad	Cant	Prioridad	Npr	Mitigación	Responsable	
Hidráulico	Filtración	Operatividad	2	23	2	92	Programar tipos de detenciones para inspecciones, abastecimientos y engrases de equipos.	MANTENIMIENTO	
Transmisión	Falla catastrófica		3						1
				Diferencial	Falla Interna	2			9
Mantenimiento	Programa		2			10			1
Contra Incendios	Modulo suelto		2	5	1	10			
Eléctrico	Baja eficiencia		2	3	1	6			
Evaluación				2	1	4			
Engrase	Programa		2	8	2	32	Instruir personal operador		OPERACIONES
	Filtración								

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

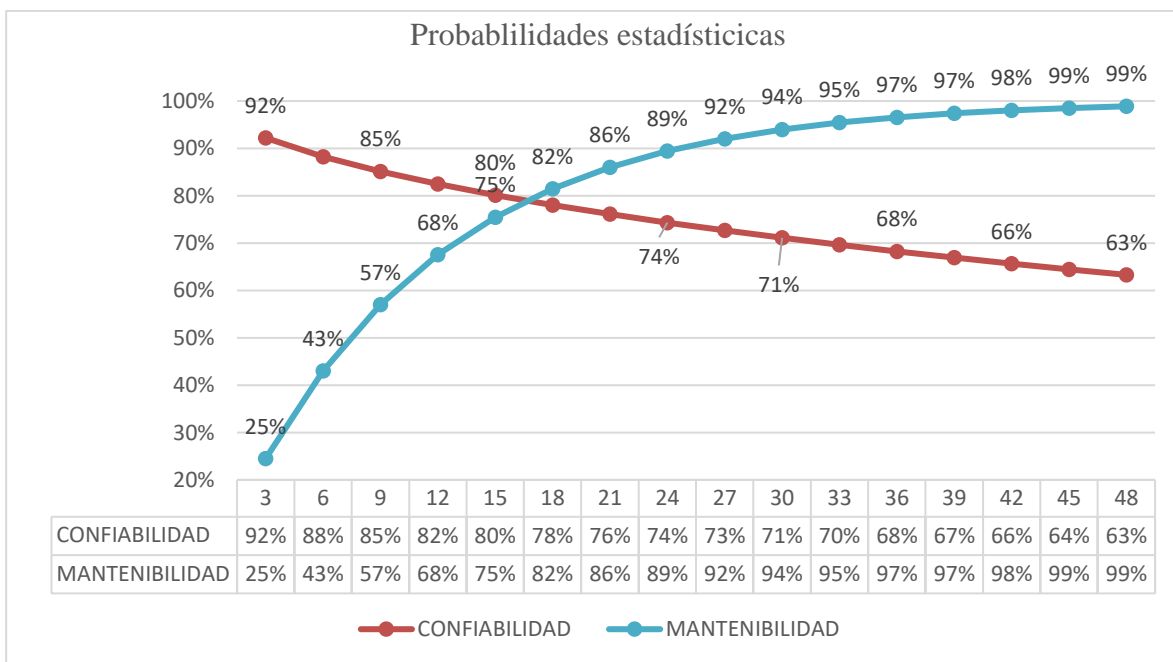
Es fundamental implementar acciones de mitigación de detenciones y estrategias de gestión de actividades de mantenimiento y activos para mejorar la eficiencia y la confiabilidad de nuestros procesos productivos. Esto implica contar con un stock mínimo estratégico de repuestos y herramientas necesarias para el reemplazo de componentes, así como establecer criterios claros de intervención y clasificación de detenciones. De esta manera, podremos asignar recursos de forma adecuada y eficiente, optimizando el rendimiento de nuestros trabajos de mantenimiento. Al mejorar la comunicación y la colaboración, así como implementar sistemas de capacitación adecuada para el personal encargado del mantenimiento, compuesto por los equipos de labores de mantenimiento y responsables de la gestión de procesos productivos, se logrará una mejor planificación y programación de actividades de mantenimiento. Esto permitirá minimizar el impacto en la operación y reducir los tiempos de reparación.

Tabla 15: Iteración de tiempo y estadísticas probabilísticas UG94.

PROBABILIDAD DE FALLOS				
Iteración	Prob. Falla	Confiabilidad	Densidad	Mantenibilidad
3	8%	92%	0,0155431	25%
6	12%	88%	0,0114650	43%
9	15%	85%	0,0094970	57%
12	18%	82%	0,0082584	68%
15	20%	80%	0,0073788	75%
18	22%	78%	0,0067089	82%
21	24%	76%	0,0061748	86%
24	26%	74%	0,0057349	89%
27	27%	73%	0,0053638	92%
30	29%	71%	0,0050449	94%
33	30%	70%	0,0047668	95%
36	32%	68%	0,0045212	97%
39	33%	67%	0,0043022	97%
42	34%	66%	0,0041052	98%
45	36%	64%	0,0039268	99%
48	37%	63%	0,0037641	99%

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Ilustración 16: Grafico probabilidades estadísticas UG94.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.



Para el caso específico de este equipo, se sugiere al directorio de mantenimiento ser rigurosos en la solicitud de detención directa del equipo cada doce horas para inspección visual de componentes críticos de sus sistemas, abastecer de fluidos si fuese necesario, cuya finalidad sea mantener su operatividad a medida que se recopila información de condiciones para la programación de una reparación global de sus sistemas. El directorio de mantenimiento en reuniones con el directorio de operaciones y producción, consensuaron porcentajes válidos para la aplicación de actividades de mantenimiento como medida de mitigación inmediata y entregarán el equipo específico cada doce horas cuyo fin sea mantener una producción continua.

### **5.7- Impacto de la indisponibilidad en la producción.**

El área de producción fijó una ambiciosa meta de doce mil toneladas diarias de mineral extraído. Para lograrlo, se ha distribuido la meta equitativamente entre los cuatro equipos de carguío, lo que representa un promedio de tres mil toneladas diarias cargadas por equipo. Este valor óptimo se traduce en una eficiente carga de ciento cincuenta toneladas por hora por cargador. Este enfoque asegura una mayor productividad y un uso eficiente de los recursos disponibles. Además, el mantenimiento regular de los equipos de carguío garantiza su pleno funcionamiento y disponibilidad durante las operaciones, maximizando así la eficacia de la producción minera.

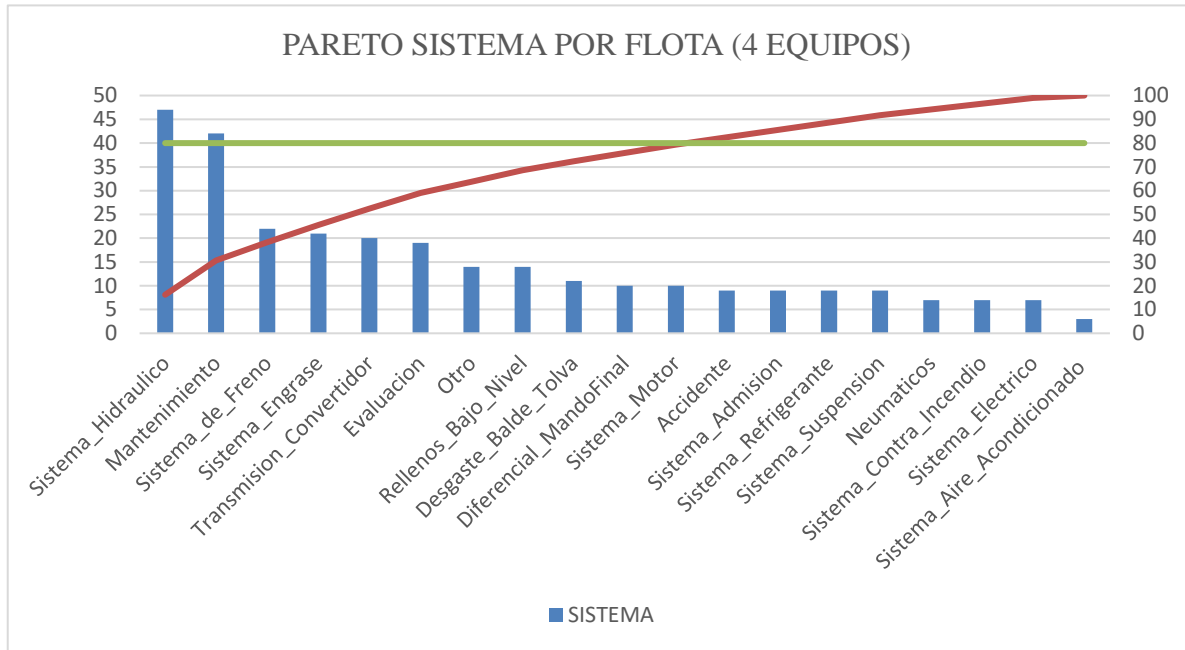
Por otra parte, la falta de información confiable, la comunicación deficiente y baja comprensión entre el personal ejecutante del mantenimiento y la gestión del mantenimiento, han tenido un impacto negativo en la mejora de los procesos productivos. Esta situación dificultó la difusión efectiva de la información, el control adecuado de las actividades y la coordinación en la solicitud de recursos para la ejecución de trabajos, especialmente aquellos que afectan la operación de carga de mineral. Como resultado, las detenciones programadas se extendieron más allá de lo planificado o proyectado, generando descontento y socavando la jerarquía organizacional, funciones específicas y los objetivos operacionales.

Tabla 16: Tabla de totales de detenciones y rutinas cotidianas de mantenimiento.

Equipo	N° Fallas	TTR	TBF	Disponibilidad	Tasa falla	Valor de carga
Flota	290	3105.13	5534.87	64%	0,03356	50 toneladas.

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Ilustración 17: Gráfico Pareto de sistemas aplicado en flota de cargadores.

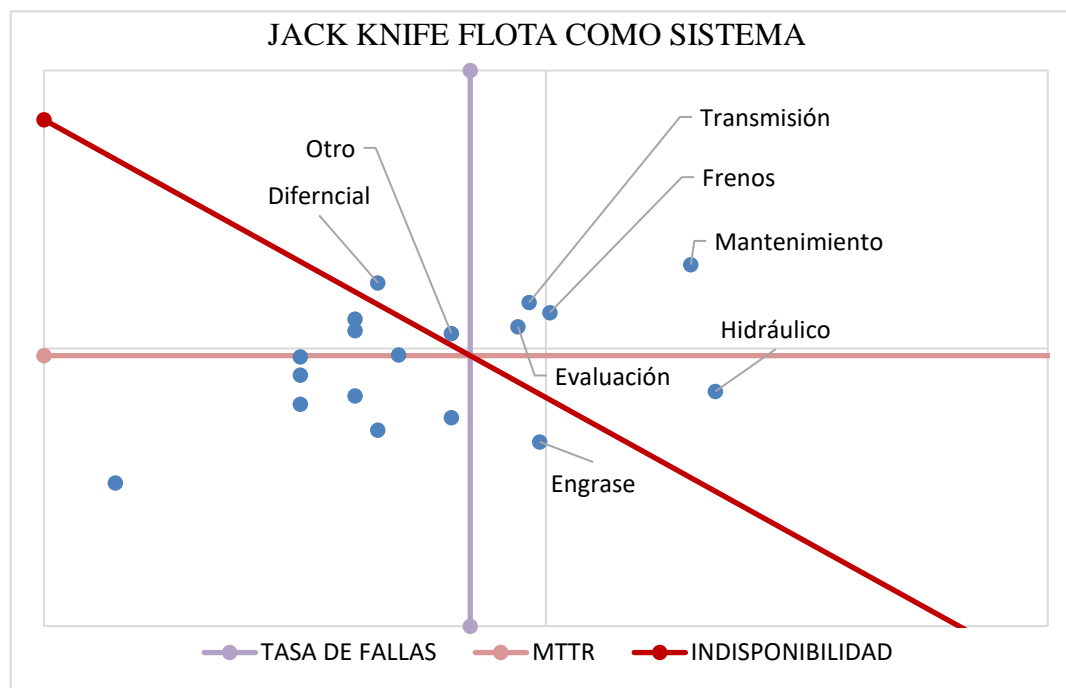


Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Se identificaron diferentes tipos de detenciones que afectaron la operación del área de producción, según lo expuesto en la ilustración número diecisiete. Los registros de detenciones revelaron una alta frecuencia de interrupciones relacionadas a filtraciones en sistemas hidráulicos, rellenos de dicho sistema y roturas de componentes del tren de potencia. Esta representación de las detenciones nombradas fue causada por la falta de determinación, en el tipo de condiciones o fallas exponenciales y catastróficas en los equipos y una comprensión limitada del funcionamiento técnico de sus sistemas, por ende, no existían estrategias en la mitigación de filtraciones de sistemas hidráulicos, localizando falencias en quienes ejecutan labores de mantenimiento durante el monitoreo de condiciones de la flota y quienes asesoran labores técnicas durante la intervención de un equipo en reparación, tras no considerar el impacto que genera una detención por filtraciones hidráulicas.

La falta de información registrada y la ausencia de un enfoque proactivo, en la generación de estrategias de gestión de activos, para el monitoreo del negocio y medición de desempeño, especialmente en el contexto de una flota nueva de equipos mineros subterráneos, dificultó aún más la planificación y programación eficiente del mantenimiento. Se aplicaron estrategias genéricas de mantenimiento, con modificaciones en base a experiencias anteriores. La ausencia de un sistema de gestión con indicadores de desempeño y metas operacionales en base a programas de mantenimiento dinámico, limita la capacidad de adaptarse y optimizar prácticas de mantenimiento de manera efectiva

Ilustración 18: Gráfico de dispersión con zona crítica de falla, indisponibilidad y reparación.



Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Por otra parte, la alta probabilidad de detenciones, debido a problemas en el sistema hidráulico, especialmente relacionados con fallas en los rellenos, tuvieron un impacto negativo en la mantenibilidad y la calidad de los trabajos ejecutados, lo cual se atribuye a una baja calidad en la ejecución de las tareas de mantenimiento con clasificación de sistemas hidráulicos y a una falta de programas de inspecciones de sistemas y componentes.

Tabla 17: Análisis de modos de fallas en rutinas de mantenimiento aplicado a flota.

Sistemas	Modos de falla	Consecuencias	Gravidad	Cant	Prioridad	Npr	Mitigación	Responsable
Mantenimiento	Programa	Operatividad	2	42	2	168	Mejorar calidad de tipos de labores de mantenimiento	MANTENIMIENTO
Hidráulico	Filtraciones			47	1	141		
Frenos	Fallas operacionales	Contaminación	3	22	3	198	Mejorar condiciones y acciones subestándar en la operación de equipos	OPERACIONES
Transmisión				20	2	120		
Evaluación	Falla eléctrica	Operatividad	2	19	1	38	Programar tipos de detenciones para inspecciones, abastecimientos y engrases de equipos.	MANTENIMIENTO
	Baja eficiencia							
Engrase	Filtraciones			21	2	84		
Otro	Falla catastrófica			14	3	84		
Diferencial				10	3	60		

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Para superar estos desafíos, es fundamental mejorar la recopilación de datos y la documentación de información relevante sobre los equipos y su desempeño. Además, se deben establecer canales de comunicación claros y efectivos entre los responsables del mantenimiento y la gestión, fomentando la retroalimentación constante para mejorar la toma de decisiones y la planificación estratégica. Asimismo, es necesario adoptar un enfoque proactivo en la generación de estrategias de mitigación de detenciones, basado en experiencias históricas de las personas, un análisis de variables dinámicas y monitoreo de condiciones. Esta combinación de mejoras en la gestión de información, comunicación y estrategias de mantenimiento permitirá una planificación y programación más eficientes, y contribuirá a la mejora continua de los procesos productivos.

A su vez, las detenciones causadas por condiciones de operación y fallas catastróficas de componentes, tales como por ejemplo; desgaste de balde, cambio de vidrio o rotura de

convertidor de par en su sistema de engranes, sumado a la falta de un stock de componentes y repuestos críticos, considerando la cantidad de equipos en la flota de carguío, generaron alteraciones en la programación diaria de mantenimiento y desviaciones en los tiempos medios de reparación, tanto de las fallas originales, como detenciones programadas, reparando fallas paralelas de alto consumo de recursos de forma imprevista, generando indisponibilidad por falta de repuestos críticos como stock mínimo.

El tiempo en el que los sistemas no estuvieron disponibles, reflejado en la tabla número dieciséis, tuvo un impacto directo en la cantidad de mineral no extraído. Al calcular el tiempo total de reparación en horas y multiplicarlo por el valor óptimo de carga de cincuenta toneladas por hora, se puede estimar el déficit en la producción de mineral extraído en toneladas. Esto nos indica la cantidad de producción que no se ha llevado a cabo debido a las detenciones en los diferentes sistemas. Es esencial reducir el tiempo indisponible de la flota a través de una gestión eficiente del mantenimiento, utilizando indicadores de desempeño para medir y controlar el tiempo de reparación, así como establecer metas de mejora.

Ecuación 3: Déficit de producción.

- $Deficit\ de\ producción = TTR \times Valor\ de\ carga$

En resumen, la falta de repuestos críticos como stock mínimo, el tiempo empleado en reparaciones hidráulicas por calidad de trabajos, sumando la baja comunicación y la poca comprensión de los diversos procesos productivos, generan falencias en la implementación de un sistema de gestión de activos dentro del área de mantenimiento. Es necesario comenzar con acciones de mitigación de frecuencia de detenciones por sistemas, monitorear en tiempo real e identificar fallas exponenciales en componentes para evitar detenciones costosas.

### **5.8- Recomendaciones para aplicación de estrategias de mantenimiento.**

Durante el período de estudio, el objetivo de la fase productiva de extracción de mineral fue alcanzar la extracción de doce mil toneladas diarias a través de túneles subterráneos. Para garantizar la confiabilidad y seguridad del funcionamiento de los equipos de carga de mineral, se estableció que los cuatro cargadores debían estar disponibles físicamente

mil setecientas veintiocho horas, correspondientes al ochenta por ciento del tiempo total, tiempo comprendido por noventa días (dos mil ciento sesenta horas). El restante veinte por ciento del tiempo total (cuatrocientas treinta y dos horas) se destinó a actividades de mantenimiento y reparación.

La gestión del mantenimiento desempeña un papel crucial en la optimización de los procesos productivos. Los datos obtenidos a través de cálculos y la interpretación de sus resultados nos brindan una percepción de los diversos aspectos que pueden afectar el desempeño de los equipos y procesos de mantenimiento. Para visualizar y comunicar de manera efectiva estas situaciones, es útil utilizar herramientas como los Gráficos de Pareto y de Dispersión.

En la administración de un departamento de mantenimiento, es fundamental considerar a las personas como un recurso importante en la compañía. Se requiere contar con personal hábil, respaldado y liderado para llevar a cabo de manera efectiva sus funciones dentro de la organización. Los roles, responsabilidades, competencias, desarrollo de carrera, rendimiento de los empleados y liderazgo son elementos clave en la implementación de soluciones que permitan alcanzar el máximo potencial operativo.

En un diseño estructurado de un departamento de mantenimiento, se deben tener en cuenta las necesidades identificadas durante el análisis de los procesos de mantenimiento. Durante este proceso, se pueden detectar problemas y realizar sugerencias para abordarlos. Asimismo, se pueden proponer nuevas funciones para mejorar los procesos productivos de mantenimiento y facilitar el crecimiento de la empresa.

En el desarrollo de este proceso de mejora, es importante focalizar ciertas funciones, distribuir cargas laborales y establecer una estructura organizativa que promueva el trabajo seguro y eficiente. Además, es necesario considerar la administración de actividades cotidianas y la ejecución de las tareas de mantenimiento. Para lograrlo, se pueden aplicar estrategias de gestión de actividades de mantenimiento, como acciones de mitigación de detenciones y una mayor atención a la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos.

Asimismo, es fundamental considerar a las personas como parte de las estrategias de gestión del mantenimiento. Esto implica asegurar que el personal esté adecuadamente capacitado, cuente con los recursos necesarios y se sigan procedimientos estandarizados para minimizar errores humanos. La implementación de programas de formación y desarrollo profesional puede ayudar a mejorar la confiabilidad humana y reducir la probabilidad de fallos relacionados con el factor humano.

En resumen, para mejorar la gestión del mantenimiento, es necesario considerar tanto la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos como la destreza de las personas. Esto implica implementar acciones de mitigación de detenciones, estrategias de gestión de actividades de mantenimiento y programas de formación para el personal. Una estructura organizativa bien diseñada, que integre tanto el área organizacional (Ingeniería y mantenimiento) como el área operacional (Operaciones de mantenimiento), contribuirá a lograr un mantenimiento eficiente y seguro en la empresa.

#### **5.9- Propuesta de actividades de mejora en mantenimiento.**

En el caso estudiado, se han propuesto lineamientos para mejorar las actividades organizacionales en el área de mantenimiento, con el objetivo de optimizar las funciones desempeñadas dentro de la estructura del área de mantención. Estos lineamientos tienen en cuenta cada área específica del departamento, tal como se muestra en el organigrama de la tabla número uno en la página veintinueve.

Como parte de este proyecto, se plantean actividades generales a través de una matriz de responsabilidades que abarque las principales áreas del departamento de mantenimiento, generando una base para enfocar propuestas, teniendo en cuenta las habilidades individuales de cada colaborador del equipo de trabajo y promoviendo mejoras específicas. En esta etapa, se fomenta una lluvia de ideas basada en sugerencias de carácter técnico, con el fin de contribuir a la optimización de las actividades a ejecutar.

Es importante considerar aspectos que requieran un mayor control en el monitoreo de componentes y sistemas, así como asignar responsabilidades a los usuarios de los equipos.

El objetivo final de estas iniciativas es prolongar la vida útil de la flota de equipos móviles, aumentar la confiabilidad operacional, reducir las horas de reparación y preservar la disponibilidad física de los activos. Para lograrlo, se proponen las siguientes actividades de mejoría:

Tabla 18: Matriz de actividades generales y responsabilidades.

Actividad de mejora	INGENIERIA Y MANTENIMIENTO			OPERACIONES DE MANTENIMIENTO		
	Jefe de contrato	Monitoreo	Planificación	Jefe operación y supervisión	Asesores y asistentes	Técnicos mecánicos
Implementación de sistema de gestión de activos para monitoreo del negocio y desempeño.	Responsable	Informantes	Aprobador	Consultados	Participantes	Participantes
Promover comunicación y comprensión de procesos productivos.	Aprobador	Participantes	Informantes	Responsable	Participantes	Informantes
Generar estrategias de mitigación de filtraciones de sistemas hidráulicos.	Aprobador	Co-Responsable	Informantes	Participantes	Co-Responsable	Participantes
Preparar actividades de reparaciones frecuentes para generar listado de repuestos críticos en la solicitud de stock mínimo.	Aprobador	Consultados	Responsable	Informantes	Consultados	Informantes

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Para abordar los desafíos identificados, se proponen algunas recomendaciones organizacionales en el área de mantenimiento, complementando las actividades de mejoría previamente mencionadas.

5.9.1- Implementación de sistema de gestión de activos para monitoreo del negocio y desempeño: El Jefe de contrato, responsable de la actividad de mejora número uno, juega un papel crucial en la implementación de propuestas de mejoras de mantenimiento, desde la aplicación de diferentes métodos analíticos de medición de indicadores de desempeño, como también el ser apoyado por las áreas técnicas, operacionales y de seguridad en aspectos de conocimientos necesarios para dirigir eficientemente al equipo de trabajo, fomentando la participación activa del personal bajo su supervisión en la identificación y solución de problemas, creando un ambiente propicio para la mejora continua, entregando oportunidades de desarrollo profesional para quienes conformen las diferentes áreas del mantenimiento.



5.9.2- Promover comunicación y comprensión de procesos productivos: El área conformada por jefes de operaciones y supervisores técnicos deben abordar aspectos relacionados a la actividad número dos. Como responsables de la ejecución de las actividades operativas diarias, el departamento de operaciones debe proporcionar información relevante sobre las actividades realizadas y las condiciones operativas del trabajo. Esto implica asegurar proyecciones de tiempos y consolidar la solicitud de recursos materiales y humanos. Es importante fomentar una comunicación fluida entre el área de operaciones y el área de ingeniería y mantenimiento. Esto permitirá que el personal de mantenimiento comprenda mejor las necesidades operativas y los desafíos a los que se enfrenta el personal de operaciones. Asimismo, promover la colaboración entre ambas áreas facilitará una mejor coordinación de las actividades de mantenimiento y una planificación más eficiente de las labores, reduciendo el impacto negativo en los procesos productivos.

Para promover la comunicación y comprensión de los procesos productivos, el jefe de operaciones y supervisión del mantenimiento, pueden organizar reuniones periódicas con el equipo de mantención para discutir y compartir información relevante sobre los procesos y operaciones. Esto ayudará a mejorar la conciencia y comprensión del personal sobre cómo su trabajo impacta en la producción y cómo sus actividades de mantenimiento pueden contribuir a optimizar diferentes procesos en la ejecución de actividades de mantenimiento.

5.9.3- Generar estrategias de mitigación de filtraciones de sistemas hidráulicos: Aquellos que conformen la asesoría técnica y el monitoreo de condiciones, serán responsables de recibir información relevante sobre identificación de filtraciones o pérdidas de eficiencias en diferentes sistemas y componentes, desarrollar planes de mantenimiento preventivo o predictivos antes de que se conviertan en fallas catastróficas, establecer programas de monitoreo de componentes para detectar signos tempranos de desgaste o deterioro y entregar información de su registro en la programación de cantidad de recursos necesarios en trabajos que requieran una mayor destreza o concentración por la criticidad del tipo de reparación.

5.9.4- Preparar actividades de reparaciones estándar según frecuencia de condiciones para generar listado de repuestos críticos en la solicitud de stock mínimo: Planificación, rol fundamental en el mantenimiento debe tomar control absoluto esta actividad, siendo responsable del control de componentes críticos que requieran de una mayor inversión en su reemplazo, recibiendo información regular sobre las condiciones físicas, funcionamiento y frecuencia de detenciones de los equipos.

Con una base de datos, el equipo de planificación, apoyado por el equipo de monitoreo de condiciones, pueden generar estrategias efectivas para reducir las detenciones y optimizar la disponibilidad de diversos activos, tipos de detenciones e incluso obtener causas subyacentes en la identificación de patrones y tendencias para así aportar con acciones correctivas y preventivas de manera proactiva.

Una comunicación fluida entre asesores, analistas, planificadoras, jefes y supervisores es fundamental para evaluar el rendimiento de los equipos y tomar decisiones informadas sobre las actividades de mantenimiento. Como parte de las recomendaciones organizacionales, se espera un aumento en el porcentaje de confiabilidad a través del incremento del tiempo entre fallas (MTBF). Esto servirá como punto de referencia en el marco de una mejora continua del mantenimiento y su aplicación en el estudio realizado.

### **5.10- Resultados esperados en implementación de propuestas de mejoramiento.**

Al implementar las estrategias de mantenimiento mencionadas, es posible obtener varios resultados positivos. Aunque los resultados específicos pueden variar según las circunstancias y las características de la flota de equipos, aquí se presentan algunas proyecciones de resultados comunes basadas en indicadores y parámetros de mantenimiento:

5.10.1- Reducción de detenciones no planificadas: Aplicar rutinas de inspecciones, seguimiento a programas de mantenimiento reflejará una mayor disponibilidad de la flota de carguío de mineral.

5.10.2- Reducción de horas de reparación: Mejorar la planificación y programación del mantenimiento, complementado a la capacitación del personal, puede agilizar los procesos de reparación, lo que a su vez permitirá una pronta reanudación de las operaciones y una menor interrupción en la programación diaria.

5.10.3- Incremento de confiabilidad: Al realizar análisis causa raíz de detenciones frecuentes, críticas y mal clasificadas, se pueden identificar causas subyacentes y tomar acciones correctivas, contribuyendo a mejorar la confiabilidad, tanto del equipo, como sus sistemas y componentes.

5.10.4- Aumento en resultados e indicadores de desempeño: Al monitorear los indicadores clave de desempeño (KPI) relacionados con el mantenimiento, como el tiempo medio entre fallas, el tiempo medio de reparación y la disponibilidad de los equipos, se podrá evaluar el impacto de las estrategias implementadas. Se espera que estos indicadores muestren mejoras significativas a medida que se optimizan los procesos de mantenimiento y se reducen los problemas recurrentes.

5.10.5- Aumento en la vida útil de la flota de equipos: Al implementar un mantenimiento adecuado, tanto preventivo como predictivo, se puede extender la vida útil de los cargadores de mineral. Esto reducirá la necesidad de reemplazo temprano de los equipos y contribuirá a un mejor aprovechamiento de los activos.

Es importante tener en cuenta que las proyecciones de resultados pueden variar según las condiciones específicas de cada caso y el nivel de implementación de las estrategias. Es recomendable monitorear los indicadores de desempeño y ajustar las acciones en función de los resultados obtenidos para maximizar los beneficios del mantenimiento.

Al llegar a un consenso de detenciones con operaciones y producción de la flota de cargadores, ya sea cada doce, dieciocho o veintiún horas de operación, se estiman impactos positivos potenciales que podrían generarse con acciones futuras. La existencia de factores externos e impredecibles suelen afectar resultados finales, por lo que se debe mantener una visión realista y estar preparado para ajustar estrategias en caso necesario. Sin embargo, estas acciones de mejora en la gestión del mantenimiento, permitirán optimizar la disponibilidad física de los cargadores, reducir las interrupciones no

planificadas y mejorar la eficiencia de los procesos productivos, lo que podría tener un impacto significativo en la productividad y rentabilidad de la empresa. Es fundamental llevar un seguimiento cercano de los resultados reales y realizar análisis periódicos para evaluar el progreso y realizar ajustes en el enfoque si es necesario. Adoptando una cultura de mejora continua, los resultados proyectados en la contabilización de detenciones según lo conciliado con operaciones, incluyendo detenciones para mantenimientos por fecha, logran objetivos establecidos en la optimización de los procesos productivos, reflejados en el siguiente contenido:

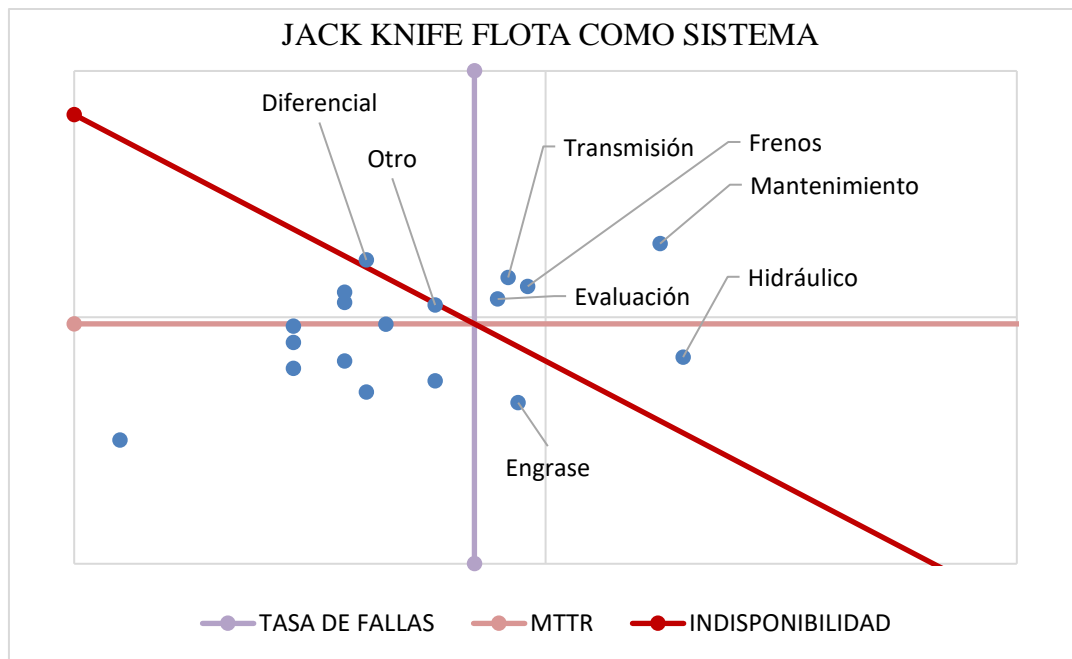
Tabla 19: Contabilización de detenciones según propuesta preventiva.

Periodo de estudio	90 días
Tiempo en horas	2160
Cantidad de detenciones preventivas	48
Tiempo de detenciones preventivas en horas	144
Cantidad de mantenimientos por fechas	3
Horas por cada mantención por fecha.	24
Tiempo total en detenciones preventivas más mantenimientos en horas	216
Porcentaje de tiempo utilizado en mantención.	10%
Disponibilidad esperada.	90%

Fuente: Elaboración de resultados de registros de detenciones.

Los resultados obtenidos en la generación de un plan para los noventa días, contabilizando aquellas actividades y detenciones cada doce, dieciocho, hasta veintiún horas, no infieren en la totalidad de horas que componen la disponibilidad para el mantenimiento. Se da énfasis en adoptar un enfoque centrado en la gestión del mantenimiento, basado en los principios de la confiabilidad. Mediante la asignación de habilidades específicas a los miembros del equipo de trabajo, se logra optimizar la eficiencia y efectividad en la ejecución de las operaciones de mantenimiento, permitiendo una mejor coordinación y colaboración entre los diferentes roles dentro de la estructura organizativa.

Ilustración 19: Grafico de dispersión optimizado.



Fuente: Elaboración de resultados desde contabilización de detenciones.

El gráfico generado desde los resultados proyectados, basados en los datos históricos y sus indicadores, han demostrado ser favorables. Esto no solo reduce el tiempo de inactividad causado por detenciones no programadas, sino que también brinda beneficios a la organización en términos de rentabilidad y eficiencia. Además, mejora la confianza con los clientes que reciben nuestros servicios de mantenimiento, ya que se fortalece la calidad y confiabilidad de nuestras operaciones desde diferentes perspectivas.

Es importante destacar que siempre hay espacio para seguir mejorando. En un entorno empresarial dinámico, mantener una evaluación constante y adaptarse a los cambios genera una cultura de mejora continua, debe estar presente en nuestras operaciones para impulsar nuestra competitividad y garantizar un rendimiento excepcional en el futuro. Al analizar la información recopilada en los registros y priorizar los indicadores según su frecuencia y criticidad, podemos seguir generando mejoras significativas en la eficiencia, confiabilidad y disponibilidad de nuestros equipos, brindando beneficios tanto a nuestra organización, como a nuestros clientes.

## CONCLUSIÓN

En el ámbito de la industria minera, la gestión del mantenimiento se revela como un factor crítico para mantener el equilibrio entre la producción máxima, costos mínimos, calidad requerida, sostenibilidad ambiental, seguridad laboral y participación del personal. Este informe ha explorado a fondo la importancia de la gestión del mantenimiento en la etapa de extracción de minerales, específicamente en lo que respecta al cargador subterráneo R2900G. Durante este estudio, se ha abordado un desafío fundamental: las detenciones no planificadas de los equipos de producción, que impactan directamente en la productividad y la rentabilidad de las operaciones mineras.

A través de una metodología sólida que incluyó análisis cuantitativos, revisión de documentación técnica y la interpretación de registros de detenciones de la flota de cargadores, se obtuvieron resultados a la alta incidencia de detenciones no planificadas en los equipos de producción, lo que directamente impacta la productividad y la rentabilidad que evidencian la magnitud de este problema. Estos resultados resaltaron el impacto adverso de la indisponibilidad en la producción minera y permitieron la formulación de recomendaciones y propuestas de mejora en la gestión del mantenimiento.

Estas recomendaciones abarcan la reducción de detenciones no planificadas con enfoque en la optimización de la gestión del mantenimiento, se esperan resultados tangibles y también la mejora de la confiabilidad de los equipos.

En última instancia, este informe subraya la relevancia de la gestión del mantenimiento como un pilar para la optimización de diversos procesos productivos. A través de la implementación de estrategias propuestas, diversas organizaciones pueden mejorar su rentabilidad y eficiencia productiva.

## BIBLIOGRAFÍA

### Definiciones y conceptos

- Fernández, C. S. ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DE CANTABRIA).
- <http://edifh.blogspot.com/p/mantenimiento.html>
- <http://www.mantenimientomundial.com/notas/CONFIABILIDAD-MANTENIBILIDAD-DISPONIBILIDAD.pdf>
- Grajales, D. H. M., Candelario, M. P., & Sánchez, Y. O. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et technica*, 1(30), 155-160.
- <http://www.mantenimientomundial.com/notas/Modelo-Avanzado-Gestion.pdf>
- Amendola, L. (2003). Modelos mixtos en la gestión del mantenimiento. Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, España
- Durán, J. (1999). Haciendo que el RCM trabaje para su empresa. Ingraterra: The woodhouse partnership Limited. Obtenido de [http://www.mantenimientoplanificado.com/jose% 20bernardo/rcm/Haciendo% 20que% 20el% 20RCM% 20trabaje% 20para% 20su% 20empresa. PDF](http://www.mantenimientoplanificado.com/jose%20bernardo/rcm/Haciendo%20que%20el%20RCM%20trabaje%20para%20su%20empresa.PDF).
- <https://app.box.com/s/83tyjazjpuixs4fgnaenfo28nvg9v2n2>

### Especificaciones técnicas de equipo móvil estudiado

- [https://www.finning.com/content/dam/finning/es/Images/Interiores/Secciones/Campaigns/Catalogo\\_R2900G.pdf](https://www.finning.com/content/dam/finning/es/Images/Interiores/Secciones/Campaigns/Catalogo_R2900G.pdf)

### Diseño de una estructura organizacional para una empresa.

- Pérez Rondón, F. A. (2021). Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial.
- Soto Concha, R. F. (2008). Diseño de una estructura organizacional para la Empresa Turbo mecánica Ltda.

### Clases de ingeniería y mantenimiento

- Profesor Osvaldo Durán Artigas.
- Profesor Rodrigo Huenuman Rojas.

### El arte de mantener, conceptos generales cotidianos de mantenimiento.

- Rodrigo Pascual, J. (2005). El arte de mantener. Universidad de Chile.