



FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y CIENCIAS



**Revisión y actualización a estrategia de mantenimiento bajo estándar SOMA para las Locomotoras de servicio según nuevos cambios operacionales Mina CODELCO, División El Teniente.**

**Nombre: José Antonio Zúñiga Tapia**

**Ingeniería Civil Mecánica.**

**07 de diciembre 2023**

**Profesor: Mauricio Alejandro Campillo Canto**

## **Resumen Ejecutivo**

El proyecto garantiza la confiabilidad de locomotoras, optimizando coeficientes y sosteniendo planes de mantenimiento. Implementa un Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA) centrado en metodologías de Fase B para definir criticidad y metas de desempeño, y Fase C para establecer estrategias óptimas en SAP. La Fase H resuelve obstáculos productivos, empleando herramientas para analizar y mejorar el desempeño de las locomotoras, esenciales en el mantenimiento ferroviario de CODELCO Chile. El trabajo se desarrolló en Maestranza N°1, Colón Alto, Región de O'Higgins, recopilando datos de 2017 a 2023. Se identificaron sistemas críticos y mejoras en los planes de mantenimiento alineados con requisitos de confiabilidad. Se analizaron cinco locomotoras, tres SCHALKE ET8 responsables de diversas tareas en mantenimiento y dos NREC 2GS-16B, remolcadoras de vagones para material fino o grueso. Se ajustaron tareas de mantenimiento basadas en historiales y pautas actuales para mejorar indicadores y confiabilidad.

## **Abstract**

The project aims to ensure reliability in service locomotives, maximize coefficients, and sustain maintenance plans. It introduces a Maintenance Operating System (SOMA) focusing on Phase B methodologies, defining equipment criticality and performance goals, and Phase C, establishing optimal strategies within the SAP platform. Phase H addresses obstacles hindering productivity goals. The analysis employs tools and processes to enhance equipment performance, crucial in maintaining the Teniente 8 Railroad for CODELCO Chile. The project was conducted at Workshop No. 1, Colón Alto, O'Higgins Region, compiling data from 2017 to 2023. Critical systems and maintenance plan improvements were aligned with reliability requirements. Five locomotives were analyzed: three SCHALKE ET8 units handling various maintenance tasks and two NREC 2GS-16B units towing wagons for fine or coarse material. Maintenance tasks were adjusted based on historical records and current guidelines to enhance indicators and reliability.

# Índice

Índice.....	4
1. Introducción.....	6
2. Objetivos.....	8
2.1    Objetivo general .....	8
2.2    Objetivos específicos. ....	8
3. Estado del arte. ....	9
3.1    Mantenimiento centrado en confiabilidad .....	9
3.2    Empresa de ferrocarriles alemana: .....	10
3.3    Contexto:.....	10
3.4    Metodología exigida por CODELCO para llegar a la excelencia. ....	11
4. Soluciones.....	15
4.1    Soluciones propuestas: .....	15
4.1.1    Calendarización del mantenimiento .....	15
4.1.2    Mantenimiento mayor o Overhaul .....	15
4.1.3    Reemplazo de locomotoras.....	16
5. Selección de propuestas de soluciones .....	16
6. Solución escogida.....	18
7. Metodologías y planificación: .....	19
7.1    Metodología general: .....	19
7.2    Plan de implementación .....	21
8. Medidas de desempeño .....	22
8.1    Etapa 1: Identificar equipos que pueden catalogarse como malos actores. ....	22
8.1.1    Diagramas de Pareto.....	22
8.2    Etapa 2: Priorizar y seleccionar los sistemas definidos como malos actores.....	23
8.3    Etapa 3: Establecer modos de falla por sistema.....	25
8.4    Etapa 4: Identificar la causa raíz. ....	26
8.5    Etapa 5: Definir intervenciones. ....	27
8.6    Etapa 5: Ejecutar intervenciones y monitorear su efectividad. ....	27
9. Análisis de riesgos .....	28
9.1    Riesgos .....	28

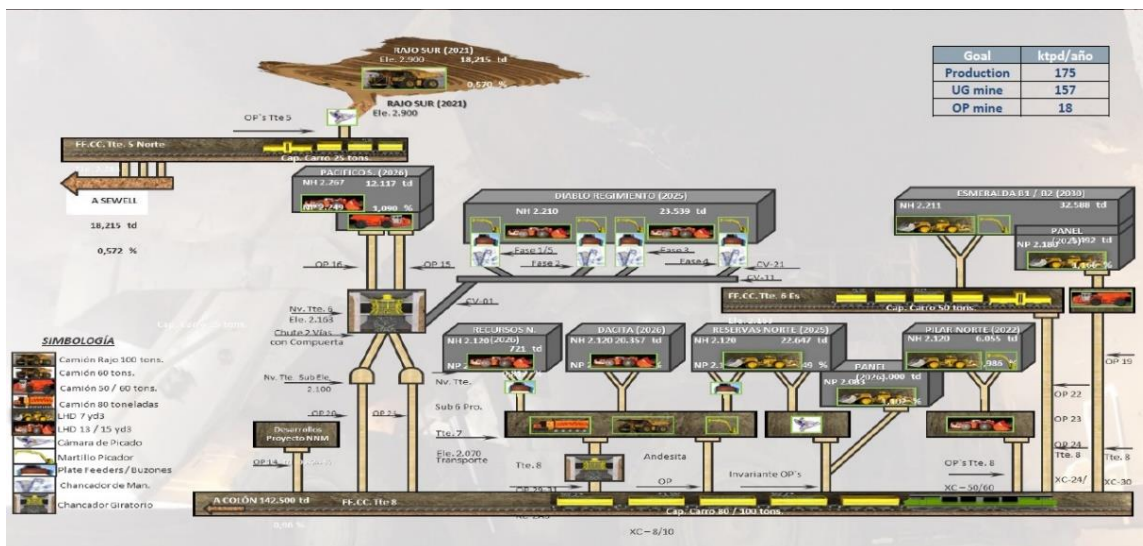
9.2	Tabla de riesgos y mitigaciones.....	29
9.3	Matriz de riesgos .....	29
10.	Desarrollo.....	30
10.1	Frecuencia mantenimiento actual.....	30
10.2	Mantenimiento por calendario, propuesto. ....	30
10.3	Mantenimiento actual v/s propuesto. ....	30
11.	Resultados.....	32
12.	Evaluación Económica .....	33
13.	Bibliografía .....	36

## 1. Introducción

La Corporación Nacional del Cobre, CODELCO, entidad autónoma que pertenece al estado de Chile actualmente líder mundial en producción de cobre, resguardando casi el 9% de las reservas globales. Su principal actividad es la búsqueda, desarrollo y explotación de yacimientos de cobre y sus subproductos, además de la transformación de estos recursos en cobre refinado para su posterior comercialización.

En 2021 Codelco poseía activos valorados en US\$50.500 millones. Generó ingresos cercanos a 21.000 millones de dólares con una producción de 1.727.862 tmf, incluyendo su participación en Minera El Abra 49% y Anglo American Sur 20%. La producción total aumentó un 0,003% respecto del 2020, mientras que la producción propia de cobre fue de 1.18.266 tmf, un 0,002% más que el año anterior, a pesar de las restricciones por pandemia.

División El Teniente (DET), a 50 km de Rancagua, es el mayor yacimiento de cobre subterráneo del mundo, con 4.500 km de galerías. Su organización interna es por galerías con diferentes niveles como se puede apreciar en la *Imagen 1*. Su túnel principal, teniente 8, es esencial para transportar todo el mineral extraído por la división. Desde los años 1940, se utiliza hundimiento por bloques y paneles para extracción, adaptándose en todas las unidades. La roca primaria requiere procesos mecanizados de reducción, usando martillos y trituradoras (chancadores, de mandíbula como giratorios). El mineral se mueve de teniente 3 y 4 a niveles inferiores por pozos de transferencia, hacia ferrocarriles teniente 5 y 8, culminando en chancadores en Colón para su procesamiento.



**Imagen 1:** Funcionamiento interior mina, mostrando niveles de producción y acarreo.

La División requiere 15 ciclos diarios de acarreo, generando US\$2.5 millones al día. El transporte clasificado en grueso y fino mueve, respectivamente, 1.520 y 2.000 ton por tren, totalizando unas 10.000 ton por ciclo. La complejidad del proceso subterráneo demanda mantenimiento regular para asegurar operatividad y seguridad. El plan de actividades mensuales (PAM) dirige las actividades de forma semanal para mantener la infraestructura del FFCC, lideradas por la unidad de equipos de servicio del teniente 8. Los nuevos estándares operativos requieren alineación al Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA) para optimizar las operaciones, considerando que el mantenimiento representa el 28% de los costos. Revisar la estrategia de mantenimiento bajo SOMA para las locomotoras NREC 2GS-16B y SCHALKE ET8 es crucial. El análisis de fallas a cinco años mediante diagramas de Pareto y Jack Knife permite identificar áreas de mejora y ajustar el plan matriz.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Revisión y actualización a estrategia de mantenimiento bajo estándar SOMA para Locomotoras de Servicio del teniente 8.

### **2.2 Objetivos específicos.**

1. Entender el funcionamiento de las locomotoras y la importancia en las tareas que realizan.
2. Realizar estudio de criticidad con las herramientas adecuadas para determinar el contexto de los equipos.
3. Agrupar los sistemas con mayor incidencia de fallas.
4. Revisar cumplimiento del plan matriz.
5. Evaluar necesidades de mantenimiento de las Locomotoras, teniendo en cuenta las condiciones operativas, antigüedad y registros históricos.
6. Priorizar mejoras a los sistemas con mayor tasa de falla.
7. Desarrollar nuevas estrategias de mantenimiento: actualizar el plan de mantenimiento existente bajo estándar SOMA.



### 3. Estado del arte.

#### 3.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) surge en la década de 1970, desafiando el enfoque previo de mantenimiento en aeronaves. Se desarrolló para reducir tareas manteniendo confiabilidad y seguridad. Basado en el método de Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), evalúa desviaciones de parámetros, modos de fallas y su criticidad. RCM cambió el paradigma al enfocarse en ubicaciones y procesos, no solo en activos, permitiendo intervenciones de mantenimiento variadas según la criticidad del proceso. Antes, el mantenimiento era uniforme; RCM lo personaliza según la función y la importancia del activo en el proceso productivo, marcando un hito en la evolución del mantenimiento industrial.

John Moubray y August lo definen de la siguiente forma:



En esencia, el RCM se basa en un análisis inductivo/deductivo que, de hecho, se realiza de manera intuitiva en el entorno industrial. La diferencia radica en que esta metodología sistematiza este proceso de pensamiento para evitar omisiones, prejuicios, juicios precipitados, conclusiones prematuras, falta de detalle y otros errores que pueden surgir de un análisis no sistemático.

### 3.2 Empresa de ferrocarriles alemana:

El transporte ferroviario es vital para muchas naciones, y su eficiencia incide considerablemente. En Alemania, Deutsche Bahn (DB) ha enfrentado desafíos notables en la puntualidad y disponibilidad de sus trenes, afectando la experiencia de los pasajeros y la eficacia del transporte. Problemas recurrentes de puntualidad han derivado de fallos mecánicos por mantenimiento insuficiente. La disponibilidad de locomotoras se ha visto comprometida, generando cancelaciones y asignaciones inadecuadas. DB ha respondido con inversiones, mejoras en infraestructura y tecnología predictiva para mantenimiento, buscando mejorar la puntualidad y eficiencia. El análisis predictivo anticipa fallas, optimizando el mantenimiento y brindando beneficios notables en costos, seguridad y vida útil de equipos, destacando el avance en eficiencia y confiabilidad del servicio ferroviario de DB.

### 3.3 Contexto:

La unidad FFCC teniente 8 de Codelco, El teniente, ha establecido un compromiso constante con la mejora de sus métricas, lo cual implica la necesidad de detectar oportunidades para optimizar su desempeño. Una de estas oportunidades se presenta en la revisión y actualización del plan matriz de las locomotoras de Servicio, equipos fundamentales en las operaciones de mantención del túnel, infraestructura ferroviaria como eléctrica.

La evaluación del estado de los equipos en cuestión dependerá de diversos factores, tales como: cantidad de horas que operan mensualmente, servicios que prestan y el ambiente de trabajo que estos realizan.



Imagen 2: Locomotora SCHALKE



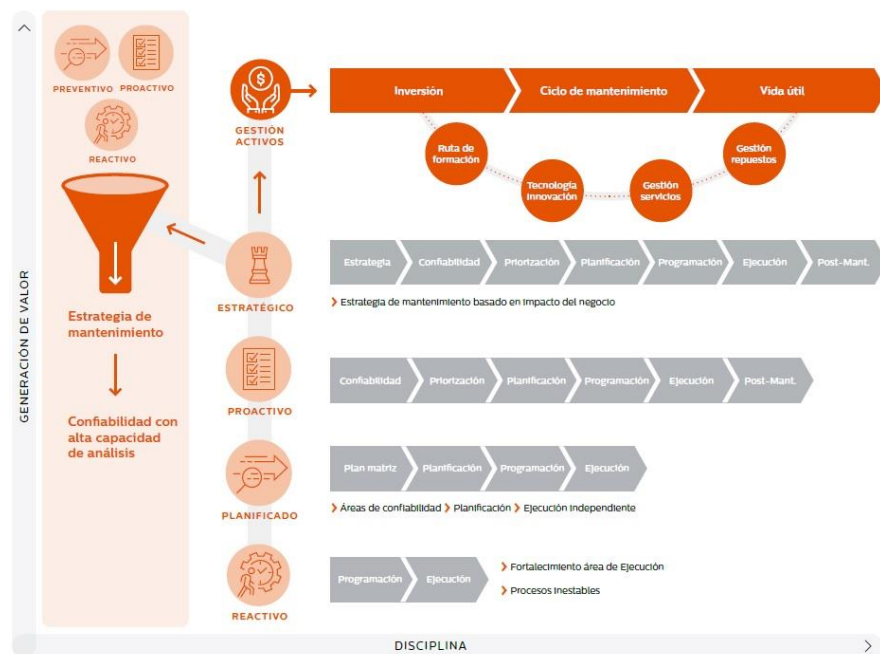
Imagen 3: Locomotora NREC

### 3.4 Metodología exigida por CODELCO para llegar a la excelencia.

El mantenimiento en Codelco representa el 28% de los costos operacionales, por lo que lo vuelve uno de los sectores más relevantes para la habilitación y captura de valor. En esa línea, nace el compromiso con el cambio a través de la política corporativa de mantenimiento y el Marco Estratégico de Gestión de Activos, alineados con Lea Management denominado C+ lo cual es filosofía aplicada por Toyota, para asegurar la mejora continua que permite lograr excelencia operacional de clase mundial. La Corporación captura todos estos interesantes puntos de lo anteriormente mencionado y crea el Sistema Operativo de Mantenimiento; una guía simple que reúne las mejores prácticas de Codelco y la industria para dar soporte, disciplina y orden a la nueva ruta propuesta.

La evolución del mantenimiento, en el mundo de la industria intensiva en activos, puede describirse a partir de niveles con características propias en base a la madurez de prácticas y desempeño logrado por las áreas.

Codelco tiene el foco de complementar, desarrollar e incrementar gradualmente la madurez de la gestión de activos y perseguir la aspiración de llegar hasta el nivel de clase mundial. En la *figura 1* se muestra el diagrama de creación de valor.



**Figura 1:** Generación de valor

Codelco ha implementado el Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA) en un 57% de procesos desde 2018. Evaluar la madurez en cada área es crucial, identificando brechas y generando planes de mejora para optimizar Planificación, Confiabilidad y Ejecución. La Corporación estableció una política sólida, con nueve lineamientos para una gestión proactiva y de clase mundial. El cumplimiento ético de normativas y estándares es fundamental para asegurar la confiabilidad de los activos y la sostenibilidad de la producción. Actualizar estrategias y planes de mantenimiento continuamente con foco en mejoras de productividad.

1. Promover la mejora continua a través de la implementación del Sistema de Gestión C+, definiendo y actualizando estándares operacionales, detectando oportunamente las brechas existentes, promoviendo la estandarización y las mejores prácticas de la industria.
2. Programar planes de mantenimiento coherentes con los planes de producción y ejecutarlos con adherencia, asegurando efectividad en el cumplimiento de planes y eficiencia en el uso de los recursos.
3. Tener la estructura organizacional y competencias para asegurar los roles, funciones y responsabilidades de todas y todos los trabajadores(as) de las áreas de mantenimiento, de acuerdo a los roles definidos corporativamente.
4. Medir y gestionar continuamente el grado de madurez del mantenimiento con el objetivo de asegurar el desarrollo hacia un mantenimiento proactivo.
5. Generar instancias de participación activa que permitan asegurar acciones estandarizadas de mejora del mantenimiento y transferencias de mejores prácticas entre las áreas y divisiones.
6. Utilizar el sistema SAP como herramienta oficial y única para la administración de la gestión del mantenimiento.
7. Impulsar el uso de tecnologías que aporten al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en todos sus ámbitos.

El Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA) tiene ocho fases con roles definidos para los objetivos de CODELCO. Implementa la norma NCC30 en análisis de mantenibilidad, confiabilidad y ciclo de vida en todas las etapas. Crea mecanismos globales en la fase B para estrategias de mantenimiento, integradas en SAP. El ciclo de mantenimiento asegura calidad, seguridad y eficiencia, monitoreando resultados para mejora continua. Fases E y F alertan sobre el ciclo de vida

del activo, minimizando costos y resolviendo problemas para cumplir metas productivas, mediante análisis de rendimiento y reducción de desviaciones. Establece estándares, mejores prácticas y competencias para optimizar la gestión de activos.



**Figura 2:** Las 8 fases del SOMA.

Para el siguiente trabajo es importante centrarse en las siguientes fases:

### **B. Estudio de criticidad y metas de desempeño:**

- Realizar análisis de criticidad de los activos de la división, utilizando el estándar corporativo.
- Definir la tolerancia al riesgo de fallo de cada equipo comprometiendo niveles de confiabilidad de los activos.

### **C. Plan estratégico y plan matriz:**

- Desarrollar una estrategia a nivel equipo en base a la criticidad para mantenimiento basado en el impacto al negocio.
- Optimizar las variables producción, costo de mantenimiento y vida útil del activo, plasmando la nueva estrategia en planes de mantenimiento activos en plataforma SAP.

#### **D. Ciclo de mantenimiento:**

-Planificar y ejecutar la carta de actividades previamente identificadas, con adherencia a la estrategia definida y optimización de los recursos, fomentando la interacción eficaz y coordinada entre las partes interesadas, y buscando la mejora continua de todo el sistema.

-Registrar de forma estandarizada las mejoras continuas a aplicar.

-Utilizar herramientas y procesos de análisis de desempeño de equipos que permitan optimizar el mantenimiento.

El ciclo de mantenimiento propuesto por la Corporación define objetivos y responsables de cada uno de sus procesos lo cuales son mencionados a continuación:

##### **1. Identificación y priorización: (encargado confiabilidad)**

Recopilar los requerimientos de trabajo provenientes de SAP a ser realizados durante el Ciclo de mantenimiento con el objetivo de generar un listado de actividades priorizadas y desafiadas en base al nivel de riesgo presente.

##### **2. Planificación: (encargado confiabilidad)**

Asignar los recursos necesarios a la lista de actividades entregada por la priorización, distribuyendo la carga de horas disponibles y gestionando la disponibilidad efectiva de los recursos, siendo todo esto plasmado en un plan de mantenimiento.

##### **3. Programación: (encargado confiabilidad)**

- a) Traducir el plan de mantenimiento en un programa secuenciado de forma de optimizar la ejecución de lo planificado.
- b) Asegurar los recursos en terreno necesarios para la ejecución.
- c) Manejar el ciclo de reprogramación.

##### **4. Ejecución: (ejecución)**

- a) Ejecutar el programa de mantenimiento establecido según el plan, respetando procedimientos y calidad.

- b) Gestionar las emergencias y hallazgos encontrados en el día a día.
- c) Revisar y cerrar las órdenes de trabajo ejecutadas durante el ciclo.

#### **5. Post Mantenimiento: (confiabilidad)**

Analizar las oportunidades brechas y fortalezas del ciclo de mantenimiento con el fin de incentivar la mejora continua y estandarizar mejores prácticas.

### **4. Soluciones.**

Para cumplir con los objetivos propuestos, es necesario entender el contexto de los equipos, conocer y analizar su historial de falla, esto significa obtener la información mediante SAP, agruparla y así realizar estudio de criticidad mediante diagrama de Pareto y Jack Knife, integrando el estándar SOMA , en base a estos diagramas: agrupar los sistemas con mayor incidencia en fallas y así analizar el modo de falla más recurrente para determinar si tiene relación directa con las tareas realizadas en el plan matriz y poder abordar de mejor forma los correctivos.

#### **4.1 Soluciones propuestas:**

##### **4.1.1 Calendarización del mantenimiento**

Los equipos de faena comúnmente utilizan los horómetros como contador de funcionamiento, pero en este caso las locomotoras operan en promedio 4,5 horas diarias. Lo que resulta ser beneficioso ya que se utilizan de forma intermitente y están sujetos a condiciones ambientales humedad y polvo no siendo óptimas para su funcionamiento que afectan al desgaste independientemente del tiempo de operación. Esta transición puede optimizar los costos operativos al programar mantenimientos en intervalos regulares, aunque es crucial equilibrar esta eficiencia con el riesgo potencial de realizar el mantenimiento demasiado pronto o tarde. Además, en entornos donde la seguridad es crítica o se requieren ciertos estándares regulatorios.

##### **4.1.2 Mantenimiento mayor o Overhaul**

Es una revisión profunda que implica desmontar inspeccionar, reparar reemplazar y volver a ensamblar partes o componentes principales de un equipo. El objetivo es restaurar el equipo a un estado casi nuevo o a un nivel óptimo de funcionamiento, extendiendo así la vida útil del equipo y mejorar su rendimiento y confiabilidad.

Una característica que tiende a jugar en contra son los altos costos que contemplan realizarlo, por su extenso y detallado trabajo, considerando que son 5 equipos en cuestión y la exclusividad de repuestos y el servicio especializado.

#### 4.1.3 Reemplazo de locomotoras

El reemplazo de una locomotora implica evaluar su estado, eficiencia y costos de mantenimiento, comparándolos con nuevas tecnologías disponibles y normativas actuales. Se analiza la viabilidad económica, considerando los costos de adquisición y beneficios de eficiencia y rendimiento, mientras se evalúa la capacidad para cumplir con la demanda futura. Esta decisión se basa en un análisis exhaustivo que balancea aspectos técnicos y financieros para determinar si el reemplazo ofrece una mejora significativa en términos de eficiencia y rentabilidad del negocio.

### 5. Selección de propuestas de soluciones

Para poder tomar la decisión entre las soluciones propuestas, se identifican un listado de criterios que sirven para poder caracterizar e identificar cual es el proyecto más conveniente a desarrollar.

- **Colaboración con proveedores:** el proyecto fomenta la colaboración con proveedores para garantizar la disponibilidad oportuna de repuestos y servicios de calidad.
- **Impacto en la productividad:** afecta la productividad general del mantenimiento del FFCCT8, considerando eficiencia y la disponibilidad de las locomotoras.
- **Gestión de datos y análisis:** permite la recopilación, análisis y la utilización de datos de mantenimiento para mejorar continuamente los procesos y toma de decisiones.
- **Reducción de tiempo de indisponibilidad programado:** ayuda a reducir el tiempo de inactividad programado para el mantenimiento, maximizando la disponibilidad de las locomotoras.
- **Gestión de inventario de repuestos:** optimiza la gestión de inventario de repuestos, minimizando tiempos de espera por falta de componentes o partes esenciales.
- **Costo de mantenimiento:** los costos asociados con cada proyecto de mantenimiento, incluyendo los costos de adquisición, mano de obra, repuestos y cualquier gasto operativo adicional, son convenientes.
- **Confiabilidad y disponibilidad:** el proyecto mejora la confiabilidad de los equipos y su disponibilidad operativa, reduciendo la inactividad de tiempo no programada.



Criterio	Calendarización	Overhaul	Reemplazo
Colaboración proveedores	SÍ	SÍ	SÍ
Impacto productividad	NO	SÍ	NO
Gestión datos y análisis	SÍ	SÍ	NO
Reducción de indisponibilidad programados	SÍ	NO	SÍ
Inventario repuestos	SÍ	NO	NO
Costos mantenimiento	SÍ	NO	NO
Confiabilidad y disponibilidad	SÍ	SÍ	SÍ

**Tabla 1:** Tabla de atributos de cada solución.

Cada criterio mencionado anteriormente se ha evaluado mediante una escala de tres puntos:

- 0 para características que no cumplen con el criterio.
- 1 para características que cumplen de manera limitada.
- 2 para características que cumplen plenamente con el criterio.

Criterio	Calendarización	Overhaul	Reemplazo	Ponderador %
Colaboración proveedores	2	2	1	10%
Impacto productividad	0	2	0	20%
Gestión datos y análisis	2	2	0	10%
Reducción de indisponibilidad programados	1	0	2	15%
Inventario repuestos	2	0	0	20%
Costos mantenimiento	2	0	0	10%
Confiabilidad y disponibilidad	1	2	2	15%
Promedio simple	1,429	1,143	0,714	-
%	71%	57%	36%	-
Promedio ponderado	1,3	1,1	0,7	-
%	65%	55%	35%	-

**Tabla 2:** Tabla de ponderaciones para selección de solución.

La tabla 2 muestra que la calendarización supera a Overhaul y Reemplazo en el mantenimiento con un 71%, 57% y 36% respectivamente. Al ponderar atributos, la calendarización lidera con un 65%. Las diferencias clave surgen en productividad, inventario y costos, fortaleciendo el plan para mejorar la eficiencia y confiabilidad de los equipos.

## 6. Solución escogida

El llevar el mantenimiento a calendario será beneficioso para la Gerencia Mantenimiento Mina por los siguientes aspectos:

### 1. Planificación y programación efectiva:

- **Anticipación de tareas:** al programar el mantenimiento por calendario, se puede prever y planificar con operaciones la disponibilidad del equipo con anticipación para así realizar las actividades de mantenimiento necesarias para cada locomotora en el tiempo estimado de cada pauta.
- **Evita interrupciones no planificadas:** al seguir un calendario, se reducen las posibilidades de fallas inesperadas al realizar el mantenimiento de forma preventiva.

### 2. Optimización de recursos:

- **Uso eficiente de mano de obra y equipos:** al tener un plan predefinido, se puede asignar el personal y los recursos necesarios de manera eficiente, evitando la subutilización o sobreutilización de recursos.

### 3. Mayor confiabilidad y seguridad:

- **Reducción de fallas inesperadas:** al llevar un programa de mantenimiento preventivo en función del tiempo, se reducen las probabilidades de fallas graves o accidentes debido al desgaste o problemas no detectados.
- **Mejora de la seguridad:** un mantenimiento programado reduce los riesgos de operación al asegurar que los equipos estén en condiciones óptimas, esto se alinea con el estándar SOMA, considerando que, en el análisis de criticidad de los equipos, el punto 1 que analiza la seguridad de los equipos es el que tiene la ponderación más alta.

### 4. Prolongación de la vida útil:

- **Conservación de activos:** al realizar mantenimiento regular, se ayuda a preservar y extender la vida útil de las locomotoras, lo que ahorra costos a largo plazo al evitar reemplazos prematuros.

## 5. Cumplimiento de normativas y estándares:

- **Cumplimiento regulatorio:** en este caso se cumplirían estándares exigidos por fabricante al sistema critico principal de los equipos: motor diésel, una calendarización ayuda a cumplir con estos estándares.

## 6. Eficiencia operativa:

- **Operaciones más fluidas:** mantener los equipos en buenas condiciones mediante una calendarización reduce el tiempo de inactividad no planificada y asegura una operación eficiente y continua.

# 7. Metodologías y planificación:

(Puedo decir historial de mttto, conocimiento de los operadores y mantenedores, revisión de plan matriz e información del fabricante)

## 7.1 Metodología general:

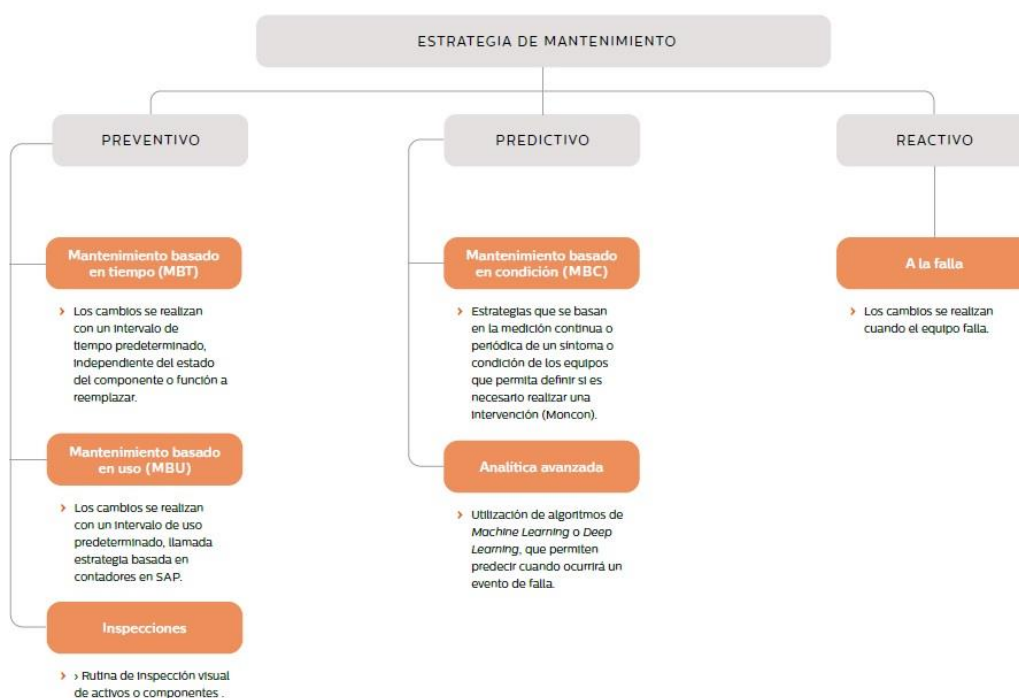
Como la Corporación cuenta con un estándar de mantenimiento corporativo: SOMA tal como se muestra a continuación.



Diagrama 1: Fases de interés.

Tiene como objetivo establecer la criticidad mediante el estándar corporativo como apoyo se opta realizar diagrama de Pareto y Jack Knife para poder determinar los TMEF y TMPR abriendo paso a KPI'S para establecer la criticidad se deben levantar datos, lo cuales se extraen directamente de la plataforma SAP. Al definir la tolerancia al riesgo el diagrama de Jack Knife muestra cómo se posiciona cada Sistema evaluado clasificándolos en: (agudo, agudo crónico, normal y crónico), tomando como indicador el TMEF.

Lo anterior da paso a la selección de estrategia de mantenimiento a utilizar según criticidad del activo en donde se diseña y se propone un plan de mantenimiento adecuado basado directamente a lo que se tiene en el *diagrama 1*.



**Diagrama 2:** Tipos de mantenimiento

Las FASES C y D se centran en el desarrollo de una estrategia que pueda alinearse con el negocio y que no afecte la vida útil de los equipos, es por esto que las actividades y soluciones a las que se pueda llegar deben estar previamente planeadas y alineadas con la estrategia definida optimizando los recursos, aumentando así la eficiencia y los objetivos estratégicos.

## 7.2 Plan de implementación

El proyecto se organiza en cuatro hitos significativos mostrados en la *Tabla 3*, que estructuran su desarrollo, los que dan paso a las diferentes tareas que permitieron llevar a cabo el proyecto en el semestre. Esta planificación da todo el trabajo previo para una futura implementación en la empresa.

Actividad	Estado	Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
<b>Proyecto Pasantía</b>	Listo																		
<b>Investigación situación actual locomotoras</b>	Listo																		
Formulación de informe	Listo																		
Investigación RCM y estado del arte	Listo																		
Ajustarlo a las locomotoras	Listo																		
Levantamiento de información	Listo																		
Entrevista con mantenedores	Listo																		
Reuniones con Supervisores	Listo																		
Reuniones con Ejecutores	Listo																		
Sistematización de la información	Listo																		
Revisión del informe	Listo																		
Reunion con Jefe unidad	Listo																		
<b>Análisis de los datos</b>	Listo																		
Analizar flota	Listo																		
Analizar sistema por marcas	Listo																		
Analizar sistemas por locomotora	Listo																		
Identificar sistemas críticos	Listo																		
Revisar tareas de pautas enfocados a sistemas crítico:	Listo																		
Revisión del plan matriz	Listo																		
<b>Selección de solución</b>	Listo																		
Estructurar información necesaria para dar solución	Listo																		
Criterios de pre- selección de solución	Listo																		
Validar con mantenedores	Listo																		
Validar con Super Intendencia de Confiabilidad	Listo																		
Crear matriz de comparativa de solución	Listo																		
Diseño tabla de variables y subvariables	Listo																		
Análisis de ponderaciones	Listo																		
Validar con supervisor	Listo																		
Visitas de equipos en terreno	Listo																		
Visitar espacio de trabajo	Listo																		
Selección de solución	Listo																		
<b>Evaluación económica</b>	Listo																		
Identificar modos de falla de los sistemas críticos	Listo																		
Identificar tareas que ayuden a esos modos de fallas	Listo																		
Evaluar el proyecto	Listo																		

**Tabla 3:** Planificación proyecto completo.

## 8. Medidas de desempeño

Las medidas de desempeño identifican fallas crónicas y agudas en activos, analizando sus causas y buscando soluciones con herramientas de confiabilidad. Se centran en resolver obstáculos para metas productivas, empleando procesos que reducen desviaciones durante la vida útil de los equipos. El análisis de malos actores es crucial para identificar brechas en la confiabilidad y mejorar intervenciones de mantenimiento, reduciendo la indisponibilidad de equipos y mejorando la producción de manera continua y estructurada.

Consta de las siguientes etapas:

1. Identificar los equipos que pueden ser catalogados como malos actores.
2. Priorizar y seleccionar los sistemas definidos como malos actores.
3. Establecer modos de falla por sistema.
4. Identificar la causa raíz.
5. Definir intervenciones.
6. Ejecutar intervenciones y monitorear su efectividad.

### 8.1 Etapa 1: Identificar equipos que pueden catalogarse como malos actores.

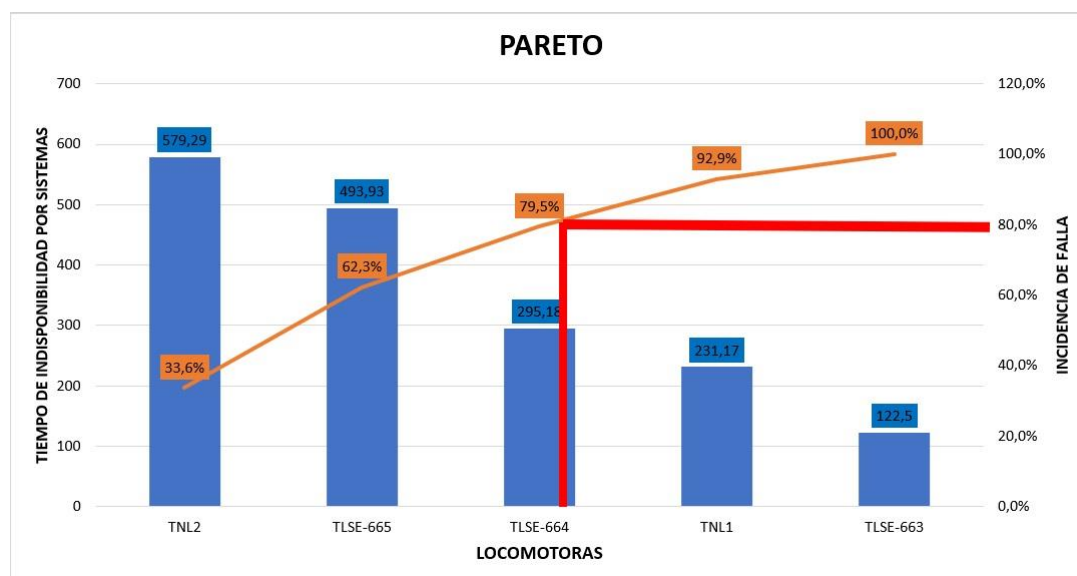
En este punto se mapean los equipos utilizando el análisis de Pareto, en base a frecuencia y pérdida de disponibilidad por evento con una base de 1 año, específicamente desde octubre del 2022 a octubre del 2023. El periodo fue seleccionado después de varios estudios analizando desde el año 2017 a 2023, donde se concluyó que anterior al año 2021 los datos son confusos y poco certeros, por lo que se decide trabajar del 2022 a la fecha, obteniendo como resultado el periodo con más detenciones por correctivos.

#### 8.1.1 Diagramas de Pareto

Para realizar el diagrama de Pareto es esencial recopilación de los avisos y órdenes de trabajo cargados en SAP. Calcular la frecuencia de cada categoría y su porcentaje acumulado en relación



con el total. Utilizar los datos para ordenarlos de forma estratégica en barras, para así detectar los malos actores. A continuación, se muestra el diagrama de Pareto con la información analizada.



**Imagen 4:** Diagrama de Pareto de la flota.

En la *Imagen 5* se muestra cómo se identifican los equipos malos actores, quienes concentran la mayor cantidad de fallas en el periodo anteriormente mencionado, para el equipo TNL2 correspondiente a la marca NREC concentra 579,29 horas de indisponibilidad equivalente a 24 días en un periodo de 1 año. Para los Equipos TLSE-665 y 664 correspondiente a la marca SCHALKE concentrando juntos 789,11 horas de indisponibilidad equivalente a 33 días en un periodo de 1 año

EQUIPOS	TIEMPO DE INDISPONIBILIDAD POR EQUIPOS	INCIDENCIA DE FALLA
TNL2	579,29	33,6%
TLSE-665	493,93	62,3%
TLSE-664	295,18	79,5%
TNL1	231,17	92,9%
TLSE-663	122,5	100,0%
<b>TOTAL</b>	<b>1722,07</b>	

**Imagen 5:** Equipos catalogados como malos actores.

## 8.2 Etapa 2: Priorizar y seleccionar los sistemas definidos como malos actores.

En esta etapa se identifican los sistemas que provocaron la mayor tasa de indisponibilidad, en este caso los concentran las locomotoras 662, 665 y 664.

TNL2 NREC		
SISTEMAS	TIEMPO DE INDISPONIBILIDAD POR SISTEMAS	INCIDENCIA DE FALLA
Motores de Tracción	295	50,92%
Compresión	158,41	78,27%
ATP	55,75	87,89%
EQAC	27	92,55%
Control y Comando	13,5	94,89%
Eléctrico	7,5	96,18%
Motores	6,75	97,35%
Frenos	6,5	98,47%
Rodado	4,5	99,24%
Refrigeración	4,38	100,00%
<b>Total general</b>	<b>579,29</b>	

**Imagen 6:** Sistemas críticos 662, NREC.

En la *Imagen 6*, los sistemas definidos como malos actores son: sistema tracción el cuál corresponde a los motores de tracción (motores eléctricos) y el sistema de compresión, en donde se albergan los compresores de freno y vaciado.

En la *Imagen 7*, se muestran los sistemas definidos como malos actores, principalmente se centra en los sistemas: eléctrico, control y comando, refrigeración y compresión.



TLSE-665-664 SCHALKE		
SISTEMAS	TIEMPO DE INDISPONIBILIDAD POR SISTEMAS	INCIDENCIA DE FALLA
Eléctrico	211,42	26,79%
Control y Comando	185,75	50,33%
Refrigeración	133	67,19%
Compresión	82	77,58%
Contra Incendio	54,5	84,48%
Rodado	37,08	89,18%
Motor	33,18	93,39%
Vaciado	14	95,16%
Motores de Tracción	10,17	96,45%
EQAC	9,5	97,65%
Estructural	7,5	98,60%
Frenos	6,51	99,43%
ATP	4,5	100,00%
<b>Total general</b>	<b>789,11</b>	

Imagen 7: Sistemas críticos SCHALKE, 665 y 664.

### 8.3 Etapa 3: Establecer modos de falla por sistema.

Para establecer los modos de falla por sistemas, se deben identificar cuales son los malos actores que inciden en el correcto funcionamiento de los sistemas. A continuación, se muestran dos diagramas de Pareto con los malos actores por marca, correspondientes a NREC TNL2 y SCHALKE 664 y 665.

Equipo	Sistemas	Modo de Falla	Impacto Horas/1 año	
TNL2	Motores de tracción	Mtto. rodamiento motor tracción		174
		Contactos dañados		121
	TOTAL			295
	Compresión	Motor compresor agripado		149
		Filtros Saturados		9,41
	TOTAL			158,41
TOTAL				453,41

Imagen 8: Modo de falla TNL2.

Equipo	Sistemas	Modo de Falla	Impacto Horas/1 año				
TLSE 664 y 665	Eléctrico	Contactores dañados					152,25
		Ventilador defectuoso					30
		Voltmetro defectuoso					29,17
	<b>TOTAL</b>						211,42
	Control y comando	Contactos auxiliares quemados					122,25
		Problemas Convertidor					63,5
	<b>TOTAL</b>						185,75
	Refrigeración	Falla ventilador					78,5
		Fuga de refrigerante					54,5
	<b>TOTAL</b>						133
	Compresión	Motor agripado					77,5
		Filtros saturados					2,5
	<b>TOTAL</b>						80
<b>TOTAL</b>							610,17

Imagen 9: Modo de falla TLSE-664 y 665.

#### 8.4 Etapa 4: Identificar la causa raíz.

Existen actividades que ayudan a identificar la causa raíz de la falla, dando un aproximado de la probabilidad sobre el tiempo de ocurrencia, permitiendo la realización de mantenimiento predictivo y evitar indisponibilidad por a la ocurrencia de estos. Para esto se utiliza como herramienta la Resolución de Problemas (RdP), permite listar las causas raíces y potenciales soluciones priorizadas o lista de modos de falla y distribución de falla, el uso de esta herramienta debiera ser siempre y cuando la falla se ocasione en un sistema crítico.

## 8.5 Etapa 5: Definir intervenciones.

Las actividades a realizar en este apartado son definir intervenciones en base al RdP, creando en paralelo un plan de acción que permita listar intervenciones y agregar acciones al plan de implementación táctico con fechas límite y responsables. En donde toma relevancia la Fase C mencionada anteriormente, la cual está enfocada en la modificación del plan.

A continuación, se muestran intervenciones típicas:

INTERVENCIONES TÍPICAS
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ <b>Revisar plan matriz de mantenimiento preventivo.</b><ul style="list-style-type: none"><li>· Cambiar disparador de intervención de fecha a tiempo operado.</li><li>· Cambiar frecuencia de intervención (inspección o reparo).</li><li>· Introducir inspección para determinar la condición del equipo.</li></ul></li><li>➤ <b>Mejorar parámetros operaciones</b> para minimizar el desgaste (sin pérdida en tratamiento).</li><li>➤ <b>Cambiar diseño del equipo</b> para minimizar desgaste.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ <b>Ejecutar Resolución de problemas para identificar causa de la falla infantil.</b></li><li>➤ <b>Mejorar calidad de ejecución de mantenimiento.</b><ul style="list-style-type: none"><li>· Introducir o mejorar las pautas.</li><li>· Establecer Confirmación de proceso en tareas críticas.</li></ul></li><li>➤ <b>Mejorar operaciones durante proceso de puesta en marcha.</b><ul style="list-style-type: none"><li>· Introducir o mejorar las rutinas operacionales.</li><li>· Establecer confirmación de procesos durante puesta en marcha.</li></ul></li><li>➤ <b>Cambiar diseño del equipo</b> para evitar causas de fallas infantiles.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ <b>Establecer mantenimiento predictivo.</b><ul style="list-style-type: none"><li>· Crear modelo predictivo para identificar variables predictivos y sus valores críticos.</li><li>· Introducir sensores o mediciones adicionales.</li><li>· Revisar plan matriz de mantenimiento preventivo.</li><li>· Definir pauta y/o rutinas operacionales.</li></ul></li></ul>

Imagen 10: Intervenciones típicas.

## 8.6 Etapa 5: Ejecutar intervenciones y monitorear su efectividad.

Al momento de ejecutar las intervenciones estas se deben medir y visualizar el impacto que generaron, según la metodología de estándar definida. Contemplando así:

- Número de fallas de equipos en foco
- Horas de falla de equipos en foco.

Las locomotoras no fueron diseñadas para trabajo en faena minera, donde la polución y la humedad son factores que entorpecen el buen funcionamiento, sumando la utilización de los motores diésel en bajas revoluciones lo que provoca un desgaste acelerado de los componentes internos de este.

## **9. Análisis de riesgos**

El análisis de riesgo llevado a cabo para el proyecto se fundamenta en la necesidad de asegurar un progreso estable y eficiente. La interdependencia clave entre distintos actores, desde la base de datos hasta las condiciones externas como cortes de luz o factores climáticos, se ha considerado primordial para identificar y evaluar los posibles riesgos. Estos se han dividido en siete criterios específicos que abarcan desde disponibilidad de recursos como internet y luz para acceder a datos críticos, hasta la garantía de calidad de la información obtenida, los costos del proyecto y la participación adecuada de los equipos expertos. Estos criterios proporcionan una visión integral y detallada de los potenciales obstáculos que podrían enfrentarse durante el desarrollo del proyecto, permitiendo una preparación y gestión proactiva de los mismos para asegurar su éxito.

### **9.1 Riesgos**

Para garantizar un progreso seguro en el proyecto, es fundamental anticipar los riesgos a los que podría enfrentarse. En esta instancia existe una interconexión significativa entre diversos actores, tal como la base de datos, la unidad de trabajo, condiciones climáticas y cortes de luz.

Los riesgos identificados son:

1. Que no haya internet y luz para obtener los datos de SAP, como parte de la primera investigación.
2. Que el personal experto no tenga el tiempo para verificar datos obtenidos, para corroborar el primer acercamiento con la información de los equipos.
3. Que el proyecto tenga costos muy altos, que no permitan que la solución sea rentable.
4. Que por parte de la unidad la participación sea baja, para poder ordenar la información se requiere de dotación experta.
5. Que la solución no cumpla las expectativas al momento de finalizar el proyecto.
6. Que la información descargada no sea 100% fidedigna al momento de obtener los datos para realizar los análisis.
7. Que las condiciones climáticas no permitan llegar al lugar de trabajo durante la duración del proyecto.

## 9.2 Tabla de riesgos y mitigaciones.

N°	RIESGO	NIVEL	PROBABILIDAD	MITIGACIÓN
1	Caida de internet o corte de luz	Medio	Baja	En caso que suceda, cambiar lugar de trabajo e ir a las instalaciones de millan para así no perder continuidad de trabajo.
2	Personal no cuenta con tiempo.	Alto	Baja	Revisar el PAM, plan de actividades mensuales para poder buscar un horario conveniente.
3	Alto costo del proyecto.	Medio	Media	Entablar desde un principio los alcances de presupuestos y lluvia de ideas a lo que se puede llegar.
4	Baja participación de la unidad.	Bajo	Baja	Si se tiene baja presencia de información, se puede recurrir a otras unidades para pedir apoyo.
5	Solución no cumpla expectativas	Medio	Media	Desde el diseño participativo se trabaja con los mantenedores, por lo que resulta favorable el poder revisar técnicas en conjunto de mejoras relacionadas bajo su experiencia propia.
6	Información no fidedigna	Alta	Media	Es probable que la información que se encuentre en la plataforma no sea 100% real, pero la idea del proyecto es rabajar en conjunto a los mantenedores expertos, para así poder dar la validez correspondiente.
7	Condiciones Climaticas	Media	Baja	Este año fue bastante particular el clima, pero la división tiene todas las medidas de control ante situaciones fuera de lo común, para así darle una operatividad normal a la división.

**Tabla 4:** Tabla de riesgos y mitigaciones.

## 9.3 Matriz de riesgos

Mediante la tabla de riesgos anterior, es factible elaborar una matriz que muestre el impacto resultante de no prevenir ni mitigar los riesgos basado en su nivel y probabilidad de ocurrencia. Esta matriz emplea tres niveles para comprender la severidad del impacto: Verde para un bajo impacto, Amarillo para un impacto medio y Rojo para un impacto alto.

	Nivel Bajo	Nivel Medio	Nivel Alto
Probabilidad alta			
Probabilidad media		N°5	N°6
Probabilidad baja	N°4	N°1 y N° 7	N°2 y N°3

**Tabla 5:** Matriz de riesgos.

Lo que muestra la matriz, se debe actuar con mayor precaución en el riesgo N°6, que la información no sea 100% fidedigna, para prevenir esto, se debe comparar y verificar toda la información con mecánicos expertos.

## 10. Desarrollo

### 10.1 Frecuencia mantenimiento actual.

El mantenimiento por horómetro registra y programa tareas preventivas o correctivas según las horas de funcionamiento de activos móviles, como vehículos o maquinaria. Basado en el tiempo de operación, este enfoque anticipa y gestiona mantenimientos para prevenir fallos, prolongar la vida útil y asegurar un rendimiento óptimo.

### 10.2 Mantenimiento por calendario, propuesto.

El mantenimiento por calendario de activos móviles implica realizar tareas programadas, como inspecciones o reemplazos, en intervalos de tiempo fijos, independientemente de las horas de funcionamiento. Este método se enfoca en acciones preventivas planificadas por fechas para asegurar la confiabilidad y durabilidad de los equipos. Los fabricantes de los motores de ambas marcas analizadas (Cummins y Caterpillar), recomiendan un tiempo de operación para cada pauta o una cierta cantidad de días para llevar a cabo cada pauta. Lo que permite poder llevar con toda seguridad el plan matriz a calendario.

### 10.3 Mantenimiento actual v/s propuesto.

Para las Locomotoras de la marca NREC las pautas de mantenimiento de podrían calendarizar de la siguiente forma:

Años	Calendario	Frecuencia	Frecuencia	Horometro
1	74	5	2	800
2		5	2	
3		5	2	
4		5	2	
5		5	2	
1	138	3	1	1600
2		3	1	
3		3	1	
4		3	1	
5		3	1	
1	365	1	1	3200
2		1	1	
3		1	1	
4		1	1	
5		1	1	

**Tabla 6:** Comparativa Calendario V/S Horómetro NREC.

Lo cual muestra un aumento de pautas por año, permitiendo poder atacar los malos actores vistos anteriormente, con más de una intervención al mismo sistema en un año, con relevancia en las pautas con mayor tiempo de operación que con el antiguo sistema solo se realizaban 1 cada dos años, con esta nueva estrategia, se cubrirían 1 pauta por año en un periodo de 5 años estudiados.

Lo mismo sucede con SCHALKE *Tabla 7*, donde las pautas que contemplan la mayor cantidad de tareas que atacan directamente a los malos actores se concentran en las 1000, 2000 y 4000 horas, con el antiguo formato estas pautas solo se realizaban de 1 a 2 pautas por año, con la actual estrategia se logran realizar una mayor cantidad de pautas en un menor plazo de tiempo, aportando de forma considerable a los equipos, considerando que no trabajan en condiciones optimas de desempeño.

<b>AÑOS</b>	<b>Calendario</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Horometro</b>
1	<b>92</b>	4	1	<b>1000</b>
2		4	2	
3		4	2	
4		4	1	
5		4	2	
1	<b>184</b>	2	1	<b>2000</b>
2		2	1	
3		2	1	
4		2	1	
5		2	1	
1	<b>365</b>	1	1	<b>4000</b>
2		1	1	
3		1	1	
4		1	1	
5		1	1	
1	<b>730</b>	1	1	<b>8000</b>
2		1	1	
3		1	1	
4		1	1	
5		1	1	

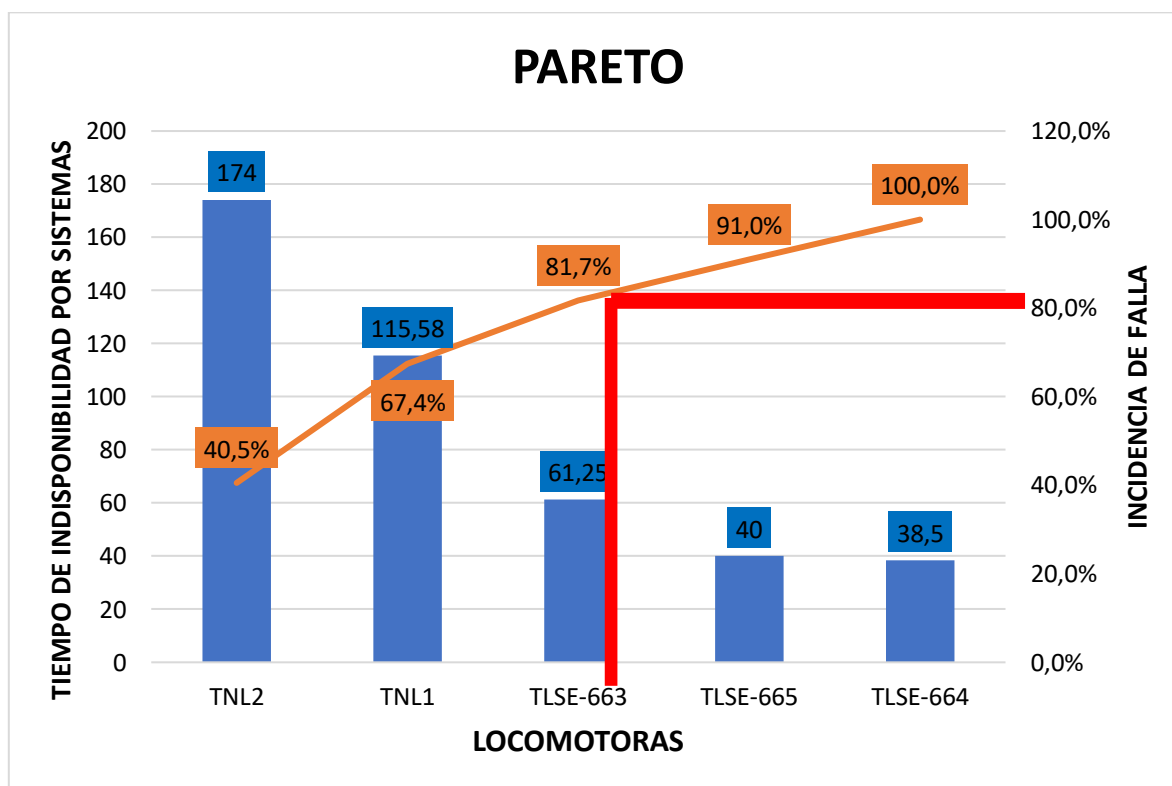
**Tabla 7:** Comparativa Calendario V/S Horómetro SCHALKE.



## 11. Resultados

Es por esta razón que la mejor forma de realizar las pautas de mantenimiento es llevarlas a calendario, porque esto permite tener servicios planificados más frecuentes, optimizando la disponibilidad operativa al programa y realizar mantenimientos preventivos, reduciendo así tiempos de inactividad imprevistos. Esto resulta en una mayor eficiencia en la producción minera al minimizar interrupciones. Además, garantiza la seguridad al mantener los estándares de funcionamiento, reduciendo riesgos operativos y posibles accidentes. A su vez, alargar la vida útil de los equipos, al prevenir fallas mayores y desgastes innecesarios, puede generar ahorros significativos en costos de reparación y reemplazo. Por último, al cumplir con pautas programadas de esta forma, se facilita el cumplimiento de regulaciones y estándares de seguridad, aspecto fundamental en entornos mineros.

Al proyectar las pautas en un periodo de 1 año con las fallas existentes se tiene el siguiente diagrama de Pareto:



**Imagen 11:** Diagrama de Pareto de la flota después de aplicar calendario de pautas.



En donde se evidencia la considerable disminución de tiempo en cuanto a indisponibilidad de los equipos, incluso, los equipos TSLE-664 y 665 salen del listado de críticos gracias a estas medidas tomadas.

## 12. Evaluación Económica

Con el fin de saber los costos y beneficios del proyecto, se realizó la evaluación económica considerando el presupuesto anual de \$880.000.000, para las mantenciones programadas en el año. Considerando como costos anuales la mantención fija correspondiente a las pautas de mantenimiento de los 5 equipos por calendario, además de ello la depreciación lineal de cada una de las locomotoras hasta la fecha.

	2024	2025	2026	2027	2028
Años	1	2	3	4	5
<b>Presupuesto</b>	<b>\$910,800,000</b>	<b>\$933,592,000</b>	<b>\$961,599,760</b>	<b>\$990,447,753</b>	<b>\$1,020,161,185</b>
<b>Mantención fija</b>	<b>-\$574,474,348.80</b>	<b>-\$664,393,547.58</b>	<b>-\$624,474,423.34</b>	<b>-\$701,111,222.12</b>	<b>-\$648,502,183.29</b>
<b>Flujo operacional</b>	<b>\$336,325,651</b>	<b>\$269,198,452</b>	<b>\$337,125,337</b>	<b>\$289,336,531</b>	<b>\$371,659,002</b>
Depreciación	-\$1,408,000,000	-\$1,408,000,000	-\$1,408,000,000	-\$1,408,000,000	-\$1,408,000,000
<b>Utilidad antes de impuestos</b>	<b>-\$1,071,674,349</b>	<b>-\$1,138,801,548</b>	<b>-\$1,070,874,663</b>	<b>-\$1,118,663,469</b>	<b>-\$1,036,340,998</b>
Impuesto (29%)	0	0	0	0	0
<b>Utilidad neta</b>	<b>-\$1,071,674,349</b>	<b>-\$1,138,801,548</b>	<b>-\$1,070,874,663</b>	<b>-\$1,118,663,469</b>	<b>-\$1,036,340,998</b>
Depreciación	\$1,408,000,000	\$1,408,000,000	\$1,408,000,000	\$1,408,000,000	\$1,408,000,000
<b>Flujo Neto</b>	<b>\$336,325,651</b>	<b>\$269,198,452</b>	<b>\$337,125,337</b>	<b>\$289,336,531</b>	<b>\$371,659,002</b>
<b>VP</b>	<b>\$296,102,757</b>	<b>\$208,659,170</b>	<b>\$230,058,757</b>	<b>\$173,833,352</b>	<b>\$196,587,976</b>
<b>VAN</b>	<b>\$1,105,242,012</b>				
<b>Riesgo despalancado</b>	<b>13.58%</b>				
Tasa libre de descuento	0.0435				
Beta Unleveraged	1.11				
S&P500 (10 años)	0.1166				
CDS	0.0112				
Riesgo despalancado	13.58%				
inflation	3.5% (2023) 3.0% (2024 plus)				

**Tabla 8:** Flujo de caja con proyecto.

Tras realizar el flujo de caja se pudo apreciar que dicho proyecto es teóricamente conveniente al obtener un VAN superior a cero, permitiendo una flexibilidad en su presupuesto al departamento de mantención para realizar las pautas y además estar preparados económicamente ante cualquier eventualidad en cada uno de los años. Es posible que un futuro esta diferencia positiva de recursos puedan ser destinados a proyectos de mantención mayor en dichos equipos.

En la *tabla 10* se muestra cómo varía el flujo ante cambios en dos variables específicas. Un incremento del 1.05% en los costos se traduce en una reducción del 2.10% en el flujo, sugiriendo una sensibilidad negativa a los costos, un aumento en los costos afecta negativamente el proyecto. Por otro lado, un cambio del 5,34% en el valor del dólar a 5 años se correlaciona con una disminución del 5,29% en el proyecto, mostrando también una sensibilidad negativa, por ejemplo una subida del dólar a largo plazo impacta negativamente en el flujo. Estos resultados resaltan la importancia de monitoriar y gestionar los costos, así como las fluctuaciones a largo plazo en el valor del dólar, ya que tienen un impacto significativo en el flujo presentado.

	Flujo
1,05% Costos	-2,10%
5.34% Dollar 5Y	-5,29%

**Tabla 9:** Análisis de sensibilidad.

El análisis de escenario de la *tabla 10* ofrece una visión más amplia de cómo las variaciones extremas en los costos y en el valor de dólar a 5 años pueden afectar el flujo en diferentes situaciones:

		Var. porcenta
Pesimista	6% costos + 6% dollar 5Y	-1,32%
	5,34% costos + 5,34% dollar 5Y	-1,07%
Base	0	0
Optimista	(-5,34% costos - 5.34% dollar 5Y)	0,99%
	(-6% costos - 6% dollar 5Y)	3,54%

**Tabla 10:** Análisis de escenario.

- **Escenario Pesimista:** Involucra un aumento significativo tanto en los costos (6%) como en el valor del dólar a 5 años (6%). La reducción del flujo es del -1.32% cuando ambos aumentan un 6%. Sin embargo, cuando se mantiene un aumento simétrico del 5.34% en ambas variables, la disminución del flujo es menor (-1.07%). Esto sugiere que variaciones simétricas ligeramente menores en costos y valor del dólar a 5 años tienen un impacto ligeramente menor en el flujo.
- **Escenario Base:** Representa las condiciones actuales, donde no hay variaciones (0%). El flujo se mantiene constante (0), lo que indica que en las condiciones actuales no se esperan cambios en el flujo.

- **Escenario Optimista:** Aquí se muestran disminuciones extremas tanto en los costos (-5.34%) como en el valor del dólar a 5 años (-5.34%) que conducen a un aumento significativo del flujo (0.99%). Sin embargo, cuando se mantienen reducciones simétricas mayores (-6%), el flujo aumenta aún más notablemente (3.54%).

Estos resultados sugieren que los escenarios extremos tanto en el lado positivo como en el negativo tienen un impacto notable en el flujo. Las reducciones extremas en costos y el valor del dólar a 5 años llevan a aumentos considerables en el flujo, mientras que los aumentos extremos en estas variables resultan en disminuciones del flujo, aunque las variaciones simétricas menores tienen un impacto menor.

### 13. Bibliografía

- Wrede, I. (2023, 4 septiembre). Los trenes desbaratan el mito de la puntualidad alemana. *dw.com*. <https://www.dw.com/es/caos-en-deutsche-bahn-los-trenes-desbaratan-el-mito-de-la-puntualidad-alemana/a-66718294>
- SafetyCulture. (2023, 22 agosto). *Análisis de riesgos: ejemplo y métodos* / SafetyCulture. <https://safetyculture.com/es/temas/analisis-de-riesgos/>
- Del Cobre Chile, C.-. C. N. (s. f.). *El teniente* / CODELCO - Corporación Nacional del Cobre, Chile. CODELCO - Corporación Nacional del Cobre, Chile. <https://www.codelco.com/elteniente>
- 
- *Betas by Sector (US)*. (s. f.). <https://pages.stern.nyu.edu/>. Recuperado 5 de noviembre de 2023, de [https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/Betas.html](https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html)
- Swissinfo.Ch. (2018, 28 marzo). El Teniente, la mayor mina subterránea del mundo, busca extender su vida útil. *SWI swissinfo.ch*. <https://www.swissinfo.ch/spa/afp/el-teniente--la-mayor-mina-subterr%C3%A1nea-del-mundo--busca-extender-su-vida-%C3%BAtil/44007424>
- *MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD: Realiability-centred Maintenance: Vol. Segunda Edición* (En Español). (2004). John Moubray 1991, 1997, 2000.
- *Bono de Estados Unidos a 10 años 2023*. (s. f.). Datosmacro.com. <https://datosmacro.expansion.com/bono/usa>
- *Chile: Declaración del personal técnico del FMI al término de la misión del artículo IV correspondiente a 2023*. (2023, 20 noviembre). IMF.

<https://www.imf.org/es/News/Articles/2023/11/20/cs-chile-imf-staff-concluding-statement-of-the-2023-article-iv>

- *Dólar peso chileno histórico | Evolución USD/CLP - Investing.com.* (2001, 12 enero). Investing.com Español. <https://es.investing.com/currencies/usd-clp-historical-data>
- GovBonds. (2023, 28 octubre). *Chile 5 years CDS - historical data.* World Government Bonds. <http://www.worldgovernmentbonds.com/cds-historical-data/chile/5-years/#:~:text=The%20Chile%205%20Years%20CDS,a%2040%25%20recovery%20rate%20supposed.>
- *Maintenance and Capital Costs of Locomotives.* (s. f.). <https://onlinepubs.trb.org>. Recuperado 10 de noviembre de 2023, de <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr180/180-009.pdf>
- *Yahoo forma parte de la familia de marcas de Yahoo.* (s. f.). [https://es.finance.yahoo.com/quote/SPY/performance/?guccounter=1&guce\\_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xILmNvbS8&guce\\_referrer\\_sig=AQAAAA3zgW2ky6ooluuPgiJfdkBXG81mFj7f4gFOLndNh-exQIScRxkp5z53OrrvR76RPwsCoBl\\_-j7Nr4OiVhhbv9DGxLec7PSu5muTeUn7mbF8sbji7CquYo2DRKUZ1YOPFVBpita0HSbg3Gd6B-RSRENSxHW6Ajl-yVV\\_M8Xic734](https://es.finance.yahoo.com/quote/SPY/performance/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xILmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAA3zgW2ky6ooluuPgiJfdkBXG81mFj7f4gFOLndNh-exQIScRxkp5z53OrrvR76RPwsCoBl_-j7Nr4OiVhhbv9DGxLec7PSu5muTeUn7mbF8sbji7CquYo2DRKUZ1YOPFVBpita0HSbg3Gd6B-RSRENSxHW6Ajl-yVV_M8Xic734)