

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE MEJORA A PLANES DE MANTENIMIENTO DE
CAMIONES CATERPILLAR 793F**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de **INGENIERO EN
MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL.**

Alumno:

Sr. Matías González Véliz

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González

RESUMEN

KEYWORDS: CONFIABILIDAD, MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, FMECA, ANÁLISIS DE FALLAS, CAMIÓN CATERPILLAR 793F.

Este trabajo aborda la optimización de los planos de mantenimiento para camiones Caterpillar 793F, esenciales en la operación minera del proyecto Rajo Esperanza Sur de Minera Centinela en Chile. Se desarrolla un análisis basado en herramientas como el diagrama Jack-Knife y la metodología FMECA para identificar modos de falla y priorizar acciones correctivas. La problemática principal radica en los costos elevados y retrasos operativos que afectan los objetivos estratégicos de producción.

Mediante un estudio de las fallas en componentes críticos, el sistema hidráulico se identificó como el de mayor impacto en términos de frecuencia y tiempo de reparación. Con base en estos resultados, se propusieron mejoras en las pautas de mantenimiento preventivo, incluyendo ajustes en los intervalos de servicio, gestión optimizada de repuestos y monitoreo constante de componentes críticos.

Este trabajo representa una contribución significativa para mejorar la gestión del mantenimiento en minería, demostrando que un enfoque estratégico puede maximizar la confiabilidad y reducir los costos operativos, garantizando así la continuidad y sostenibilidad de las operaciones.

INDICE CONTENIDO

RESUMEN	
SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS.....	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
CAPITULO 1.....	3
PROCESO PRODUCTIVO, ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	3
1.1 ANTECEDENTES GENERALES	4
1.2 EMPRESA EPSA	5
1.3 EPSA EN CHILE.....	6
1.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA FLOTA DE CAMIONES CATERPILLAR 793F	7
1.5 PROCESO PRODUCTIVO.....	8
1.6 PROBLEMÁTICA	9
1.7 CODIFICACIÓN INTERNA	10
1.8 SUBSISTEMAS PRINCIPALES E INFORMACIÓN TÉCNICA DE CAMIÓN CAT793F.....	11
1.8.1 Motor.....	11
1.8.2 Transmisión.....	13
1.8.3 Pesos aproximados.....	14
1.8.4 Distribución aproximada del peso.....	14
1.8.5 Frenos	15
1.8.6 Suspensión.....	15
1.8.7 Dispositivo de levantamiento de cajas	16
1.8.8 Especificaciones de operación	17
1.8.9 Cabina del operador	18
1.8.10 Chasis	19

1.8.11 Sistema monitor	20
1.8.12 Sistema de dirección	21
1.8.13 Dimensiones del equipo	22
CAPITULO 2.....	24
IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE COMPONENTES CRITICOS EN FLOTA DE CAMIONES CATERPILLAR 793F.....	24
2.1 MÉTODO DE SELECCIÓN DE SISTEMA DE EQUIPO CRÍTICO	25
2.2 DETERMINAR SISTEMA CRITICO	28
2.3 PAUTAS DE MANTENIMIENTO EXISTENTES.....	34
2.4 ANÁLISIS DE MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE FALLA (FMECA)	37
Fórmula 2-1: Fórmula de riesgo cuantitativo.....	39
Fórmula 2-2: Fórmula de costo depreciación.	40
CAPITULO 3.....	45
DESARROLLO DE PAUTAS DE MANTENIMIENTO Y EVALUACIÓN DE COSTOS ASOCIADOS.....	45
3.1 TAREAS PROPUESTAS.....	46
3.2 RIESGO ECONOMICO ANUAL DE MANTENIMIENTO EXISTENTE	51
3.3 FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA	51
3.3.1 Riesgo económico del mantenimiento propuesto	51
3.4 BENEFICIO ESPERADO	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFIA	55
ANEXOS	56
ANEXO A: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 750 HORAS. .	56
ANEXO B: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 750 HORAS. .	57
ANEXO C: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 750 HORAS. .	58
ANEXO D: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 750 HORAS. .	59
ANEXO F: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS. .	60

ANEXO G: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS.	61
ANEXO H: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS.	62
ANEXO I: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS..	63
ANEXO J: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS.	64
ANEXO K: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS.	65
ANEXO L: PAUTA MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRÁULICO (PÁG 1).	66
ANEXO M: PAUTA DE MANTENIMIENTO HIDRÁULICO (PÁG 2).....	67
ANEXO N: PAUTA DE MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRÁULICO (PÁG 3).	68
ANEXO Ñ: PAUTA DE MANTENIMIENTO HIDRÁULICO (PÁG 4).	69
C ANEXO O: PAUTA DE MANTENIMIENTO HIDRÁULICO (PÁG 5).....	70
ANEXO Q: COSTOS DE INSUMOS POR ACTIVIDAD PROGRAMADA.....	71

INDICE FIGURAS

Figura 1-1: Camión 793F.	7
Figura 1-2: Diagrama de procesos empresa EPSA.....	8
Figura 1-3: Diagrama de procesos minera centinela.	9
Figura 1-4: Sistemas y subsistemas camión CAT 793F	11
Figura 1-5: Motor Cat175-16	11
Figura 1-6: tren de fuerza mecánico 793F.....	13
Figura 1-7: Imagen referencial a caja X.	16
Figura 1-8: Imagen referencial a caja MSD II.....	16
Figura 1-9: Imagen referencial a caja para carbón sin compuerta.....	16
Figura 1-10: imagen cabina.	19
Figura 1-11: Chasis 793F.	20
Figura 1-12: Monitor.	20
Figura 1-13: Sistema de dirección 793F.....	21
Figura 1-14: Imagen referencial del camión.....	22
Figura 2-1: Grafico Jack-Knife Caterpillar 793F.	29
Figura 2-2: Grafico Jack-Knife componentes sistema hidráulico.	32
Figura 2-3: Pauta mantenimiento programado para las 250 horas.	35
Figura 2-4: Pauta mantenimiento programado para las 250 horas.	36
Figura 2-5: Tabla FMECA para modos de falla.	41
Figura 2-6: Tabla de riesgo económico de los modos de falla, sistema hidráulico.	42
Figura 2-7: Tabla de estimación del riesgo económico asociado al mantenimiento propuesto.	43
Figura 2-8: Tabla de estimación del riesgo económico futuro.	44
Figura 3-1: Tareas de mantenimiento a sistema hidráulico.	46

Figura 3-2: Tareas de mantenimiento a sistema hidráulico.....	47
Figura 3-3: Tareas de mantenimiento a sistema hidráulico.....	47
Figura 3-4: Tareas de mantenimiento a sistema hidráulico.....	48
Figura 3-5: Tareas de mantenimiento a sistema hidráulico.....	48
Figura 3-6: Tareas de mantenimiento a sistema hidráulico.....	49
Figura 3-7: Tareas de mantenimiento a sistema hidráulico.....	49
Figura 3-8: Costos de insumos por actividad programada.	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Codificación interna de los equipos.....	10
Tabla 1-2: Información técnica del motor.....	12
Tabla 1-3: Velocidades de marchas.....	13
Tabla 1- 4: Pesos del Camión.....	14
Tabla 1-5: Distribución peso.	14
Tabla 1-6: Datos técnicos de los frenos.....	15
Tabla 1- 7: Datos técnicos de la suspensión.....	15
Tabla 1-8: Especificaciones técnicas sistema de caja.....	17
Tabla 1-9: Especificaciones necesarias para operar.	18
Tabla 1-10: componentes de cabina operador.....	18
Tabla 1-11: Dimensiones de camión minero Caterpillar 793F.....	23
Tabla 2-1: Tabla resumen de detenciones.	28
Tabla 2-2: tabla resumen sistema hidráulico.....	31
Tabla 3-1: Cuadro de beneficio esperado.....	52

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

FMECA: Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad.

MTTR: Tiempo Medio para Reparar.

CAT: Caterpillar (Marca del fabricante de los camiones analizados).

SAE: Sociedad de Ingenieros Automotrices.

EPA: Agencia de Protección Ambiental (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos).

VIMS: Sistema de Gestión de Información Vital.

CLP: pesos chilenos.

SIMBOLOGÍAS

kW: Kilovatios.

hp: Caballos de fuerza.

mm: Milímetros.

pulg: Pulgadas.

kg: Kilogramos.

lb: Libras.

m: Metros.

km/h: Kilómetros por hora.

rpm: Revoluciones por minuto.

kPa: Kilo Pascal.

°C: Grados Celsius.

°F: Grados Fahrenheit.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento industrial desempeña un papel crucial en la continuidad operativa y la optimización de los procesos productivos, especialmente en sectores de alta exigencia como la minería, donde la confiabilidad y el rendimiento de los equipos son determinantes para alcanzar los objetivos operacionales y económicos. Este informe presenta un conjunto de propuestas destinadas a mejorar los lineamientos de mantenimiento para los camiones Caterpillar 793F, pieza clave en la flota de EPSA que opera en el proyecto Rajo Esperanza Sur, perteneciente a Minera Centinela, Chile.

La elaboración de esta iniciativa responde a la necesidad de abordar los desafíos asociados con los altos costos operativos y las detenciones no planificadas de estos equipos, una situación que ha generado interrupciones significativas en la cadena logística, afectando negativamente tanto la productividad diaria como los objetivos estratégicos de producción. Mediante un análisis exhaustivo de los sistemas críticos, utilizando herramientas técnicas como los diagramas Jack-Knife y la metodología FMECA, se busca implementar mejoras en las estrategias de mantenimiento preventivo, logrando así optimizar los costos operativos asociados.

La implementación de esta propuesta permitirá una reducción significativa en los costos anuales de mantenimiento y un incremento en la disponibilidad operativa. Este enfoque no solo considera soluciones técnicas y operativas, sino que también integra una evaluación del impacto económico y ambiental, priorizando la sostenibilidad mediante prácticas que minimicen el impacto ambiental y mejoren la eficiencia en el uso de recursos. Al promover estándares exigentes de calidad, seguridad y sostenibilidad, esta propuesta refuerza la competitividad empresarial y aporta un valor tangible a la gestión del mantenimiento en la industria minera, demostrando cómo una planificación bien estratégica fundamentada puede optimizar la eficiencia operativa de los activos más críticos y fortalecer la continuidad y sostenibilidad de las operaciones mineras.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta a componentes críticos de los camiones de extracción Caterpillar 793F en minera centinela, con base en un análisis de fallas recurrentes y dificultades operativas en el taller de reparaciones, considerando el diseño de una estrategia de mantenimiento y un análisis de factibilidad económica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la situación actual y las problemáticas asociadas al desempeño en el contexto del taller de mantenimiento, mediante información técnica del equipo CAT-793F y su contexto operacional, comprendiendo los factores que afectan la disponibilidad y eficiencia operativa.
- Desarrollar una metodología técnica para identificar y seleccionar componentes críticos, utilizando el análisis basado en el diagrama Jack Knife, elaborando mejoras a los procesos y planes actuales.
- Diseñar pautas técnicas de mantenimiento y respectiva evaluación técnico-económica para garantizar el cumplimiento de estándares de seguridad y protección ambiental.

CAPITULO 1.

**PROCESO PRODUCTIVO, ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN
DE LA EMPRESA.**

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

Proyecto Rajo Esperanza Sur, es una de las expansiones más relevantes de Minera Centinela (Antes llamada Minera Esperanza), perteneciente al grupo Antofagasta Minerals. Esta fue la estrategia utilizada por parte de la compañía para aumentar y mejorar la producción de cobre y oro, dos materias primas que exporta Chile y que son fundamentales para la economía del país. Dicho proyecto tiene el objetivo de prolongar la vida útil de la mina al explotar reservas adicionales ubicadas en la parte sur del rajo actual, esta decisión es clave para poder garantizar la continuidad operacional y así asegurar una fuente constante de minerales de cobre para los años venideros.

El yacimiento se encuentra en la misma zona minera donde opera el proyecto **Esperanza** y **Sierra Gorda**, en la comuna de Sierra Gorda, en la región de Antofagasta. El proyecto cuenta con una buena ubicación geográfica debido a la gran concentración de depósitos de cobre, oro y en menor cantidad molibdeno, que se encuentran en el lugar. El principal tipo de mineral extraído es el Sulfuro de cobre, el cual es procesado en la planta concentradora de Minera Centinela.

La planta concentradora, es clave en el procesamiento de minerales sulfurados, a través del método de flotación, con una **capacidad de 100.000 toneladas diarias**. El proceso se divide en dos zonas, siendo la primera Centinela concentrados, y Centinela Óxidos, lugar donde se procesan tanto como sulfuros como óxidos de cobre. La planta cuenta con tecnologías avanzadas para optimizar la recuperación de metales, mientras implementa medidas sustentables, como el uso eficiente de agua y energía renovable.

Algunos de los **compromisos ambientales** que adopto la compañía, es el **uso de agua de mar** la cual es desalinizada en la planta de Mejillones, luego de terminado este proceso el agua es transportada hacia el sitio minero, para ser utilizada en los procesos de flotación y otros usos industriales. Otra estrategia utilizada, es la del **manejo de residuos**, donde se gestionan los residuos sólidos y los relaves generados por el proceso de concentración. Estos desechos son manejados de manera segura para evitar la contaminación del suelo y agua.

Los beneficios del proyecto son la generación de empleos, durante la fase de construcción y operación, el rajo Esperanza continuara generando empleos directos en la mina y empleos indirectos en las empresas proveedoras de bienes y servicio. **Impacto en la comunidad**, minera Centinela tiene programas de responsabilidad social donde buscan desarrollar relaciones sostenibles con las comunidades locales, lo cual incluye programas de capacitación, desarrollo social, aportes a la infraestructura comunitaria de Sierra Gorda. Por ultimo **las exportaciones**, el cobre extraído contribuye significativamente a las exportaciones de Chile, lo cual refuerza la posición del país como un actor clave en el mercado global de minerales y proporciona ingresos importantes Estado chileno.

1.2 EMPRESA EPSA

EPSA (**Empresa de Movimiento de Tierras Global**) es una empresa multinacional fundada en 1962, especializada en servicios de movimiento de tierras para proyectos de minería e infraestructura en todo el mundo. Con sede en Madrid, España, EPSA ha crecido hasta convertirse en un contratista líder en su sector, operando en múltiples continentes, incluyendo Europa, América del Sur, África, Asia y Oceanía.

La empresa ofrece una amplia gama de servicios, como minería, construcción, perforación, voladuras, y mantenimiento de equipos. Se destacan por su enfoque en la sostenibilidad, comprometiéndose con los principios ESG (ambientales, sociales y de gobernanza), asegurando que sus operaciones tengan un impacto positivo en las comunidades donde trabajan y el medio ambiente. EPSA también se dedica a la educación y el desarrollo comunitario, apoyando programas locales en las regiones donde operan.

En cuanto a su historia, EPSA comenzó con proyectos de obra civil en España y expandió sus operaciones a nivel internacional en los años 70, siendo su primer proyecto en Marruecos. En las décadas siguientes, la empresa amplió su presencia a América del Sur, Oriente Medio, África y la región Asia-Pacífico. Actualmente, cuentan con más de 6000 empleados comprometidos en proyectos alrededor del mundo, especialmente en grandes proyectos de infraestructuras y minería

Por último, la empresa se enorgullece de ofrecer un entorno de trabajo colaborativo, en el que se valora el respeto por los empleados, clientes, proveedores y comunidades. La

cultura organizacional de EPSA se basa en valores como la responsabilidad, el orgullo por el trabajo bien hecho y el respeto por todas las partes interesadas, asegurando un enfoque inclusivo y ético en todas sus operaciones

1.3 EPSA EN CHILE

El proyecto “Rajo Esperanza Sur” de Minera Centinela en Chile es parte de un plan más amplio para implementar tecnología autónoma en la industria minera. EPSA, como empresa contratista principal, juega un papel vital en diversas actividades del proyecto. **Entre sus principales funciones se encuentran los movimientos de tierras a gran escala, así como las operaciones de perforación y voladura.** Estas actividades son fundamentales para las operaciones mineras a cielo abierto y para garantizar la preparación adecuada del terreno para la minería.

EL movimiento de tierra a gran escala es considerado como una de las actividades principales en la minería, cuenta con varias etapas donde destacan el carguío, transporte y descarga. En todas estas se debe cuidar la planificación y programación de los movimientos y rutas.

Dentro de las principales máquinas utilizadas se encuentran las excavadoras, cargadoras y camiones tolva que trasladan el material de un lugar a otro. También se usan otros como la rotopala, bulldozers y varios cargadores híbridos para aplicaciones específicas.

Debido a los tamaños de la maquinaria utilizada, la prevención y seguridad es un tema muy relevante durante estos procesos. Por eso se busca minimizar y evitar los factores de riesgo, incluyendo el adecuado tratamiento y mantención para rutas y caminos.

1.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA FLOTA DE CAMIONES CATERPILLAR 793F

Para este trabajo de título, se analizarán 6 equipos Caterpillar 793F (Figura 1-1 y 1-2) de la empresa EPSA, los cuales son los encargados remover y transportar toneladas de material estéril y mineral para acceder a los depósitos de recursos valiosos, como metales y minerales industriales. El éxito de esta etapa determina el ritmo y la eficiencia de toda la operación minera. Debido a la importancia de estas tareas, se requieren equipos de alta capacidad que logren soportar condiciones extremas y cumplan con su trabajar de manera continua. Estos camiones son una pieza fundamental, debido a su gran **capacidad de almacenamiento, transportando hasta 226.8 toneladas por viaje**, lo cual los convierte en una solución de acarreo más eficiente en la industria minera. Su robustez y capacidad de carga no solo reducen la cantidad de viajes necesarios, sino que también permite un movimiento más rápido y eficiente del material.



Figura 1-1: Camión 793F.

(Fuente: Elaboración propia)

1.5 PROCESO PRODUCTIVO

La minería a cielo abierto es uno de los métodos más utilizados para extraer minerales que se encuentran cerca de la superficie terrestre. Este proceso involucra diversas fases que requieren de una cuidadosa planificación y el uso de maquinaria pesada. A través de técnicas de perforación, voladura, carguío, transporte y procesamiento, se logra extraer el material bruto, separando el mineral valioso de los desechos, todo mientras se implementan medidas para mitigar el impacto ambiental. A continuación, se describen los pasos esenciales en el proceso de extracción en una mina a cielo abierto.

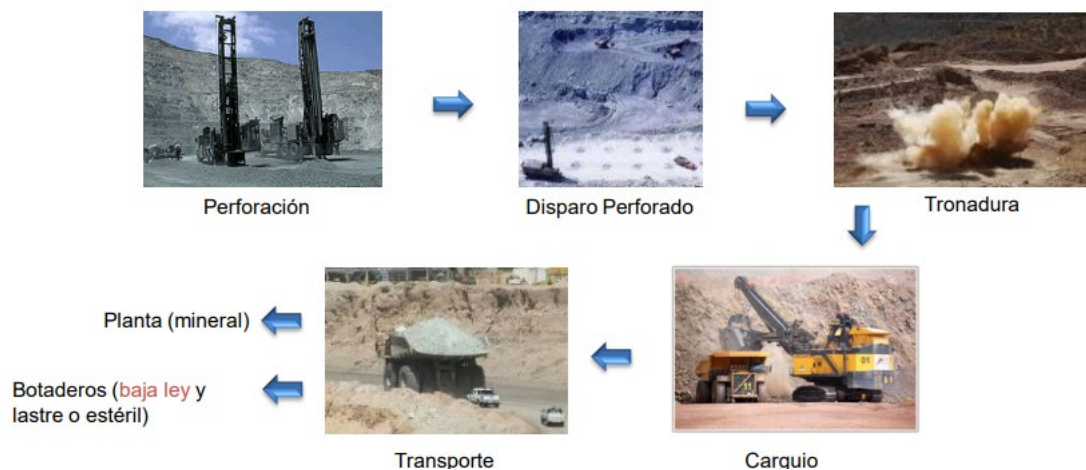


Figura 1-2: Diagrama de procesos empresa EPSA.

(Fuente: Elaboración propia)

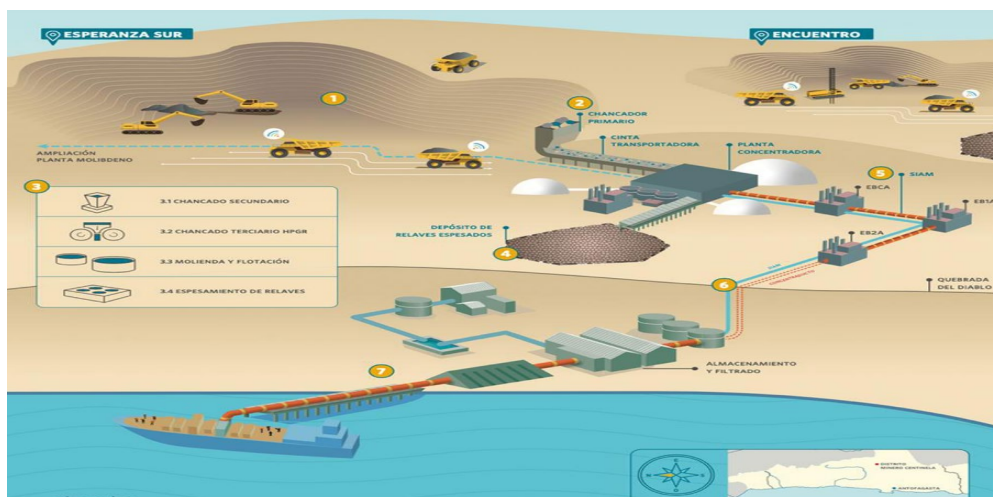


Figura 1-3: Diagrama de procesos minera centinela.

(Fuente: Elaboración propia)

1.6 PROBLEMÁTICA

La flota de camiones experimenta varios sucesos no planificados, lo que ha derivado en un aumento notable en los costos de mantenimiento correctivo y en la incapacidad para cumplir con las demandas del departamento de mantenimiento. Esta situación impacta directamente la eficiencia del traslado de mineral desde el frente de extracción hasta los puntos de procesamiento, generando cuellos de botella en la cadena logística y retrasos en las actividades posteriores, como la trituración y el tratamiento de los minerales. Como consecuencia, no solo se ve afectada la planificación diaria de las operaciones, sino que también se comprometen los objetivos de producción a largo plazo, obligando a la empresa a reevaluar sus metas de rendimiento y productividad. Además, los costos se incrementan debido a las interrupciones en el proceso de extracción, lo que implica un mayor uso de recursos para reparar los equipos y gestionar su puesta en marcha.

1.7 CODIFICACIÓN INTERNA

Para garantizar un control eficiente de los equipos utilizados dentro de la organización, se ha implementado un sistema de códigos internos que permite su rápida identificación. Cada equipo cuenta con un código único que facilita su seguimiento, mantenimiento. Información recopilada en la siguiente tabla.

Área	Tipo de máquina	Marca	Modelo	Código interno
Producción	Dúmpер	Caterpillar	793F	20165
Producción	Dúmpер	Caterpillar	793F	20167
Producción	Dúmpер	Caterpillar	793F	20164
Producción	Dúmpер	Caterpillar	793F	20166
Producción	Dúmpер	Caterpillar	793F	20168
Producción	Dúmpер	Caterpillar	793F	20134

Tabla 1-1: Codificación interna de los equipos.

(Fuente: Elaboración propia).

1.8 SUBSISTEMAS PRINCIPALES E INFORMACIÓN TÉCNICA DE CAMIÓN CAT793F

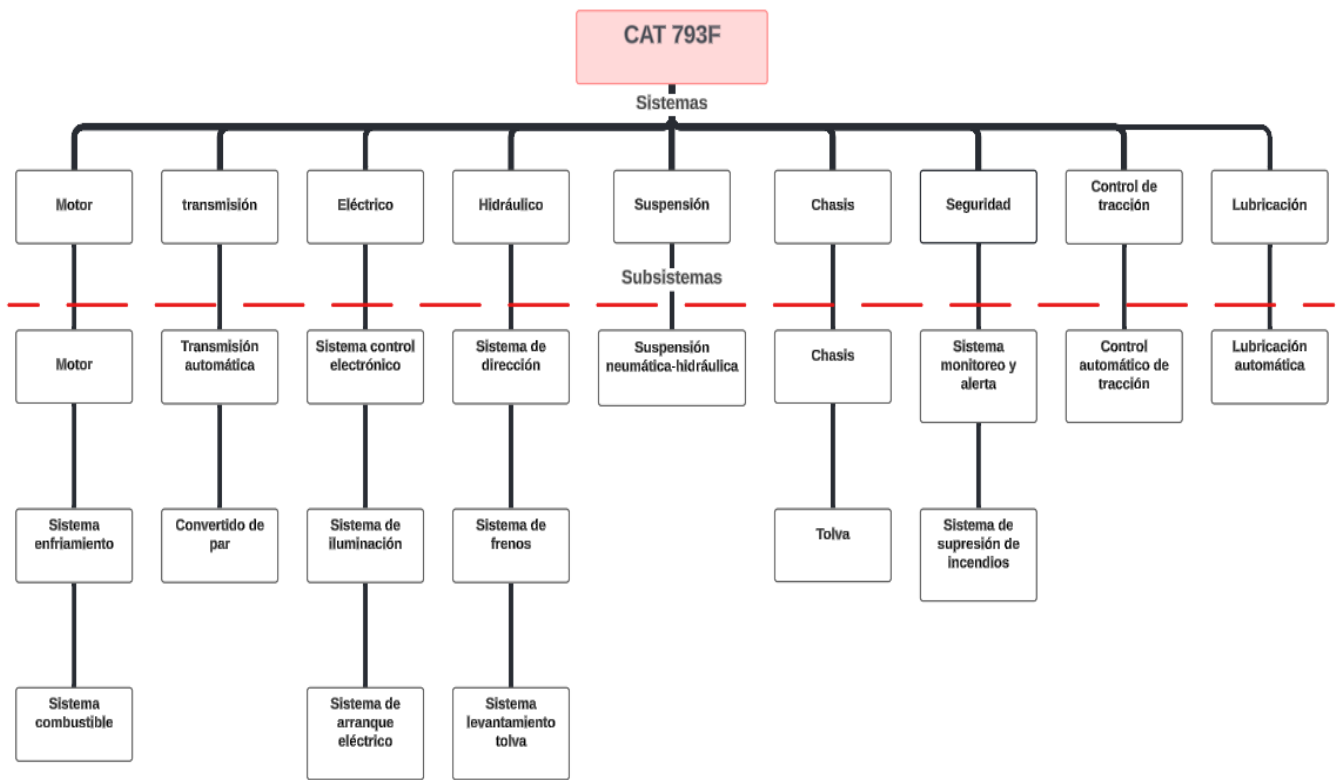


Figura1-4: Sistemas y subsistemas camión CAT 793F

(Fuente: Elaboración propia)

1.8.1 Motor

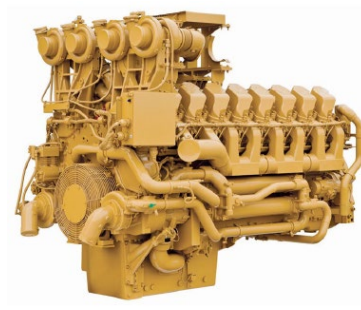


Figura 1-5: Motor Cat175-16

(Fuente: Elaboración propia)

Modelo del motor	Cat C175-16
Potencia bruta: SAE J1995	1.976 KW 2.650 hp
Potencia nota: SAE J1349	1.848 KW 2.478 hp
Reserva de par	20 %
Calibre	175 mm 6,9"
Carrera	220 mm 8,7"
Cilindrada	85 L 5.187 pulg ³

Tabla 1-2: Información técnica del motor.

(Fuente: Elaboración propia)

- El modelo 793F tiene un motor diésel Cat C175-16 con post enfriador de aire y turbocompresor cuádruple que ha mejorado la capacidad de
- administración de potencia para máximo rendimiento de acarreo en las aplicaciones de minería más exigentes
- clasificaciones de potencia se aplican a 1.750 rpm cuando se prueban según las condiciones indicadas para la norma especificada.
- Las clasificaciones están basadas en la norma SAE J1995 sobre las condiciones del aire a 25 °C (77 °F) y 99 kPa (29,61 Hg) de presión barométrica en seco. La potencia está basada en el combustible con una densidad API de 35 a 16 °C (60 °F) y un poder calorífico de 42.780 kJ/kg (18.390 BTU/lb) con el motor a 30 °C (86 °F).
- No hay reducción de potencia del motor hasta los 3.353 metros (11.000') de altitud.
- Cumple con los requisitos de la EPA. Según corresponda, el Motor Cat C175-16 cumple con los requisitos sobre emisiones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- Tiene dos opciones de motor de arranque: el tanque en el sistema estándar de arranque por aire es de fácil servicio a nivel del suelo, mientras que la opción de arranque eléctrico permite que se pueda quitar completamente del camión el sistema de aire.

1.8.2 Transmisión

El 793F entrega el camión más rápido en pendientes en su clase. El tren de fuerza de tracción mecánica y la servotransmisión Cat proporcionan eficiencia de operación y control inigualables en pendientes pronunciadas, en condiciones deficientes de suelo y en caminos de acarreo con alta resistencia a la rodadura. En la siguiente tabla se exponen los rangos de velocidad de trabajo con las que cuenta el equipo 793F.

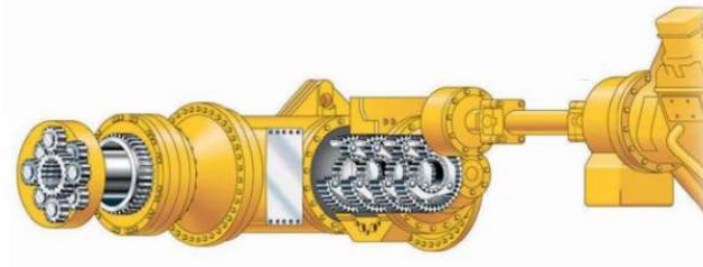


Figura 1-6: tren de fuerza mecánico 793F.

(Fuente: Manual CAT)

Avance 1	12,9 km/h 8 mph
Avance 2	17,4 km/h 10,8 mph
Avance 3	23,8 km/h 14,8 mph
Avance 4	32,1 km/h 19,9 mph
Avance 5	43,6 km/h 27,1 mph
Avance 6	60 km/h 37,3 mph
Retroceso	11,8 km/h 7,3 mph

Tabla 1-3: Velocidades de marchas.

(Fuente: Elaboración propia)

1.8.3 Pesos aproximados

Los camiones mineros, diseñados para transportar grandes volúmenes de material en operaciones de minería a cielo abierto, tienen un peso considerable. El peso en vacío de estos vehículos puede variar entre 140 y 170 toneladas, dependiendo del modelo. Con carga completa, su peso puede superar las 350 toneladas, lo que los convierte en algunas de las máquinas más grandes y pesadas utilizadas en el proceso minero. En este caso particular, el Camión minero Caterpillar 793F, cuenta con:

Peso del chasis	122.300 kg	270.000 lb
Gama de los pesos de las cajas	26.862- 47.627 kg	59.220- 105.000 lb

Tabla 1- 4: Pesos del Camión.

(Fuente: Elaboración propia)

1.8.4 Distribución aproximada del peso

Eje delantero: vacío	48%
Eje trasero: vacío	52%
Eje Delantero: cargado	33%
Eje trasero: cargado	67%

Tabla 1-5: Distribución peso.

(Fuente: Elaboración propia)

1.8.5 Frenos

El camión 793F cuenta con un sistema de frenado integrado, frenos de discos múltiples enfriados por aceite, freno de estacionamiento, sistema de control automático del retardador hidráulico (Automatic Retarder Control, ARC). A continuación, tabla informativa relativa a los frenos.

Diámetro exterior	874.5mm	34.5pulg
Superficie de freno: delantera	89.817 cm ²	13.921 pulg ²
Superficie de freno: trasera	34.500 cm ²	20.847 pulg ²
Normas	J-ISO 3450 JAN88	ISO 3450:1996

Tabla 1-6: Datos técnicos de los frenos.

(Fuente: Elaboración propia)

1.8.6 Suspensión

Carrera efectiva del cilindro: delantera	130.5 mm	5.1 pulg
Carrera efectiva del cilindro: trasera	105.5 mm	4.2 pulg
Oscilación del eje trasero	±4,9 grados	

Tabla 1- 7: Datos técnicos de la suspensión.

(Fuente: Elaboración propia)

1.8.7 Dispositivo de levantamiento de cajas

Para el modelo 793F de Caterpillar, hay tres posibles opciones de caja dependiendo de cada necesidad operativa, donde se tiene la caja X, MSD II, Caja para carbón sin compuerta.

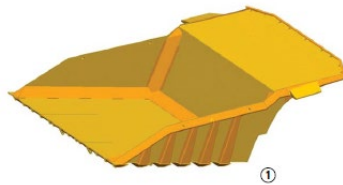


Figura 1-7: Imagen referencial a caja X.

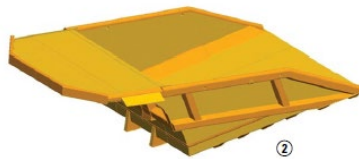


Figura 1-8: Imagen referencial a caja MSD II.



Figura 1-9: Imagen referencial a caja para carbón sin compuerta.

(Fuente: Manual CAT)

A continuación, una tabla con más información (Tabla 8: Especificaciones técnicas sistema de caja), técnica correspondiente al sistema de levantamiento de cajas.

Flujo de la bomba: velocidad alta en vacío	846 L/min	222 gal EE. UU/min
Configuración de a válvula de alivio: Levantamiento	20.370 kPa	2.955 lb/pulg ²
Tiempo de levantamiento de a caja: velocidad alta en vacío	19 segundos	
Tiempo de bajada de la caja: posición libre	20 segundos	
Disminución de la potencia de la caja: velocidad alta en vacío	17.5 segundos	

Tabla 1-8: Especificaciones técnicas sistema de caja.

(Fuente: Elaboración propia)

1.8.8 Especificaciones de operación

Capacidad de carga útil nominal	226.8 Tons métricas	250 Tons EE. UU
Velocidad máxima: cargado	35 km/h	21,7 mph
Ángulo de dirección	36 grados	
Diámetro de giro: delantero	28 m	93 pies

Diámetro de giro de espacio libre	33m	107 pies
Peso bruto de la máquina en OT	386.007-390.089 Kg	851.000-860.000 Lb

Tabla 1-9: Especificaciones necesarias para operar.

(Fuente: Elaboración propia)

1.8.9 Cabina del operador

Para minimizar la fatiga del operador y maximizar la productividad, la nueva estación del operador de la Serie F está diseñada ergonómicamente para lograr excelente control de la máquina en un ambiente cómodo, productivo y seguro. Los controles, las palancas, los interruptores y los medidores están ubicados para uso fácil.

1) Asiento con suspensión neumática con sujeción de tres puntos para el operador	2) Palanca del dispositivo de levantamiento
3) Pedal del freno secundario	4) Sistema Monitor
5) Columna de dirección	6) Consola de transmisión
7) Medidores	8) Compartimiento de almacenamiento
9) Asiento del instructor	10) Ventana del operador
11) Controles del operador	12) Calefacción y aire acondicionado
13) ROPS de cuatro postes	14) Monitor del sistema de cámaras (optativo)
15) Monitor MineStar (optativo)	16) Posavasos
17) Luces interiores del techo	

Tabla 1-10: componentes de cabina operador.

(Fuente: Elaboración propia)

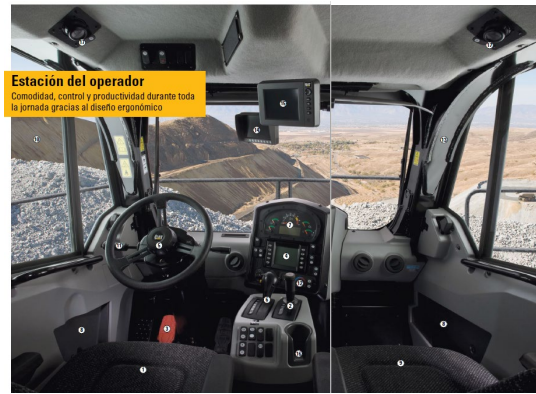


Figura 1-10: imagen cabina.

(Fuente: Manual CAT)

1.8.10 Chasis

El bastidor 793F usa un diseño de sección en la caja, que incorpora dos secciones forjadas y 14 secciones fundidas en las áreas de alta tensión, con soldaduras continuas, profundas y envolventes para resistir los daños por cargas de torsión sin necesidad de añadir peso adicional.

- Estructuras de acero: el acero dulce utilizado en todo el bastidor proporciona flexibilidad, durabilidad y resistencia a las cargas de impacto, incluso en climas fríos, y facilita las reparaciones en terreno.
- Piezas de fundición: las piezas de fundición tienen un gran radio con varillas reforzadas internas para disipar el esfuerzo en áreas con gran concentración de esfuerzo. Las piezas de fundición mueven las soldaduras para disminuir las áreas de esfuerzo para prolongar la vida útil del bastidor.

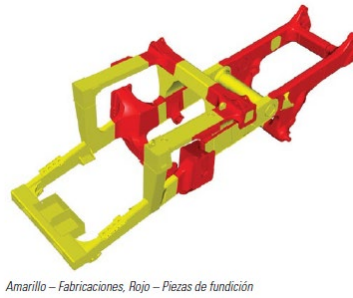


Figura 1-11: Chasis 793F.

(Fuente: Manual CAT)

1.8.11 Sistema monitor

El Sistema Monitor VIMS de tercera generación proporciona datos fundamentales del estado y la carga útil en tiempo real para mantener al 793F operando dentro de sus niveles máximos de producción. Los datos provenientes del VIMS se pueden usar para disminuir los costos de operación, mejorando la eficacia de los programas de mantenimiento programado que mejoran la disponibilidad de la máquina y la eficacia de los programas de mantenimiento programado. Los sensores que se encuentran en la máquina permiten al VIMS intercambiar y supervisar rápidamente la información de todos los sistemas. Los usuarios pueden ver hasta 10 parámetros diferentes de la máquina al mismo tiempo. Los técnicos de servicio pueden descargar datos rápidamente conectándose directamente al sistema o a través de su dirección Web propia y generar informes en la oficina, el taller o la cabina.



Figura 1-12: Monitor.

(Fuente: Manual CAT)

1.8.12 Sistema de dirección

El sistema de dirección está compuesto por dos cilindros de dirección, como se observa en la Figura 13, uno de ellos dispone de un sensor de posición, el cual indica la ECM de Frenos la posición de las ruedas delanteras; el aceite hidráulico es independiente del sistema de enfriamiento de frenos.

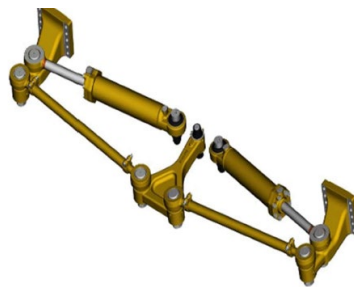


Figura 1-13: Sistema de dirección 793F.

(Fuente: Manual CAT)

1.8.13 Dimensiones del equipo

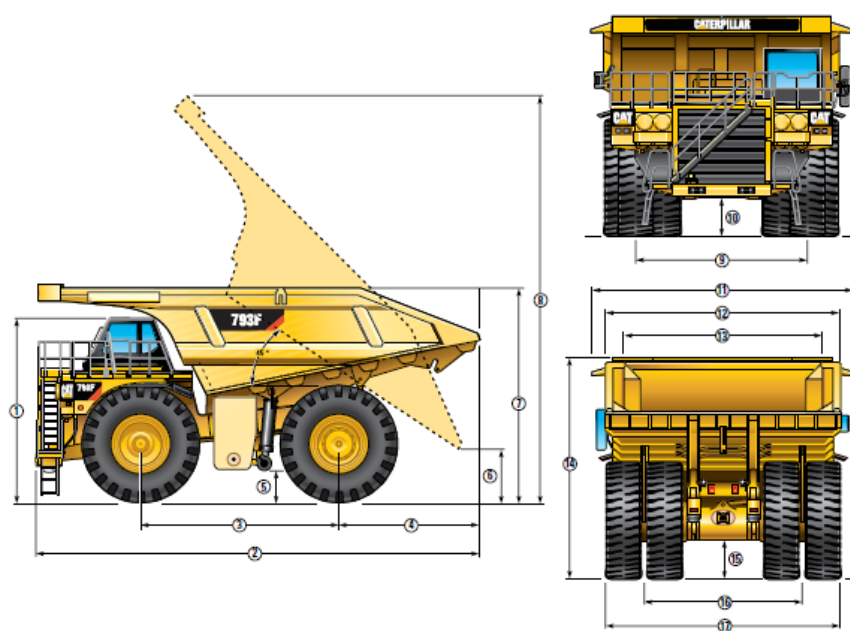


Figura 1-14: Imagen referencial del camión.

(Fuente: Manual CAT)

N.º de ítem	Descripción	Sistema internacional	Sistema inglés
1	altura hasta la parte superior de la ROPS	5.597 mm	18' 4"
2	longitud total	13.702 mm	44' 11"
3	distancia entre ejes	5.905 mm	19' 5"
4	eje trasero a la cola	4.257 mm	13' 11"
5	espacio libre sobre el suelo	990 mm	3' 3"
6	espacio libre de descarga	1.301 mm	4' 3"
7	altura de carga: vacío	6.533 mm	21' 5"

8	altura total: caja levantada	13.878 mm	45' 6"
9	ancho del neumático delantero de la línea de centro	5.630 mm	18' 6"
10	espacio libre del protector del motor	1.217 mm	4' 0"
11	ancho total del techo	8.295 mm	27' 3"
12	ancho exterior de la caja	7.626 mm	25' 0"
13	ancho interior de la caja	6.946 mm	22' 9"
14	altura del techo delantero	6.603 mm	21' 8"
15	espacio libre en el eje trasero	1.006 mm	3' 4"
16	ancho del neumático doble trasero de la línea de centro	4.963 mm	16' 3"
17	ancho total entre neumáticos	7.605 mm	24' 11"

Tabla 1-11: Dimensiones de camión minero Caterpillar 793F.

(Fuente: Elaboración propia)

CAPITULO 2.

**IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE COMPONENTES CRITICOS EN
FLOTA DE CAMIONES CATERPILLAR 793F.**

2.1 MÉTODO DE SELECCIÓN DE SISTEMA DE EQUIPO CRÍTICO

Diagrama Jack-Knife es una herramienta de priorización empleada en la gestión de mantenimiento que permite analizar y visualizar los modos de falla de equipos, facilitando la toma de decisiones efectivas para optimizar la operatividad y disponibilidad de los activos. Esta metodología es especialmente útil en sectores industriales donde la confiabilidad del equipo es crítica, como en la minería y la construcción. El diagrama se basa en la recopilación y análisis de datos relacionados con las fallas y los tiempos de inactividad de los equipos. Su objetivo principal es identificar patrones y tendencias que permitan priorizar aquellos activos que requieren atención inmediata.

Para conformar el diagrama, se deben seguir ciertos pasos:

Recopilación de datos: se deben reunir datos cuantitativos sobre las detenciones de los equipos, incluyendo la frecuencia de fallas, la duración de las paradas y las causas de estas interrupciones. Esta información puede ser extraída de registro de mantenimiento y sistema de gestión de activos.

Organización de la información: una vez recopilados los datos, se organizan en tablas para facilitar su análisis. Es esencial clasificar las fallas por tipo, frecuencia y gravedad, de modo que se puedan observar la relación entre distintas variables.

Construcción de diagrama: En el diagrama Jack-Knife, los datos se representan gráficamente, permitiendo visualizar las correlaciones entre las fallas y su impacto en la operación del equipo. Este enfoque gráfico ayuda a identificar los modos de fallas más críticos y las áreas que requieran mejoras urgentes.

Análisis de resultados: A través de la interpretación del diagrama, se pueden detectar patrones de comportamiento en los equipos. Por ejemplo, un equipo que muestra una alta frecuencia y duración de paradas se clasifica como menos confiable y más propenso a problemas de mantenibilidad. Esto permite priorizar las intervenciones de mantenimiento en función de la criticidad del equipo.

Beneficios del Diagrama Jack-knife

El uso del diagrama Jack-knife en la gestión de mantenimiento ofrece varios beneficios clave, convirtiéndose en una herramienta fundamental para mejorar el desempeño de los activos y optimizar los procesos de mantenimiento. Este diagrama, basado en un análisis gráfico, permite visualizar de manera clara las diferencias en el rendimiento de los equipos, facilitando la toma de decisiones estratégicas. A continuación, se describen los principales beneficios de su implementación:

2. Identificación de Equipos Críticos:

El diagrama Jack-knife destaca por su capacidad para identificar de manera rápida y eficiente los activos cuyo desempeño es inferior al esperado en comparación con otros equipos de la misma flota o sistema. Al destacar los equipos con problemas recurrentes o bajo rendimiento, las empresas pueden enfocarse en estos activos críticos, lo que permite implementar acciones correctivas dirigidas que mejoran significativamente los indicadores de disponibilidad y confiabilidad. Además, al identificar estos puntos críticos, las organizaciones pueden reducir tiempos de inactividad inesperados, contribuyendo a la continuidad operativa.

2. Facilita la Toma de Decisiones:

Gracias a su representación gráfica clara y concisa de los modos de falla y los patrones de comportamiento de los equipos, el diagrama Jack-knife facilita el proceso de toma de decisiones. El personal de mantenimiento, al tener acceso a datos visualizados de manera efectiva, puede evaluar con mayor precisión qué equipos requieren atención inmediata, qué estrategias de mantenimiento son más adecuadas (preventivo, correctivo o predictivo), y qué recursos se necesitan para abordar las fallas identificadas. De este modo, se asegura una mayor eficiencia en el uso de los recursos disponibles y se minimizan los errores en la priorización de tareas.

3. Optimización de Recursos:

El análisis proporcionado por el diagrama Jack-knife ayuda a identificar las áreas que requieren una mayor atención o intervención, lo que permite una redistribución más eficiente de los recursos de mantenimiento. En lugar de distribuir recursos de manera uniforme o seguir un calendario fijo, las empresas pueden priorizar la intervención en aquellos equipos que presentan mayor riesgo de fallos o que tienen un impacto directo en la productividad de la operación. Este enfoque optimizado no solo ahorra tiempo y recursos, sino que también asegura que los esfuerzos del equipo de mantenimiento se dirijan hacia las áreas que generarán el mayor retorno en términos de disponibilidad y confiabilidad.

4. Reducción de Costos Operativos:

Al mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos, el diagrama Jack-knife ayuda a las organizaciones a reducir los costos asociados con fallos inesperados, reparaciones urgentes y paradas no planificadas. Asimismo, al optimizar el uso de los recursos y minimizar las intervenciones innecesarias, se consigue una gestión más eficiente del presupuesto de mantenimiento. Este beneficio es especialmente importante en industrias donde el costo de la inactividad es elevado, como en la manufactura, minería, energía y transporte.

5. Mayor Seguridad en las Operaciones:

Otra ventaja indirecta pero significativa es que, al mantener un control más estricto sobre el rendimiento de los equipos, el diagrama Jack-knife también contribuye a la mejora de la seguridad en el entorno de trabajo. Equipos bien mantenidos son menos propensos a fallar de manera catastrófica, lo que reduce el riesgo de accidentes laborales y mejora el bienestar general de los empleados. Además, una gestión más precisa y proactiva de los activos asegura que se cumplan las normativas de seguridad, evitando sanciones y multas relacionadas con el incumplimiento de los estándares de mantenimiento.

2.2 DETERMINAR SISTEMA CRITICO

Se realizó el diagrama Jack-knife para analizar los modos de falla del camión Caterpillar 793F, el cual ha mostrado una mayor cantidad de imprevistos en comparación con otros equipos de la flota. A partir de los datos recolectados durante el período de un año, específicamente desde el mes de julio de 2023 hasta julio de 2024. Este gráfico es obtenido de los registros ingresados por el despachador mecánico hacia el software utilizado por la empresa (Omecanica), resultados que se encuentran condensados y resumidos en la tabla 2-1. Una vez recopilada la información sobre el número de detenciones y los tiempos de inactividad. Se elabora este diagrama de priorización utilizado en la gestión de mantenimiento. Gracias a esta técnica, es posible disponer de una visión más estructurada y accesible que facilita un análisis profundo de las fallas que podrían afectar el funcionamiento de dichos sistemas, proporcionando así una herramienta útil para la toma de decisiones y la implementación de soluciones preventivas.

Sistema	Fallas	Tiempo de parada año (horas)	MTTR
Eléctrico	14	122	8,71
Neumático	25	260	10,40
Hidráulico	30	370	12,33
Transmisión	17	120	7,06
Motor	8	90	11,25
Total	94	962	49,76
Promedio	18,80		9,95

Tabla 2-1: Tabla resumen de detenciones.

(Elaboración propia)

El historial de fallas del camión Caterpillar 793F durante un año muestra un total de 94 fallas distribuidas en cinco sistemas principales: eléctrico, neumático, hidráulico, transmisión y motor. El sistema hidráulico fue el que más fallas presentó (30), seguido por el neumático (25), mientras que el sistema con menos fallas fue el del motor (8). El tiempo total de parada debido a estas fallas sumó 962 horas, siendo el sistema hidráulico

el que generó la mayor cantidad de tiempo de parada (370 horas), y el sistema del motor (90 horas). El tiempo promedio para reparar el sistema hidráulico, o MTTR (Mean Time to Repair), fue de 12,33 horas, y el sistema transmisión con menor MTTR es 8,44 horas. Estos datos indican que en primera instancia el sistema hidráulico es el que más afectó la operatividad del camión, tanto en términos de número de fallas como por tiempo de parada, lo que podría requerir mayor atención en términos de mantenimiento preventivo.

Con los datos concentrados en la tabla anterior, se desarrolla la metodología Jack-Knife, la cual da como resultado, el siguiente grafico (Figura 2-1).

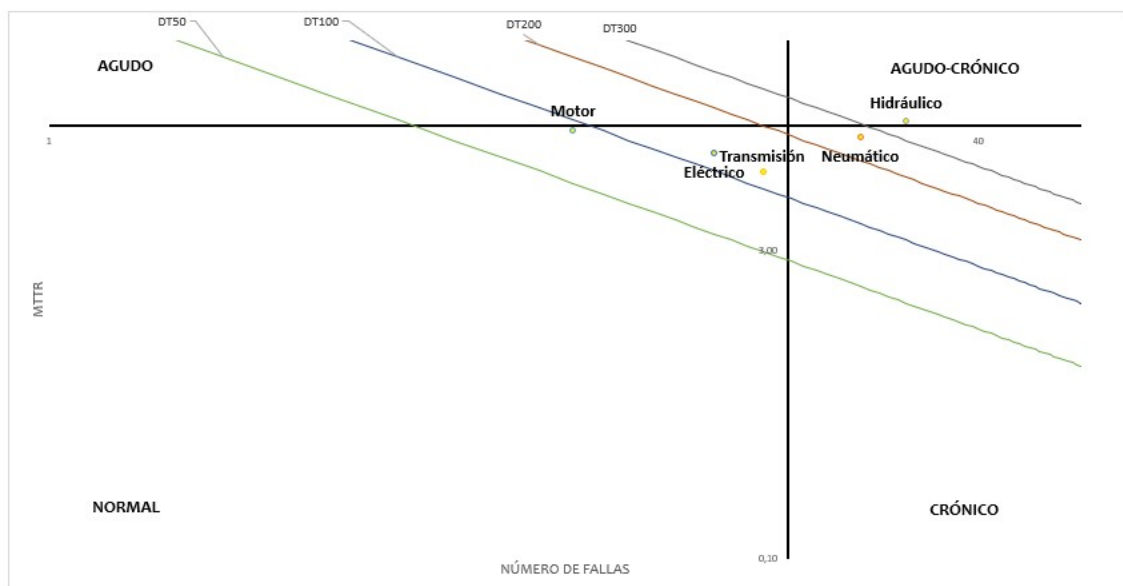


Figura 2-1: Grafico Jack-Knife Caterpillar 793F.

(Elaboración propia)

COMPONENTES CUADRANTE NORMAL

Las indisponibilidades del cuadrante normal suelen ser referidas a externalidades de la propia operación del equipo. Destacando: **el sistema de transmisión, sistema de motor y el sistema eléctrico**. Estas fallas, aunque recurrentes, tienen un impacto moderado en la operatividad general del equipo debido a que los tiempos de parada asociados suelen ser cortos. Sin embargo, es importante no subestimar el impacto acumulativo de estas fallas, ya que pueden generar un desgaste prematuro en otros componentes del equipo, afectando su ciclo de vida útil.

COMPONENTES CUADRANTE AGUDO

En el gráfico analizado, no hay componentes ubicados en esta zona. Sin embargo, es importante monitorear aquellos componentes que se encuentran cercanos a esta zona, ya que una migración hacia el cuadrante podría requerir ajustes en las rutinas de mantenimiento preventivo.

COMPONENTES CUADRANTE CRÓNICO

Las indisponibilidades del cuadrante crónico son constantes en el tiempo y existe la posibilidad de que empeore si no se realizan planes de acción para mejorar la condición. Se destaca: **Sistema neumático**. Su frecuencia lo convierte en un sistema que requiere seguimiento y mantenimiento regular para evitar que se convierta en un problema más grande.

COMPONENTES CUADRANTE AGUDO-CRÓNICO

Las indisponibilidades del cuadrante Agudo / Crónico es en donde se debe priorizar, son fallas repetitivas y con gran cantidad de detenciones, destacan en este cuadrante el **sistema hidráulico**. Este sistema es de alta criticidad, debido a tener gran impacto en el tiempo de inactividad.

Este resultado implica realizar nuevamente la metodología Jack-Knife a todos los modos de fallas del sistema hidráulico. Para poder establecer planes de acción y asignar de manera eficiente los recursos existentes, definiendo prioridades en cuanto a tiempos de acción y presupuesto, con un enfoque específico en el sistema agudo-crónico. Dado que este cuadrante incluye fallas altamente críticas.

La siguiente tabla presenta un análisis del sistema hidráulico, detallando las fallas ocurridas en diferentes componentes durante un año. Se registraron un total de 30 fallas en el sistema, con los **latiguillos o mangueras hidráulicas** con un total de 15 fallas y un tiempo de parada de 168 horas. Los frenos cuentan con solo 3 fallas y un tiempo de parada de 37 horas, las bombas tuvieron 7 fallas, con tiempos de parada de 100 horas. La dirección reportó 5 fallas y un tiempo de parada de 65 horas. En total, el sistema estuvo inoperativo por 370 horas, lo que resulta en un tiempo promedio de reparación de 20,33 horas y 7,5 fallas promedio por componente.

Sistema Hidráulico			
Componente	Fallas	Tiempo de parada año	MTTR
Latiguillos	15	168	11,20
Frenos	3	37	12,33
Bombas	7	100	14,29
Dirección	5	65	13,00
Total	30	370	50,82
Promedio	7,5		20,33

Tabla 2-2: tabla resumen sistema hidráulico.

(Elaboración propia)

A continuación, se presenta el gráfico que da como resultado del diagrama Jack Knife aplicado al sistema hidráulico. También se procede a describir detalladamente las zonas del diagrama y los componentes ubicados en cada una de ellas, con el fin de interpretar el comportamiento de las fallas y su impacto en la operación del sistema hidráulico del camión CAT 793F.

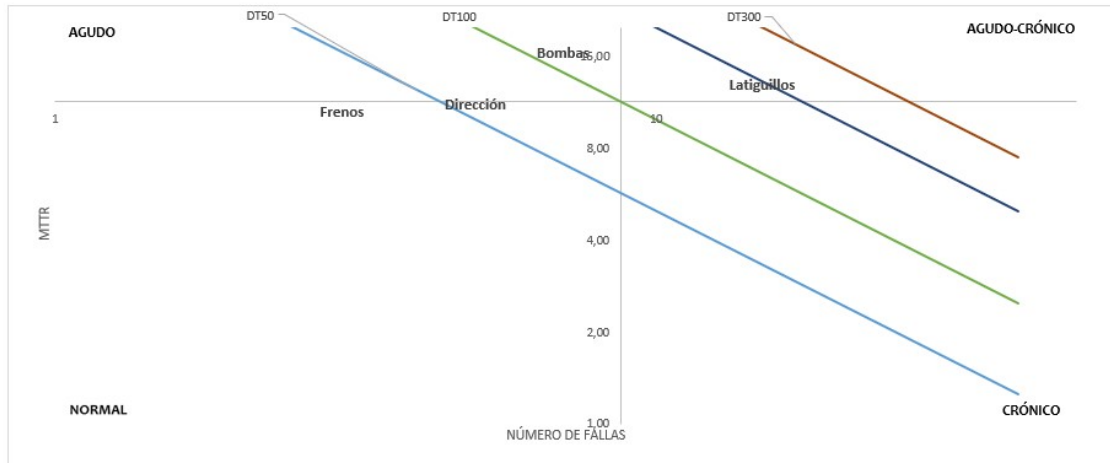


Figura 2-2: Grafico Jack-Knife componentes sistema hidráulico.

(Elaboración propia)

COMPONENTES CUADRANTE NORMAL

El cuadrante normal se encuentra en la parte inferior izquierda del gráfico, donde el número de fallas y el tiempo medio de reparación (MTTR) corresponden a valores bajos (cercanos a 1 en ambos ejes). Los componentes que se ubican en esta región presentan un comportamiento óptimo, ya que no solo fallan con poca frecuencia, sino que lo hacen, el tiempo requerido para repararlos no es tan alto.

En el gráfico, los componentes **Dirección** y **Frenos** se encuentran en esta zona. Lo cual indica que ambos componentes muestran un buen desempeño en términos de confiabilidad y facilidad de reparación. A pesar de estar sometidos a las exigentes condiciones de operación de un camión minero, estos componentes no generan tiempos de inactividad prolongados ni una alta frecuencia de fallas.

Este es un comportamiento deseable en estos sistemas críticos para la seguridad del vehículo. Sin embargo, es recomendable continuar con un mantenimiento preventivo regular para evitar que su comportamiento se deteriore y se desplacen hacia otras zonas más críticas del gráfico.

COMPONENTES CUADRANTE CRÓNICO

Zona ubicada en la parte inferior derecha del gráfico, donde los componentes que se sitúan en dicha zona presentan un número elevado de fallas, pero con tiempos de reparación relativamente cortos. Ese patrón sugiere que los componentes en esta área tienden a fallar con frecuencia, pero sus fallas son de fácil resolución y no requieren tiempos prolongados de reparación.

En el gráfico analizado, no hay componentes ubicados en esta zona. Esto podría indicar que no hay elementos del sistema hidráulico del camión que fallen frecuentemente con reparaciones rápidas. Sin embargo, es importante monitorear aquellos componentes que se encuentran cercanos a esta zona, ya que una migración hacia el cuadrante podría requerir ajustes en las rutinas de mantenimiento preventivo.

COMPONENTES CUADRANTE AGUDO

En esta zona se sitúa en la parte superior izquierda del gráfico, donde el número de fallas es bajo, pero el tiempo de reparación (MTTR) es elevado. En esta región se ubican componentes que no fallan con una alta frecuencia, pero cuando lo hacen requieren tiempos prolongados para ser reparados, lo que puede afectar significativamente la disponibilidad del equipo.

En este análisis, el componente **Bombas** se encuentra ubicado en esta zona. Esto sugiere que las bombas del sistema hidráulico del camión minero no fallan con mucha frecuencia, pero su reparación es compleja y requiere un tiempo considerable. Las bombas son componentes esenciales del sistema hidráulico, ya que son responsables de generar la presión necesaria para el funcionamiento de todo el sistema. Esto indica que, aunque las bombas no son propensas a fallar repetidamente, su reparación prolongada puede tener un impacto significativo en el tiempo de inactividad del equipo. Se recomienda implementar medidas de mantenimiento preventivo para evitar que las bombas lleguen a fallar, minimizando así el riesgo de paradas largas.

COMPONENTES CUADRANTE AGUDO-CRÓNICO

La zona agudo-crónico se encuentra en la parte superior derecha del gráfico, donde el número de fallas es elevado. Los componentes en esta zona son críticos, ya que fallan con frecuencia y, además su reparación es compleja. Este comportamiento sugiere que estos elementos deben ser priorizados en los planes de mantenimiento, ya que tienen un impacto significativo en la disponibilidad del equipo.

En el gráfico, el componente **Latiguillos** se encuentra en esta zona. Estos componentes son las mangueras que transportan el fluido hidráulico a alta presión. Su ubicación en esta zona sugiere que este componente es particularmente susceptible a fallas frecuentes, probablemente debido a fugas, roturas por desgaste, y que su reparación implica tiempos prolongados. Las fallas en los latiguillos pueden causar paradas inmediatas en el sistema, ya que cualquier pérdida de fluido hidráulico afecta directamente la operación del camión. Además, el reemplazo de los latiguillos puede ser complejo debido a su ubicación y la necesidad de purgar el sistema hidráulico una vez reemplazados, lo que incrementa el tiempo de reparación.

2.3 PAUTAS DE MANTENIMIENTO EXISTENTES

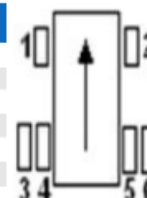
A continuación, se presentan las pautas para el mantenimiento planificado del camión minero Caterpillar 793F, correspondientes a los intervalos de servicio de 250, 750 y 1000 horas. Estas pautas incluyen la inspección de componentes, el cambio de fluidos, filtros y la verificación de sistemas esenciales para garantizar la seguridad y eficiencia operativa en el entorno minero y las tareas que realizan los camiones.



Muestras	Descripción	Check	Mecánico
Motor	Obtener muestra de aceite del motor	☐	

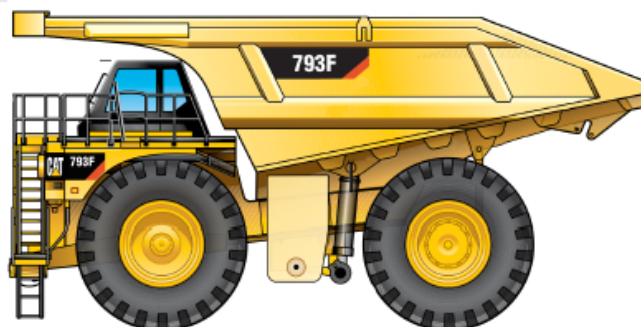
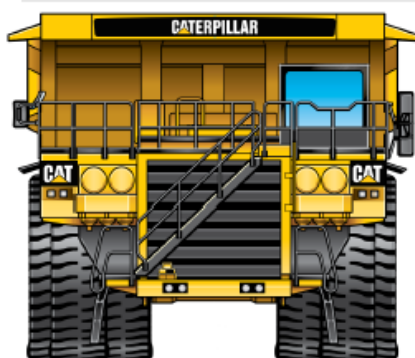
Rodaje	Descripción	Check	Mecánico
Rueda	Revisar aro de bloqueo del neumático	☐	

Descripción	Medición del neumático	Presión del neumático	Check	Mecánico
Comprobar presión del neumático 1		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 2		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 3		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 4		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 5		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 6		Bar	☐	



Chasis	Descripción	Check	Mecánico
Escalera	Revisar estado de la escalera mecánica	☐	
ROPS/FOPS	Revisar condición de la estructura de protección (ROPS/FOPS)	☐	
Seguridad	Revisar estado de las pegatinas de seguridad e identificación de la maquina (cambiar cuando sea necesario)	☐	

Señalar zonas dañadas



Frontal

Lateral Derecha

Cabina	Descripción	Check	Mecánico
Limpiaparabrisas	Revisar estado del limpiaparabrisas	☐	
Ventana	Limpiar ventanas de la cabina	☐	

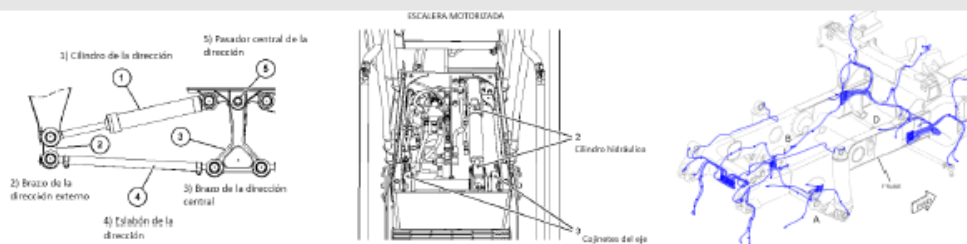
Figura 2-3: Pauta mantenimiento programado para las 250 horas.

(Fuente: programa Omecánica)



Motor	Descripción	Check	Mecánico
Combustible	Cebat sistema de combustible	☐	
Combustible	Drenar filtro de combustible separador de agua	☐	
Frenado	Descripción	Check	Mecánico
Tanque de aire	Drenar humedad y sedimentos del tanque de aire	☐	

Puntos de engrase



Sistema eléctrico	Descripción	Check	Mecánico
Alarma de retroceso	Revisar alarma de retroceso	☐	
Fusibles	Revisar fusibles, disyuntores y relés (cambiar si es necesario)	☐	
Indicadores y medidores	Revisar indicadores y medidores	☐	
Lámpara (HID)	Revisar lámpara de descarga de alta intensidad (HID)	☐	
Pantalla	Limpiar pantalla y cámara	☐	
TCS	Revisar sistema de control de tracción (TCS)	☐	

Sistema eléctrico	Descripción	Valor de la medición	Check	Mecánico
Alternador	Comprobar voltaje de salida del alternador	V	☐	
Batería	Comprobar voltaje de las baterías	V	☐	

Suspensiones	Descripción	Check	Mecánico
Acumuladores	Revisar y purgar acumuladores de las suspensiones	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión delantera derecha	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión delantera izquierda	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión trasera derecha	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión trasera izquierda	☐	
Pernos	Revisar los pernos de las suspensiones (apretar los que este sueltos)	☐	

Figura 2-4: Pauta mantenimiento programado para las 250 horas.

(Fuente: programa Omecánica)

2.4 ANÁLISIS DE MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE FALLA (FMECA)

La metodología FMECA (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis) es una herramienta sistemática utilizada para identificar, evaluar y priorizar posibles fallas en sistemas, procesos o productos. Su objetivo principal es prevenir riesgos, mejorar la confiabilidad y optimizar la seguridad mediante la mitigación de las fallas más críticas. Este análisis, derivado de la técnica FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), incluye un enfoque adicional en la criticidad, lo que permite priorizar las fallas según su impacto y probabilidad. FMECA tiene múltiples aplicaciones en la gestión de riesgos y la mejora de sistemas. Sus principales objetivos incluyen:

- Identificación de riesgos: Detecta fallas potenciales antes de que ocurran.
- Aseguramiento de calidad: Mejora la confiabilidad y desempeño del sistema.
- Priorización de esfuerzos: Permite enfocar recursos en las áreas de mayor riesgo.
- Reducción de costos: Previene fallas críticas, minimizando costos asociados.
- Cumplimiento normativo: Facilita la adherencia a estándares internacionales como ISO 9001 y AS9100

Falla funcional

Una falla funcional es aquella que ocurre cuando un sistema, equipo o componente no cumple con su función requerida, ya sea total o parcialmente, según las condiciones específicas para las que fue diseñado. En términos de mantenimiento y confiabilidad, la falla funcional no necesariamente implica que el equipo este completamente inoperativo.

Modos de falla

Son las distintas maneras que un sistema, equipo o componente puede fallar, es decir, las causas específicas o mecanismos que conducen a que no cumpla con su función requerida. En otras palabras, un modo de falla describe cómo se produce la falla funcional.

Análisis de riesgo cuantitativo

El análisis de riesgos para los modos de falla se fundamenta en dos factores clave. La frecuencia de ocurrencia se calcula a partir de datos históricos, estimando la probabilidad de que cada falla suceda bajo las condiciones operativas específicas. Por otro lado, la consecuencia del modo de falla se evalúa en función del impacto en la operatividad, la seguridad y los costos de mantenimiento, considerando tanto las funciones del equipo como su contexto operacional.

Efecto del modo de falla

Para determinar el efecto de las fallas, se deben abordar los siguientes puntos:

- **Evidencia:** determinar si la ocurrencia es detectable inmediatamente o no.
- **Seguridad, salud y medio ambiente:** Definir si la ocurrencia del modo de fallo afecta directamente a la seguridad y salud de las personas o al medio ambiente.
- **Operacional:** Se determinará de qué forma la ocurrencia del modo de fallo tiene participación en la función del equipo y la operación de este.
- **Mantenimiento:** Acción correctiva necesaria para la restauración del activo.

Cuantificación del riesgo

La **cuantificación del riesgo** para los modos de falla se realizará de manera anual, permitiendo un análisis detallado de los efectos financieros en cada falla del sistema. **El impacto en la producción** se calcula como el costo de la pérdida de la producción que resulta de la inmovilización del equipo. **Los costos directos por falla** representan los costos asociados a la mano de obra y repuestos necesarios para reparar cada modo de falla específico. Esto incluye los componentes críticos y el tiempo de intervención estimado para cada reparación. Los valores serán expresados en pesos chilenos por año (CLP/año) para la evaluación financiera del riesgo. El **riesgo cuantitativo anual** se calculará aplicando la siguiente fórmula:

Riesgo cuantitativo

$$= \text{frec. fallas} \\ \times (\text{MTTR} \times \text{Imp. producción} + \text{Costos directo por falla})$$

Fórmula 2-1: Fórmula de riesgo cuantitativo.

Para la **evaluación cualitativa**, se incluirá el impacto de cada modo de falla en términos de seguridad y medio ambiente. A cada uno se le asignará una letra la cual refleja el nivel de impacto. Así al combinar las letras correspondientes a cada tipo de impacto, se logrará una valoración integral que permitirá apreciar la severidad total del riesgo asociado a cada modo de falla. A continuación, se definen las clasificaciones de impacto:

- **Clasificación A:** Alto impacto en seguridad y medio ambiente.
- **Clasificación B:** Medio impacto en seguridad y medio ambiente.
- **Clasificación C:** Bajo impacto en seguridad y medio ambiente.

Para las posibles combinaciones de impacto se obtendrán los siguientes riesgos:

- **A-A:** Implica riesgo máximo y equivale a la puntuación de 3.
- **A-B, A-C, B-A:** Implica riesgo medio y equivale a la puntuación 2.

- **B-B, B-C, C-C:** Implica riesgo mínimo y equivale a la puntuación 1.

Para la estimación de los costos asociados al **impacto en producción** se hace uso de la fórmula de depreciación que entrega la norma ASARCO 1000. La cual representa la pérdida de valor o el uso del equipo con el paso del tiempo. Lo cual se traduce al costo de operar el equipo en una hora o también llamado “**costo operación por hora**”.

$$\text{Costo depreciación} \left[\frac{USD}{Hora} \right] : \frac{\text{Valor equipo [USD]}}{\text{Vida útil equipo [Hora]}}$$

Fórmula 2-2: Fórmula de costo depreciación.

Para la vida útil del equipo, se considera la vida útil del componente más caro con el que cuenta el camión siendo estos los neumáticos, los cuales cuentan con una vida útil promedio de 5000 horas. Desarrollando la ecuación queda como resultado:

$$\text{Costo depreciación} : \frac{2.000.000}{5000} = 400 \left[\frac{USD}{Hora} \right]$$

ANÁLISIS MODO EFECTO DE FALLA Y CRITICIDAD

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla
Latiguillos/ Manguera hidráulica	1	Transportar fluido desde y hacia distintos elementos del sistema hidráulico, asegurando el suministro constante.	1.1	Incapacidad de mantener presión hidráulica.	1.1.1	Fisura en la manguera debido a fatiga.	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Pérdida gradual de fluido hidráulico, disminución de rendimiento. Acción correctiva: cambio del elemento.
			1.2	fallo en la transmisión de potencia hidráulica.	1.2.1	Rotura en la manguera.	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Pérdida repentina de fluido hidráulico, falla del sistema hidráulico. Acción correctiva: Cambio de elemento
Frenos	2	Detener y controlar el vehículo	2.1	Pérdida de funcionalidad hidráulica en el frenado	2.1.1	Rotura del acople hidráulico en la conexión de los frenos.	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Pérdida de la capacidad del frenado, riesgo de accidente. Acción correctiva: cambio del elemento.
			2.2	Incapacidad de aplicar fuerza hidráulica en el frenado	2.2.1	Rotura del diafragma del acumulador hidráulico, reduciendo la presión disponible.	Evidente: No Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Disminución del rendimiento de frenado, menor capacidad de respuesta. Acción correctiva: cambio del elemento.
Bombas	3	Proporciona la presión necesaria para los componentes hidráulicos.	3.1	Pérdida total del suministro hidráulico	3.1.1	Fisura o perforación en el tanque de fluido hidráulico, provocando pérdida del fluido.	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Pérdida visible de fluido, disminución de presión hidráulica. Acción correctiva: Reparar o reemplazar tanque perforado.
			3.2	Incapacidad de mantener flujo hidráulico constante	3.2.1	Desgaste de componentes	Evidente: No Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Reducción gradual del rendimiento del sistema hidráulico. Acción correctiva: cambio del elemento.
Dirección	4	Controlar movimiento direccional de las ruedas delanteras del camión	4.1	Incapacidad de maniobrar con fuerza hidráulica	4.1.1	Fuga en las mangueras hidráulicas del sistema de dirección por desgaste o rotura.	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Pérdida de fluido, dificultad para maniobrar el camión minero. Acción correctiva: cambio del elemento.

Figura 2-5: Tabla FMECA para modos de falla.

(Elaboración propia.)

Sistema/Subsistema	#	Modo de Falla	FREC FALLAS (anual)	MTTR (LOG-EJEC-P EN MARCHA)	IMP. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año
Latiguillos/ Manguera hidráulica	1.1.1	Fisura en la manguera debido a fatiga.	5	11,20	\$ 394.880	\$ 12.886.064	B	B	\$ 22.113.280
	1.2.1	Rotura en la manguera.	10	11,20	\$ 394.880	\$ 25.772.128	A	A	\$ 301.947.840
Frenos	2.1.1	Rotura del acople hidráulico en la conexión de los frenos.	2	12,33	\$ 394.880	\$ 5.170.006	A	B	\$ 20.077.753
	2.2.1	Rotura del diafragma del acumulador hidráulico, reduciendo la presión disponible.	1	12,33	\$ 394.880	\$ 2.585.003	B	C	\$ 7.453.873
Bombas	3.1.1	Fisura o perforación en el tanque de fluido hidráulico, provocando pérdida del fluido.	4	14,29	\$ 394.880	\$ 10.394.061	B	A	\$ 64.147.585
	3.2.1	Desgaste de componentes	3	14,29	\$ 394.880	\$ 7.795.546	C	C	\$ 40.315.144
Dirección	4.1.1	Fuga en las mangueras hidráulicas del sistema de dirección por desgaste o rotura.	5	13,00	\$ 394.880	\$ 10.448.110	A	B	\$ 77.907.750

Figura 2-6: Tabla de riesgo económico de los modos de falla, sistema hidráulico.

(Elaboración propia.)

La figura 2-6 presenta de manera detallada los datos cuantificables relacionados con el historial de fallas, así como los costos asociados a la ejecución del mantenimiento correctivo desarrollado por la empresa. Este análisis proporciona una visión integral de los aspectos técnicos y económicos involucrados en la gestión de fallas bajo el esquema actual, permitiendo una evaluación precisa de las acciones de mantenimiento correctivo desarrolladas. El presupuesto anual da como resultado un monto total de **\$533.963.225 CLP**.

Sistema/Subsistema	#	Modo de Falla	RIESGO CUALITATI VO	GRÁFIC O	Actividad Mto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Mecánico	HH -ejecución	Tarifa especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PTTO ANUAL
Latiguillos/ Manguera hidráulica	1.1.1	Fisura en la manguera debido a fatiga.	BB	1	Mantenimiento por condición	Inspeccionar visualmente las mangueras, buscando signos de fisura o desgaste.	10	3	3	\$62.046	\$ 53.350	\$ 6.117.640
	1.2.1	Rotura en la manguera.	AA	3	Mantenimiento por condición	Inspeccionar estado de manguera y sustituir inmediatamente si esta rota.	10	3	7	\$144.774	\$ 600.001	\$ 36.402.550
Frenos	2.1.1	Rotura del acople hidráulico en la conexión de los frenos.	AB	2	Mantenimiento por condición	Revisar de las conexiones para detectar aflojamiento o desgaste.	10	3	5	\$103.410	\$ 247.500	\$ 17.986.500
	2.2.1	Rotura del diafragma del acumulador hidráulico, reduciendo la presión disponible.	BC	1	Mantenimiento por condición	Verificar presión del acumulador y verificar estado del acumulador hidráulico.	10	3	5	\$103.410	\$ 352.000	\$ 19.031.500
Bombas	3.1.1	Fisura o perforación en el tanque de fluido hidráulico, provocando pérdida del fluido.	BA	2	Mantenimiento por condición	Inspeccionar visualmente el tanque, para detectar corrosión, desgaste o fisura.	10	3	6	\$124.092	\$ 50.050	\$ 22.837.060
	3.2.1	Desgaste de componentes	CC	1	Mantenimiento por condición	revisar estado de los componentes de la bomba hidráulica, en busca de síntomas de desgaste.	10	3	4	\$82.728	\$ 431.200	\$ 14.239.360
Dirección	4.1.1	Fuga en las mangueras hidráulicas del sistema de dirección por desgaste o rotura.	AB	2	Mantenimiento por condición	Inspeccionar el estado de mangueras de dirección.	10	3	5	\$103.410	\$ 50.950	\$ 16.021.000

Figura 2-7: Tabla de estimación del riesgo económico asociado al mantenimiento propuesto.

(Elaboración propia.)

La figura 2-7 entrega la planificación económica propuesta, la cual refleja una estrategia de mantenimiento enfocada en intervenciones frecuentes, priorizando la identificación temprana de fallas y la reposición de componentes críticos, donde las variaciones en los costos evidencian la naturaleza diversa de las tareas y su impacto en los recursos asignados. Este análisis resalta la importancia de una correcta gestión del mantenimiento por condición para optimizar la relación costo-beneficio y garantizar la operación confiable de los equipos. El presupuesto anual para esta propuesta de mantenimiento es de **\$132.635.610 CLP**

#Modo de falla	Riesgo Cuantitativo anual actual	Presupuesto anual preventivo	MTTR correctivo	MTTR preventivo	FF actual	CTPF actual	FF Proyectado (50%)	Riesgo Cuantitativo futuro
1.1.1	\$ 22.113.280	\$ 6.117.640	11,20	3,0	5	\$ 2.651.320	2,5	\$ 11.056.640
1.2.1	\$ 301.947.840	\$ 36.402.550	11,20	7,0	10	\$ 2.614.266	5,0	\$ 150.973.920
2.1.1	\$ 20.077.753	\$ 17.986.500	12,33	5,0	2	\$ 2.770.271	1,0	\$ 10.038.877
2.2.1	\$ 7.453.873	\$ 19.031.500	12,33	5,0	1	\$ 2.955.539	0,5	\$ 3.726.937
3.1.1	\$ 64.147.585	\$ 22.837.060	14,29	6,0	4	\$ 2.691.149	2,0	\$ 32.073.793
3.2.1	\$ 40.315.144	\$ 14.239.360	14,29	4,0	3	\$ 2.722.027	1,5	\$ 20.157.572
4.1.1	\$ 77.907.750	\$ 16.021.000	13	5,0	5	\$ 2.163.729	2,5	\$ 38.953.875
Total	\$ 533.963.225	\$ 132.635.610					Total	\$ 266.981.613

Figura 2-8: Tabla de estimación del riesgo económico futuro.

(Elaboración propia.)

La figura 2-8 presenta de manera detallada los datos cuantificables relacionados con el mantenimiento correctivo actual y el mantenimiento propuesto, así como los costos asociados a la ejecución de dichos mantenimientos. Este análisis proporciona una visión proyectada del futuro, donde se estima que al primer año de haber implementado el plan de mantenimiento por condición la frecuencia de falla se reducirá al 50%. Por Otro lado se muestra el valor futuro del riesgo cuantitativo para cada modo de falla y el total anual, permitiendo así una evaluación precisa de las acciones del mantenimiento correctivo desarrolladas. El presupuesto anual futuro da como resultado un monto total de **\$266.981.613 CLP**.

CAPITULO 3.

**DESARROLLO DE PAUTAS DE MANTENIMIENTO Y EVALUACIÓN DE
COSTOS ASOCIADOS.**

3.1 TAREAS PROPUESTAS

Para solucionar la alta indisponibilidad de los camiones Caterpillar 793F, se implementaron actividades como la optimización del mantenimiento preventivo mediante inspecciones programadas, ajustes en los intervalos de cambio de componentes críticos, reparación para reducir los tiempos de intervención. Además, se mejoró la gestión de repuestos, y asegurando su disponibilidad inmediata y minimizando retrasos en las reparaciones. Estas medidas están orientadas a incrementar la confiabilidad operativa de los equipos, optimizar los recursos disponibles y garantizar el cumplimiento de los objetivos de producción de manera sostenible y eficiente.

A continuación se presentan las tareas de mantenimiento propuestas para cada modo de fallo identificado para el sistema hidráulico, categorizado como el mas crítico en este caso de estudio.



PAUTA DE MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRÁULICO FRECUENCIA: CADA 750 HORAS

CAT 793F

Toda información complementaria relacionada con el registro de la actividad debe ser consignada de manera detallada en la hoja correspondiente a los registros.

Sub-sistema: Manguera hidráulica.	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Fisura en la manguera debido a fatiga Acción a realizar: Inspeccionar visualmente las mangueras, buscando signos de fisura o desgaste.	Preparación del equipo: Asegurarse de que el camión esté apagado y con el sistema hidráulico despresurizado.	☐	
	Utilizar equipo de seguridad personal (guantes, gafas de seguridad). Inspección visual: Examinar las mangueras de freno hidráulicas en toda su longitud. Identificar fisuras, grietas, abultamientos o cualquier signo evidente de fatiga. Verificar puntos de fricción o contacto con otros componentes que puedan dañar la manguera.	☐	
	Registro de hallazgos: Registrar las condiciones anómalas detectadas, si las hubiera. Determinar si es necesario reemplazar alguna manguera o no.	☐	
	Acción correctiva: Si se detectan fisuras, programar el reemplazo de la manguera afectada.	☐	

Figura 3-1: Tareas de mantenimiento a sistema hidráulico.

(Fuente: Elaboración propia.)

[illegible]

(Fuente: Elaboración propia.)

Sub-sistema: Bomba hidráulica.	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Fisura o perforación en el tanque de fluido hidráulico, provocando pérdida del fluido. Acción a realizar: Inspeccionar visualmente el tanque para detectar corrosión, desgaste o fisura.	Preparación del equipo:	☐	
	Estacionar el camión en un área segura y despresurizar el sistema hidráulico.		
	Usar equipo de protección personal.		
	Inspección visual:	☐	
	Revisar las paredes del tanque de fluido hidráulico en busca de fisuras, corrosión o fugas.		
	Examinar las áreas de soldadura, bridas y conexiones.		
	Acción a condición:	☐	
	Si se detectan fisuras o perforaciones, reparar o reemplazar el tanque de acuerdo con las especificaciones del fabricante.		
	Prueba de estanqueidad:	☐	
	Llenar el tanque y presurizar el sistema para comprobar que no existan fugas.		
	Registro:	☐	
	Documentar la inspección y las acciones correctivas realizadas.		

(Fuente: Elaboración propia.)

Sub-sistema: Bomba hidráulica.	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Desgaste de componentes. Acción a realizar: Revisar estado de los componentes de la bomba hidráulica en busca de síntomas de desgaste.	Preparación del equipo: Apagar el camión y despresurizar el sistema hidráulico. Desmontar la bomba hidráulica según el procedimiento técnico.	☐	
	Inspección de componentes: Revisar visualmente y mediante herramientas de medición el estado de los engranajes, sellos, rodamientos y otros componentes internos. Identificar signos de desgaste, deformación o juego excesivo.	☐	
	Acción a condición: Reemplazar los componentes desgastados o dañados según las especificaciones técnicas.	☐	
	Re-ensamblaje y prueba: Re-ensamblar la bomba y realizar una prueba funcional para garantizar su correcto funcionamiento.	☐	
	Registro: Documentar las piezas reemplazadas y las pruebas realizadas.	☐	

Figura 3-6: Tareas de mantenimiento a sistema hidráulico.

(Fuente: Elaboración propia.)

Sub-sistema: Dirección hidráulica.	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Fuga en las mangueras hidráulicas del sistema de dirección por desgaste o rotura. Acción a realizar: Inspeccionar el estado de las mangueras de dirección.	Preparación del equipo: Apagar el camión y despresurizar el sistema hidráulico. Usar equipo de protección personal.	☐	
	Inspección visual: Examinar las mangueras de dirección en busca de fugas, desgaste, grietas o roturas. Verificar que las conexiones estén firmes y sin fugas.	☐	
	Acción a condición: Si se detecta desgaste o rotura, reemplazar las mangueras dañadas.	☐	
	Prueba de funcionamiento: Presurizar el sistema y verificar que no existan fugas en las mangueras reemplazadas.	☐	
	Registro: Documentar la inspección y las acciones correctivas realizadas.	☐	

Figura 3-7: Tareas de mantenimiento a sistema hidráulico.

(Fuente: Elaboración propia.)

Las figuras 3-5 y 3-6 muestran las tareas propuestas para el componente de bomba hidráulica. La figura 3-7 entrega las tareas por condición para la dirección hidráulica del camión.

Actividad	Materiales/Insumos	Costo Promedio (CLP)	Costo Almacenamiento (10%)	Total Unitario (CLP)	Total Actividad (CLP)
Inspección visual de mangueras hidráulicas, buscando signos de fisura o desgaste	Manguera hidráulica específica para el modelo 793F	\$ 150.000	\$ 15.000	\$ 165.000	\$ 600.001
	Conectores y acoples hidráulicos	\$ 30.455	\$ 3.046	\$ 33.501	
	Llave ajustable de alta resistencia	\$ 25.000	\$ 2.500	\$ 27.500	
	Sellador de roscas hidráulico	\$ 10.000	\$ 1.000	\$ 11.000	
	Aceite hidráulico compatible	\$ 165.000	\$ 16.500	\$ 181.500	
	Prensa hidráulica portátil (para ajustes de mangueras)	\$ 120.000	\$ 12.000	\$ 132.000	
	Juego de llaves combinadas	\$ 45.000	\$ 4.500	\$ 49.500	

Actividad	Materiales/Insumos	Costo Promedio (CLP)	Costo Almacenamiento (10%)	Total Unitario (CLP)	Total Actividad (CLP)
Inspección visual de mangueras hidráulicas, buscando signos de fisura o desgaste	Juego de llaves dinamométricas	\$ 120.000	\$ 12.000	\$ 132.000	\$ 247.500
	Detector de fugas (spray)	\$ 8.000	\$ 800	\$ 8.800	
	Marcadores de inspección	\$ 2.000	\$ 200	\$ 2.200	
	Llave inglesa ajustable	\$ 15.000	\$ 1.500	\$ 16.500	
	Multímetro para revisión eléctrica en conexiones	\$ 80.000	\$ 8.000	\$ 88.000	

Actividad	Materiales/Insumos	Costo Promedio (CLP)	Costo Almacenamiento (10%)	Total Unitario (CLP)	Total Actividad (CLP)
Verificación de presión del acumulador y estado del acumulador hidráulico	Manómetro para sistemas hidráulicos	\$ 45.000	\$ 4.500	\$ 49.500	\$ 352.000
	Kit de conexión para manómetro	\$ 20.000	\$ 2.000	\$ 22.000	
	Acumulador hidráulico de repuesto (si es necesario)	\$ 200.000	\$ 20.000	\$ 220.000	
	Llave para válvulas hidráulicas	\$ 30.000	\$ 3.000	\$ 33.000	
	Termómetro infrarrojo (para medir temperatura del sistema)	\$ 25.000	\$ 2.500	\$ 27.500	

Figura 3-8: Costos de insumos por actividad programada.

(Fuente: Elaboración propia)

La figura 3-8 muestra las tablas con los costos asociados a los insumos necesarios utilizados en cada actividad planificada propuesta, proporciona una visión clara y detallada de los costos, siendo así un recurso valioso para la gestión de proyectos y planificación presupuestaria. Los gastos asociados a las demás actividades se pueden encontrar en el “ANEXO Q: COSTOS DE INSUMOS POR ACTIVIDAD PROGRAMADA.”

3.2 RIESGO ECONOMICO ANUAL DE MANTENIMIENTO EXISTENTE

Para calcular los costos de mantenimiento correctivo asociados a las fallas del sistema hidráulico, se recopiló información utilizando el software de gestión Omecánica, empleado por la empresa para llevar un registro detallado de los insumos, repuestos y tareas de mantenimiento realizadas en los diferentes equipos. A través del análisis de los datos registrados en la tabla de Excel basada en la metodología FMECA, se determinó que, durante el período comprendido entre julio de 2023 y julio de 2024, la empresa EPSA ha desembolsado un total de **\$533.963.226 CLP**, solo en reparaciones para el sistema hidráulico.

3.3 FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA

La evaluación técnica y económica en este contexto implica realizar una comparación entre los costos del plan de mantenimiento actual y aquellos que surgen al implementar las tareas de mantenimiento propuestas. Este proceso de evaluación toma en cuenta no solo el análisis de gastos y ahorros potenciales, sino también los recursos requeridos para llevar a cabo las mejoras recomendadas.

3.3.1 Riesgo económico del mantenimiento propuesto

Los costos de mantenimiento preventivo diseñados para monitorear los diferentes modos de falla se programan con una frecuencia de 750 horas. Este enfoque optimiza los recursos al evitar el retrabajo del equipo porque todos los modos de falla establecidos se cubren en una sola medición. El costo total de implementación del nuevo programa de mantenimiento se estima en **\$132.635.610 CLP** para un plazo estimado de un año de implementación.

3.4 BENEFICIO ESPERADO

A continuación, se presenta un cuadro en el cual contiene los datos cuantificables, correspondientes al mantenimiento correctivo actual versus el mantenimiento propuesto y el valor futuro proyectado en un año. Ver figura 2-6; 2-7 y 2-8.

Beneficio proyectado en un año		
Mantenimiento correctivo	\$	533.963.225
Mantenimiento preventivo	\$	132.635.610
Mantenimiento correctivo futuro	\$	266.981.613
Beneficio	\$	134.346.003

Tabla 3-1: Cuadro de beneficio esperado.

(Fuente: Elaboración propia.)

Los costos anuales asociados al mantenimiento correctivo tienden a ser elevados debido a su carácter reactivo, incluyendo gastos por reparaciones de emergencia, adquisición de repuestos no planificados y tiempos de inactividad imprevistos. En contraste, el enfoque preventivo representa una inversión más controlada, dado que las actividades son planificadas con antelación, permitiendo la optimización de recursos y la mitigación de costos inesperados.

La implementación adecuada del mantenimiento preventivo se traduce en un ahorro de **\$134.346.003 CLP**. Adicionalmente, los beneficios proyectados refuerzan la rentabilidad y sostenibilidad de este enfoque.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se identifican los antecedentes del proyecto minero rajo Esperanza Sur, la importancia operativa de la flota de camiones Caterpillar 793F. Se destacó la criticidad de estos equipos en la cadena productiva minera, donde la baja disponibilidad es la que impacta directamente en la eficiencia del transporte de mineral, generándose cuellos de botella que afectan la productividad como a los costos operativos. El resultado del análisis de la situación actual comprueba que las fallas no planificadas están asociadas principalmente al sistema hidráulico el cual representa el 32% de las fallas totales, lo que genera altos tiempos de inactividad y costos de mantenimiento correctivo. Este contexto subraya la necesidad de una estrategia de mantenimiento más eficiente, que permita abordar de manera proactiva los problemas críticos y así optimizar la disponibilidad de los equipos.

Mediante la aplicación de la metodología Jack-Knife, se logró identificar el sistema más crítico de la flota Caterpillar 793F tal como se esperaba en el objetivo específico número dos, destacando al sistema hidráulico como el sistema crítico y preocupante, el cual cuenta con una alta frecuencia de fallas y tiempos de reparación prolongados. Si bien otros sistemas como el neumático y el eléctrico, también presentan incidencias significativas, su impacto en la operatividad resulta moderado en comparación con el sistema hidráulico. El análisis FMECA permitió cuantificar los riesgos asociados a las fallas del sistema hidráulico, evidenciando el alto costo de mantenimiento correctivo y el impacto económico que generan las paradas no planificadas. Este capítulo concluye que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo enfocado en los componentes críticos puede reducir de manera importante los costos operativos y así mejorar la disponibilidad de los equipos.

La planificación de pautas de mantenimiento propuesto en el capítulo tres demostró ser técnica y económicamente viable, ofreciendo una reducción en los costos anuales asignados al mantenimiento para el sistema hidráulico, mejorando la disponibilidad operativa en 20 horas adicionales por año. Las tareas de mantenimiento preventivo, diseñadas con base en la criticidad de los modos de fallas, son más eficientes al abordar de manera anticipada los problemas

recurrentes, minimizando así los tiempos de inactividad y optimizando la gestión de recursos de manera anticipada. Este capítulo destaca la importancia de integrar estrategias proactivas en la gestión del mantenimiento para garantizar la sostenibilidad operativa y económica de la flota.

Para mejorar la confiabilidad operativa, se recomienda ampliar el alcance del plan de mantenimiento preventivo, incorporando al sistema neumático el cual representa el 27% y al sistema eléctrico el cual representa 15% del total de las fallas, junto al sistema hidráulico identificado como crítico, así se podría abarcar el 73% de las fallas de la flota. Basándose en la metodología Jack-Knife, se deben priorizar los modos de falla con mayor frecuencia y MTTR, desarrollando pautas específicas para cada sistema. Además, optimizar la gestión de repuestos mediante un inventario crítico de componentes recurrentes y acuerdos de suministros con proveedores garantizará la disponibilidad inmediata de piezas clave, minimizando tiempo de inactividad. Estandarizar las tareas de mantenimiento mediante procedimientos detallados y capacitación técnica asegurará consistencia, calidad y reducción de costos. Por último, se propone ajustar los intervalos de mantenimiento preventivo según análisis históricos y FMECA, priorizando intervenciones antes de fallas en componentes críticos para maximizar la eficiencia operativa

BIBLIOGRAFIA

- Caterpillar Inc. (sf). Manual de operación y mantenimiento del camión minero 793F. Caterpillar Inc.
- EPSA. (sf). Historia y servicios de la empresa. (<https://www.epsa.com>)
- Omecánica. (sf). Software de gestión de mantenimiento. (<https://omecanica.com>)
- Minerales de Antofagasta. (2024). Proyecto Minera Centinela: Impacto ambiental y social en minería. (<https://www.aminerals.cl>)
- Sociedad Americana de Rehabilitación y Conservación. (sf). *Norma ASARCO 10*.

ANEXOS

ANEXO A: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 750 HORAS.

(Fuente: programa Omecánica)



REVISIÓN 750 HRS

CAT

793F

Muestras	Descripción	Check	Mecánico
Diferencial	Obtener muestra de aceite del diferencial	☐	
Dirección	Obtener muestra de aceite la de dirección	☐	
Mando final	Obtener muestra de aceite del mando final derecho	☐	
Mando final	Obtener muestra de aceite del mando final izquierdo	☐	
Refrigerante	Obtener muestra de refrigerante de motor	☐	
Rodaje	Obtener muestra de aceite de la rueda delantera derecha	☐	
Rodaje	Obtener muestra de aceite de la rueda delantera izquierda	☐	

Filtros	Descripción	Cantidad	Check	Mecánico
Transmisión	Cambiar filtro de aceite de la servotransmisión	1	☐	
Eje trasero	Cambiar filtro de aceite del eje trasero	1	☐	
Motor	Cambiar filtro de aceite del motor	2	☐	
Frenado	Cambiar filtro de aceite hidráulico de la bomba del freno	1	☐	
Sistema hidráulico	Cambiar filtro de aceite hidráulico del sistema de dirección y ventilador	1	☐	
Cabina	Cambiar filtro de aire de la cabina	1	☐	
Motor	Cambiar filtro de separador de combustible	2	☐	
Frenado	Cambiar filtro del aceite hidráulico - filtro de enfriamiento de frenos	1	☐	
Motor	Cambiar filtro secundario de sistema de combustible	3	☐	

Aceites	Descripción	Referencia	Capacidad Litros	Check	Mecánico
Motor	Cambiar aceite del motor	SAE 15W-40	312,0	☐	
Sistema hidráulico	Cambiar aceite de la bomba de lubricación	SAE 10W-30	444,0	☐	
Diferencial	Cambiar aceite del diferencial y mandos finales	SAE 60	984,0	☐	

Rodaje	Descripción	Check	Mecánico
Orbitrol	Revisar estado de la dirección secundaria (orbitrol)	☐	
Rotula	Revisar holgura de las rotulas de la dirección	☐	
Rueda	Revisar aro de bloqueo del neumático	☐	

ANEXO B: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 750 HORAS.

(Fuente: programa Omecánica)

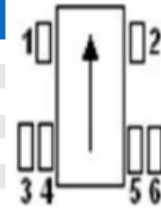


REVISIÓN 750 HRS

CAT

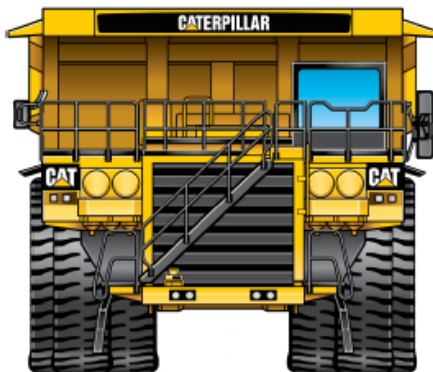
793F

Descripción	Medición del neumático	Presión del neumático	Check	Mecánico
Comprobar presión del neumático 1		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 2		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 3		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 4		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 5		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 6		Bar	☐	

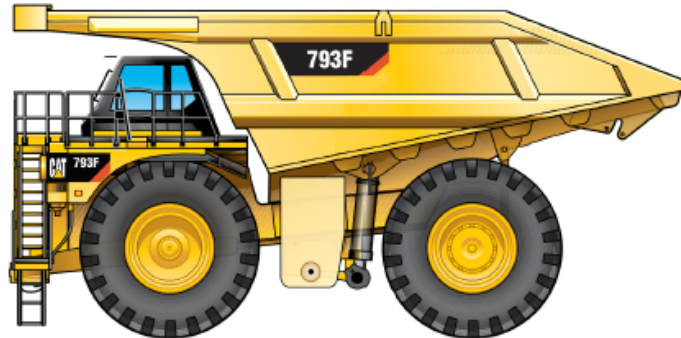


Chasis	Descripción	Check	Mecánico
Chasis	Revisar estado del cable de retención de la caja	☐	
Chasis	Revisar estado del chasis en busca de fisuras	☐	
Chasis	Revisar funcionamiento de la escalera mecánica	☐	
Volquete	Revisar estado del volquete en busca de fisuras	☐	
ROPS/FOPS	Revisar condición de la estructura de protección (ROPS/FOPS)	☐	
Seguridad	Revisar estado de las pegatinas de seguridad e identificación de la maquina (cambiar cuando sea necesario)	☐	

Señalar zonas dañadas



Frontal



Lateral Derecha

ANEXO C: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 750 HORAS.

(Fuente: programa Omecánica)



REVISIÓN 750 HRS

CAT

793F

Motor	Descripción	Check	Mecánico
Combustible	Cebat sistema de combustible	☐	
Combustible	Drenar filtro de combustible separador de agua	☐	
Ventilador	Revisar funcionamiento del ventilador	☐	

Frenado	Descripción	Check	Mecánico
Acumulador	Revisar funcionamiento del acumulador del freno	☐	
Freno	Revisar estado del tanque de aire del acumulador del freno	☐	
Freno	Revisar nivel de desgaste de los frenos de servicio y estacionamiento	☐	
Tanque de aire	Drenar humedad y sedimentos del tanque de aire	☐	
válvula	Revisar funcionamiento válvula de alivio del tanque de aire	☐	

Desgaste %	Comprobar carrera del pistón de frenado	Valor de la medición del lado derecho delantero	Valor de la medición del lado izquierdo delantero	Check	Mecánico
0	-			☐	
10	0,6 mm (0,0236 pulgadas)			☐	
20	1,2 mm (0,0472 pulgadas)			☐	
30	1,8 mm (0,0709 pulgadas)			☐	
40	2,4 mm (0,0945 pulgadas)			☐	
60	3,5 mm (0,1378 pulgadas)			☐	
50	3,0 mm (0,1181 pulgadas)			☐	
70	4,1 mm (0,1614 pulgadas)			☐	
80	4,7 mm (0,1850 pulgadas)			☐	
90	5,3 mm (0,2087 pulgadas)			☐	
100	5,9 mm (0,2323 pulgadas)			☐	

Desgaste %	Comprobar carrera del pistón de frenado	Valor de la medición del lado derecho trasero	Valor de la medición del lado izquierdo trasero	Check	Mecánico
0	-			☐	
10	0,9 mm (0,0354 pulgadas)			☐	
20	1,8 mm (0,0708 pulgadas)			☐	
30	2,6 mm (0,1024 pulgadas)			☐	
40	3,5 mm (0,1378 pulgadas)			☐	
50	4,4 mm (0,1732 pulgadas)			☐	
60	5,3 mm (0,2087 pulgadas)			☐	
70	6,2 mm (0,2441 pulgadas)			☐	
80	7,0 mm (0,2756 pulgadas)			☐	
90	7,9 mm (0,3110 pulgadas)			☐	
100	8,8 mm (0,3465 pulgadas)			☐	

Suspensiones	Descripción	Check	Mecánico
Acumuladores	Revisar y purgar acumuladores de las suspensiones	☐	
Brazo trasero	Revisar brazo de la suspensión trasera	☐	
Cabezal	Revisar cabezal de la suspensión delantera	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión delantera derecha	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión delantera izquierda	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión trasera derecha	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión trasera izquierda	☐	
Cilindro	Revisar tornillería, pasador y cojinete del cilindro de suspensión	☐	
Pernos	Revisar los pernos de las suspensiones (apretar los que este sueltos)	☐	

ANEXO D: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 750 HORAS.

(Fuente: programa Omecánica)



REVISIÓN 750 HRS

CAT793F

Puntos de engrase

1) Cilindro de la dirección

2) Brazo de la dirección externo

3) Brazo de la dirección central

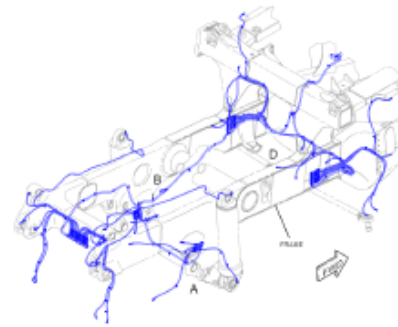
4) Eslabón de la dirección

5) Pasador central de la dirección

ESCALERA MOTORIZADA

2 Cilindro hidráulico

3 Cojinetes del eje



Sistema hidráulico		Descripción	Check	Mecánico
Rejilla	Limpiar rejillas del sistema hidráulico (hidráulico, freno)		☐	

Sistema eléctrico		Descripción	Check	Mecánico
Alarma de retroceso	Revisar alarma de retroceso		☐	
Indicadores y medidores	Revisar indicadores y medidores		☐	
Pantalla	Limpiar pantalla y cámara		☐	
Paro de emergencia	Revisar estado del botón de paro de emergencia		☐	
TCS	Revisar sistema de control de tracción (TCS)		☐	

Sistema eléctrico	Descripción	Valor de la medición	Check	Mecánico
Alternador	Comprobar voltaje de salida del alternador	V	☐	
Batería	Comprobar voltaje de las baterías	V	☐	

59

ANEXO F: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS.

(Fuente: programa Omecánica)



REVISIÓN 1000 HRS

CAT

793F

Muestras	Descripción	Check	Mecánico
Diferencial	Obtener muestra de aceite del diferencial	☐	
Dirección	Obtener muestra de aceite de la dirección	☐	
Mando final	Obtener muestra de aceite del mando final derecho	☐	
Mando final	Obtener muestra de aceite del mando final izquierdo	☐	
Motor	Obtener muestra de aceite del motor	☐	
Refrigerante	Obtener muestra de refrigerante de motor	☐	
Rodaje	Obtener muestra de aceite de la rueda delantera derecha	☐	
Rodaje	Obtener muestra de aceite de la rueda delantera izquierda	☐	
Sistema hidráulico	Obtener muestra de aceite del sistema hidráulico	☐	
Transmisión	Obtener muestra de aceite de la servotransmisión	☐	

Filtros	Descripción	Cantidad	Check	Mecánico
Transmisión	Cambiar filtro de aceite de la servotransmisión	1	☐	
Eje trasero	Cambiar filtro de aceite del eje trasero	1	☐	
Motor	Cambiar filtro de aceite del motor	2	☐	
Frenado	Cambiar filtro de aceite hidráulico de la bomba del freno	1	☐	
Sistema hidráulico	Cambiar filtro de aceite hidráulico del sistema de dirección y ventilador	1	☐	
Cabina	Cambiar filtro de aire de la cabina	1	☐	
Motor	Cambiar filtro de aire de seguridad del motor	2	☐	
Motor	Cambiar filtro de aire externo del motor	2	☐	
Motor	Cambiar filtro de separador de combustible	2	☐	
Frenado	Cambiar filtro del aceite hidráulico - filtro de enfriamiento de frenos	1	☐	
Motor	Cambiar filtro secundario de sistema de combustible	3	☐	
Transmisión	Cambiar respiradero de la servotransmisión	1	☐	
Eje delantero	Cambiar respiradero de rueda delantera derecha	1	☐	
Eje delantero	Cambiar respiradero de rueda delantera izquierda	1	☐	
Diferencial	Cambiar respiradero del diferencial	1	☐	
Sistema hidráulico	Cambiar respiradero del sistema hidráulico	1	☐	
Motor	Cambiar respiradero del tanque de combustible	1	☐	
Dirección	Cambiar respiradero del tanque de dirección	1	☐	

Aceites	Descripción	Referencia	Capacidad Litros	Check	Mecánico
Rodaje	Cambiar aceite de la rueda delantera derecha	SAE 60	30,0	☐	
Rodaje	Cambiar aceite de la rueda delantera izquierda	SAE 60	30,0	☐	
Transmisión	Cambiar aceite de la servotransmisión	SAE 30	209,0	☐	
Motor	Cambiar aceite del motor	SAE 15W-40	312,0	☐	
Sistema hidráulico	Cambiar aceite de la bomba de lubricación	SAE 10W-30	444,0	☐	
Diferencial	Cambiar aceite del diferencial y mandos finales	SAE 60	984,0	☐	

ANEXO G: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS.

(Fuente: programa Omecánica)



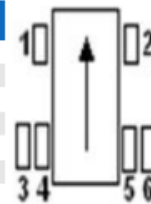
REVISIÓN 1000 HRS

CAT

793F

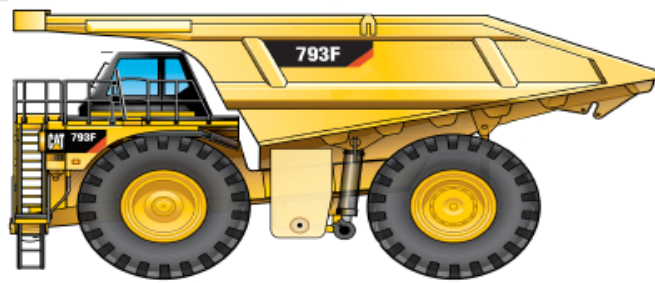
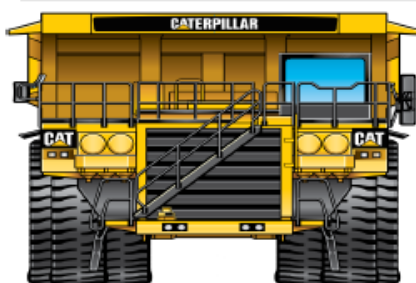
Rodaje	Descripción	Check	Mecánico
Árbol de transmisión	Revisar estado del árbol de transmisión	☐	
Bomba	Revisar estado del árbol de transmisión de la bomba	☐	
Orbitrol	Revisar estado de la dirección secundaria (orbitrol)	☐	
Pasador	Revisar espacio libre del pasador de tope del diferencial	☐	
Rotula	Revisar holgura de las rotulas de la dirección	☐	
Rueda	Revisar aro de bloqueo del neumático	☐	
Varilla	Revisar estado de la varilla de soporte del eje trasero	☐	
Varillaje	Revisar estado del varillaje de la dirección	☐	

Descripción	Medición del neumático	Presión del neumático	Check	Mecánico
Comprobar presión del neumático 1		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 2		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 3		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 4		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 5		Bar	☐	
Comprobar presión del neumático 6		Bar	☐	



Chasis	Descripción	Check	Mecánico
Chasis	Revisar estado del cable de retención de la caja	☐	
Chasis	Revisar estado del chasis en busca de fisuras	☐	
Chasis	Revisar funcionamiento de la escalera mecánica	☐	
Escalera	Revisar estado de la escalera mecánica	☐	
ROPS/FOPS	Revisar condición de la estructura de protección (ROPS/FOPS)	☐	
Seguridad	Revisar estado de las pegatinas de seguridad e identificación de la maquina (cambiar cuando sea necesario)	☐	
Soporte	Revisar estado de los soportes del chasis y del volquete	☐	
Volquete	Revisar estado del volquete en busca de fisuras	☐	

Señalar zonas dañadas



Frontal		Lateral Derecha		
Cabina	Descripción	Check	Mecánico	
Cabina	Revisar estado del cinturón de seguridad	☐		
Limpiaparabrisas	Revisar estado del limpiaparabrisas	☐		
Ventana	Limpiar ventanas de la cabina	☐		

ANEXO H: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS.

(Fuente: programa Omecánica)



REVISIÓN 1000 HRS

CAT

793F

Motor	Descripción	Check	Mecánico
Bomba	Revisar funcionamiento de la bomba de agua del motor	☐	
Combustible	Cabar sistema de combustible	☐	
Combustible	Drenar filtro de combustible separador de agua	☐	
Combustible	Drenar agua y sedimento sistema de combustible	☐	
Correas	Revisar estado de las correas del motor (cambiar cuando sea necesario)	☐	
Damper	Revisar estado de la polea dâmpner del motor	☐	
Motor	Abrir filtro de aceite de motor (usado) en busca de virutas	☐	
Radiador	Limpiar todos lo radiadores de la maquina	☐	
Rejilla	Limpiar rejillas del grupo propulsor ((Motor, Convertidor de par, servo) (DEF))	☐	
Soporte	Revisar soportes de motor	☐	
Tapón	Limpiar tapón de presión del sistema de enfriamiento	☐	
Válvula	Limpiar válvula de alivio del sistema de refrigeración	☐	
Ventilador	Revisar funcionamiento del ventilador	☐	

Frenado	Descripción	Check	Mecánico
Acumulador	Revisar carga y descarga del acumulador	☐	
Acumulador	Revisar funcionamiento del acumulador del freno	☐	
Freno	Revisar estado del tanque de aire del acumulador del freno	☐	
Freno	Revisar nivel de desgaste de los frenos de servicio y estacionamiento	☐	
Tanque de aire	Drenar humedad y sedimentos del tanque de aire	☐	
válvula	Revisar funcionamiento válvula de alivio del tanque de aire	☐	

Desgaste %	Comprbar carrera del pistón de frenado	Valor de la medición del lado derecho delantero	Valor de la medición del lado izquierdo delantero	Check	Mecánico
0	-			☐	
10	0,6mm (0,0236 pulgadas)			☐	
20	1,2 mm (0,0472 pulgadas)			☐	
30	1,8 mm (0,0709 pulgadas)			☐	
40	2,4 mm (0,0945 pulgadas)			☐	
60	3,5 mm (0,1378 pulgadas)			☐	
50	3,0 mm (0,1181 pulgadas)			☐	
70	4,1 mm (0,1614 pulgadas)			☐	
80	4,7 mm (0,1850 pulgadas)			☐	
90	5,3 mm (0,2087 pulgadas)			☐	
100	5,9 mm (0,2323 pulgadas)			☐	

Desgaste %	Comprbar carrera del pistón de frenado	Valor de la medición del lado derecho trasero	Valor de la medición del lado izquierdo trasero	Check	Mecánico
0	-			☐	
10	0.9 mm (0,0354 pulgadas)			☐	
20	1,8 mm (0,0708 pulgadas)			☐	
30	2,6 mm (0,1024 pulgadas)			☐	
40	3,5 mm (0,1378 pulgadas)			☐	
50	4,4 mm (0,1732 pulgadas)			☐	
60	5,3 mm (0,2087 pulgadas)			☐	
70	6,2 mm (0,2441 pulgadas)			☐	
80	7,0 mm (0,2756 pulgadas)			☐	
90	7,9 mm (0,3110 pulgadas)			☐	
100	8,8 mm (0,3465 pulgadas)			☐	

ANEXO I: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS.

(Fuente: programa Omecánica)



REVISIÓN 1000 HRS

CAT 793F

Puntos de engrase

1) Cilindro de la dirección

2) Brazo de la dirección externo

3) Brazo de la dirección central

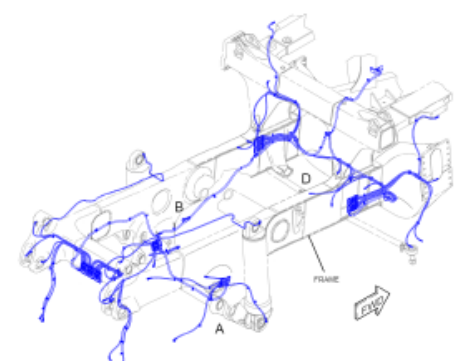
4) Eslabón de la dirección

5) Pasador central de la dirección

ESCALERA MOTORIZADA

2 Cilindro hidráulico

3 Cojinetes del eje



Sistema hidráulico	Descripción	Check	Mecánico
Rejilla	Limpiar rejillas del sistema hidráulico (hidráulico, freno)	☐	

Sistema eléctrico	Descripción	Check	Mecánico
Alarma de retroceso	Revisar alarma de retroceso	☐	
Fusibles	Revisar fusibles, disyuntores y relés (cambiar si es necesario)	☐	
Indicadores y medidores	Revisar indicadores y medidores	☐	
Lámpara (HID)	Revisar lámpara de descarga de alta intensidad (HID)	☐	
Pantalla	Limpiar pantalla y cámara	☐	
Paro de emergencia	Revisar estado del botón de paro de emergencia	☐	
TCS	Revisar sistema de control de tracción (TCS)	☐	

Sistema eléctrico	Descripción	Valor de la medición	Check	Mecánico
Alternador	Comprobar voltaje de salida del alternador	V ☐		
Batería	Comprobar voltaje de las baterías	V ☐		

ANEXO J: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS.

(Fuente: programa Omecánica)



REVISIÓN 1000 HRS

CAT

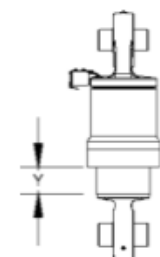
793F

Suspensiones	Descripción	Check	Mecánico
Acumuladores	Revisar y purgar acumuladores de las suspensiones	☐	
Brazo trasero	Revisar brazo de la suspensión trasera	☐	
Cabezal	Revisar cabezal de la suspensión delantera	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión delantera derecha	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión delantera izquierda	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión trasera derecha	☐	
Cilindro	Revisar cilindros de suspensión trasera izquierda	☐	
Cilindro	Revisar tornillería, pasador y cojinete del cilindro de suspensión	☐	
Pernos	Revisar los pernos de las suspensiones (apretar los que este sueltos)	☐	

Suspensión delantera	Valor de la medición del lado derecho	Valor de la medición del lado izquierdo	Check	Mecánico
Comprobar la altura del vástago (X) (248.0 ± 20.0 mm (9.76 $\pm$ 0.79 inch))			☐	
Comprobar la presión de carga extendida (2070 kPa (300 psi))			☐	
NOTA: SI LA DIFERENCIA ENTRE LA Tª AMBIENTE Y LA DEL TALLER ES SUPERIOR A 11° (20°F) AGREGUE O RESTE 2,54mm (0,10inch) POR CADA 5,5°C DE DIFERENCIA			☐	

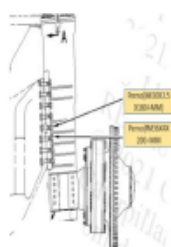


Suspensión trasera	Valor de la medición del lado derecho	Valor de la medición del lado izquierdo	Check	Mecánico
Comprobar la altura del vástago (Y) (203 ± 13 mm (8.0 $\pm$ 0.50 inch))			☐	
Comprobar la presión de carga extendida (1249 kPa (181 psi))			☐	
NOTA: SI LA DIFERENCIA ENTRE LA Tª AMBIENTE Y LA DEL TALLER ES SUPERIOR A 11° (20°F) AGREGUE O RESTE 2,54mm (0,10inch) POR CADA 5,5°C DE DIFERENCIA			☐	



Suspensión lado derecho	Comprobar	observación	Check	Mecánico
Revisar estado del cromo del cilindro			☐	
Revisar marcas de referencia entre (tuerca y estructura) y (perno y estructura)			☐	
Revisar que la suspensión, el chasis y zonas de anclaje estén enteras o no tengan fisuras			☐	
Revisar que no tenga fugas de aceite o de grasa			☐	
Revisar que todos los pernos y tuercas de sujeción se encuentren presentes y en buen estado			☐	
Revisar sello limpiador y comprobar que este en su lugar y ajustado al vástago			☐	

Suspensión lado izquierdo	Comprobar	observación	Check	Mecánico
Revisar estado del cromo del cilindro			☐	
Revisar marcas de referencia entre (tuerca y estructura) y (perno y estructura)			☐	
Revisar que la suspensión, el chasis y zonas de anclaje estén enteras o no tengan fisuras			☐	
Revisar que no tenga fugas de aceite o de grasa			☐	
Revisar que todos los pernos y tuercas de sujeción se encuentren presentes y en buen estado			☐	
Revisar sello limpiador y comprobar que este en su lugar y ajustado al vástago			☐	



ANEXO K: PAUTA MANTENIMIENTO PROGRAMADO A LAS 1000 HORAS.

(Fuente: programa Omecánica)



REVISION 1000 HRS

CAT

793F

Revisión antes de salida de la máquina

Componentes	Descripción	Check	Mecánico
Nivel	Revisar nivel de aceite del convertidor de par	☐	
Nivel	Revisar nivel de aceite del sistema de dirección	☐	
Nivel	Revisar nivel de aceite de la rueda delantera derecha	☐	
Nivel	Revisar nivel de aceite de la rueda delantera izquierda	☐	
Nivel	Revisar nivel de aceite del diferencial	☐	
Nivel	Revisar nivel de aceite del mando final trasero derecho	☐	
Nivel	Revisar nivel de aceite del mando final trasero izquierdo	☐	
Nivel	Revisar nivel de aceite del motor	☐	
Nivel	Revisar nivel de aceite del tanque hidráulico	☐	
Nivel	Revisar nivel del refrigerante de motor	☐	
Tapón	Revisar tapón de aceite del sistema de dirección	☐	
Tapón	Revisar tapón de aceite del convertidor de par	☐	
Tapón	Revisar tapón de aceite de la rueda delantera derecha	☐	
Tapón	Revisar tapón de aceite de la rueda delantera izquierda	☐	
Tapón	Revisar tapón de aceite del diferencial	☐	
Tapón	Revisar tapón de aceite del mando final trasero derecho	☐	
Tapón	Revisar tapón de aceite del mando final trasero izquierdo	☐	
Tapón	Revisar tapón de aceite del motor	☐	
Tapón	Revisar tapón de aceite del tanque hidráulico	☐	
Tapón	Revisar tapón del refrigerante de motor	☐	

Partículas Pequeñas -
Limpiar o Revisar



Partículas Grandes - Limpiar o
Revisar



Escombros - Notificar
Supervisor



Avería Ocurred - Notificar
Supervisor



Contra-incendios	Descripción	Fecha	Check	Mecánico
Anti incendio	Comprobar condición y fecha de caducidad del sistema antincendios		☐	
Sistema antincendios	Comprobar fecha de caducidad de los extintores		☐	

ANEXO L: PAUTA MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRÁULICO (PÁG 1).

(Fuente: Elaboración propia)



**Pauta de mantenimiento para sistema
hidráulico**

Frecuencia: 750 HRS

Modelo: CAT-793F

Nº código _____
Horómetro _____
Fecha _____

Nombre participantes	Turno	Fecha	Firma

ANEXO M: PAUTA DE MANTENIMIENTO HIDRÁULICO (PÁG 2).

(Fuente: Elaboración propia)



PAUTA DE MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRÁULICO FRECUENCIA: CADA 750 HORAS

CAT 793F

Toda información complementaria relacionada con el registro de la actividad debe ser consignada de manera detallada en la hoja correspondiente a los registros.

Sub-sistema: Manguera hidráulica.	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Fisura en la manguera debido a fatiga Acción a realizar: Inspeccionar visualmente las mangueras, buscando signos de fisura o desgaste.	Preparación del equipo: Asegurarse de que el camión esté apagado y con el sistema hidráulico despresurizado. Utilizar equipo de seguridad personal (guantes, gafas de seguridad).	☐	
	Inspección visual: Examinar las mangueras de freno hidráulicas en toda su longitud. Identificar fisuras, grietas, abultamientos o cualquier signo evidente de fatiga. Verificar puntos de fricción o contacto con otros componentes que puedan dañar la manguera.	☐	
	Registro de hallazgos: Registrar las condiciones anómalas detectadas, si las hubiera. Determinar si es necesario reemplazar alguna manguera o no.	☐	
	Acción correctiva: Si se detectan fisuras, programar el reemplazo de la manguera afectada.	☐	

Sub-sistema: Manguera hidráulica	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Rotura de manguera Acción a realizar: Inspeccionar estado de manguera y sustituir inmediatamente si está rota.	Preparación del equipo: Asegurar el camión en un área segura con el sistema hidráulico despresurizado. Utilizar equipo de protección personal.	☐	
	Inspección del estado: Localizar la manguera rota o con pérdida de fluido hidráulico. Confirmar la ubicación exacta de la rotura.	☐	
	Sustitución inmediata: Retirar la manguera dañada siguiendo el procedimiento técnico del fabricante. Instalar una nueva manguera compatible, asegurándose de que las conexiones estén correctamente ajustadas.	☐	
	Prueba de operación: Verificar que la nueva manguera esté libre de torsiones o dobleces indebidos. Presurizar el sistema hidráulico y verificar que no existan fugas en la nueva manguera instalada.	☐	
	Registro de la intervención: Registrar el reemplazo en el historial de mantenimiento del camión.	☐	

Sub-sistema: Frenos hidráulicos	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Rotura del acople hidráulico en la conexión de los frenos. Acción a realizar: Revisar periódicamente las conexiones para detectar aflojamientos o desgaste.	Preparación del equipo: Apagar el camión y despresurizar el sistema hidráulico. Usar herramientas adecuadas para la inspección y equipo de protección personal.	☐	
	Revisión de las conexiones: Inspeccionar visualmente el estado de los acoples hidráulicos en las conexiones de los frenos. Verificar si hay fugas, aflojamientos, corrosión o daños visibles.	☐	
	Acción a condición: Si se detecta desgaste, corrosión o aflojamiento, sustituir o ajustar el acople según corresponda.	☐	
	Pruebas de ajuste: Verificar el torque correcto en las conexiones hidráulicas según las especificaciones del fabricante.	☐	
	Prueba de funcionamiento: Activar el sistema hidráulico y revisar que no existan fugas en los acoples inspeccionados.	☐	
	Registro: Registrar las condiciones observadas y las acciones tomadas en el historial del equipo.	☐	

ANEXO N: PAUTA DE MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRÁULICO (PÁG 3).

(Fuente: Elaboración propia)



PAUTA DE MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRÁULICO FRECUENCIA: CADA 750 HORAS

CAT 793F

Toda información complementaria relacionada con el registro de la actividad debe ser consignada de manera detallada en la hoja correspondiente a los registros.

Sub-sistema: Frenos hidráulicos.	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Rotura del diafragma del acumulador hidráulico, reduciendo presión disponible. Acción a realizar: Verificar presión del acumulador y estado del acumulador hidráulico.	Preparación del equipo: Detener el camión y despresurizar el sistema hidráulico. Identificar el acumulador hidráulico en el sistema de frenos.	☐	
	Medición de presión: Utilizar un manómetro adecuado para medir la presión del acumulador. Comparar la lectura obtenida con la presión recomendada por el fabricante.	☐	
	Inspección del acumulador: Revisar el acumulador hidráulico en busca de signos de daño externo o fugas. Verificar el estado del diafragma interno si es accesible o mediante pruebas indirectas.	☐	
	Acción a condición: Si la presión es insuficiente o el acumulador presenta daños, sustituir el acumulador.	☐	
	Prueba de funcionamiento: Reinstalar el acumulador y verificar que el sistema recupere su presión adecuada.	☐	
	Registro: Anotar los valores de presión, la condición del acumulador y las acciones realizadas.	☐	

Sub-sistema: Bomba hidráulica.	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Fisura o perforación en el tanque de fluido hidráulico, provocando pérdida del fluido. Acción a realizar: Inspeccionar visualmente el tanque para detectar corrosión, desgaste o fisura.	Preparación del equipo: Estacionar el camión en un área segura y despresurizar el sistema hidráulico. Usar equipo de protección personal.	☐	
	Inspección visual: Revisar las paredes del tanque de fluido hidráulico en busca de fisuras, corrosión o fugas.	☐	
	Examinar las áreas de soldadura, bridas y conexiones.		
	Acción a condición: Si se detectan fisuras o perforaciones, reparar o reemplazar el tanque de acuerdo con las especificaciones del fabricante.	☐	
	Prueba de estanqueidad: Llenar el tanque y presurizar el sistema para comprobar que no existan fugas.	☐	
	Registro: Documentar la inspección y las acciones correctivas realizadas.	☐	

Sub-sistema: Bomba hidráulica.	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Desgaste de componentes. Acción a realizar: Revisar estado de los componentes de la bomba hidráulica en busca de síntomas de desgaste.	Preparación del equipo: Apagar el camión y despresurizar el sistema hidráulico. Desmontar la bomba hidráulica según el procedimiento técnico.	☐	
	Inspección de componentes: Revisar visualmente y mediante herramientas de medición el estado de los engranajes, sellos, rodamientos y otros componentes internos.	☐	
	Identificar signos de desgaste, deformación o juego excesivo.		
	Acción a condición: Reemplazar los componentes desgastados o dañados según las especificaciones técnicas.	☐	
	Re-ensamblaje y prueba: Re-ensamblar la bomba y realizar una prueba funcional para garantizar su correcto funcionamiento.	☐	
	Registro: Documentar las piezas reemplazadas y las pruebas realizadas.	☐	

ANEXO Ñ: PAUTA DE MANTENIMIENTO HIDRÁULICO (PÁG 4).

(Fuente: Elaboración propia)



PAUTA DE MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRÁULICO FRECUENCIA: CADA 750 HORAS

CAT 793F

Toda información complementaria relacionada con el registro de la actividad debe ser consignada de manera detallada en la hoja correspondiente a los registros.

Sub-sistema: Dirección hidráulica.	Tareas realizar	Check	Mecánico a cargo
Modo de falla: Fuga en las mangueras hidráulicas del sistema de dirección por desgaste o rotura.	Preparación del equipo: Apagar el camión y despresurizar el sistema hidráulico. Usar equipo de protección personal.	☐	
Acción a realizar: Inspeccionar el estado de las mangueras de dirección.	Inspección visual: Examinar las mangueras de dirección en busca de fugas, desgaste, grietas o roturas.	☐	
	Verificar que las conexiones estén firmes y sin fugas.	☐	
	Acción a condición: Si se detecta desgaste o rotura, reemplazar las mangueras dañadas.	☐	
	Prueba de funcionamiento: Presurizar el sistema y verificar que no existan fugas en las mangueras reemplazadas.	☐	
	Registro: Documentar la inspección y las acciones correctivas realizadas.	☐	

C ANEXO O: PAUTA DE MANTENIMIENTO HIDRÁULICO (PÁG 5).

(Fuente: Elaboración propia)



PAUTA DE MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRÁULICO FRECUENCIA: CADA 750 HORAS

CAT 793F

HOJA DE REGISTRO

Componente/actividad	Observaciones	Firma

Las anomalías en el componente
se debe implementar en el sistema de Omecanica.

Supervisor	Fecha	Firma

ANEXO Q: COSTOS DE INSUMOS POR ACTIVIDAD PROGRAMADA.

(Fuente: Elaboración propia)

Actividad	Materiales/Insumos	Costo Promedio (CLP)	Costo Almacenamiento (10%)	Total Unitario	Total Actividad
Verificación de presión del acumulador y estado del acumulador hidráulico	Manómetro para sistemas hidráulicos	\$ 45.000	\$ 4.500	\$ 49.500	\$ 352.000
	Kit de conexión para manómetro	\$ 20.000	\$ 2.000	\$ 22.000	
	Acumulador hidráulico de repuesto (si es necesario)	\$ 200.000	\$ 20.000	\$ 220.000	
	Llave para válvulas hidráulicas	\$ 30.000	\$ 3.000	\$ 33.000	
	Termómetro infrarrojo (para medir temperatura del sistema)	\$ 25.000	\$ 2.500	\$ 27.500	

Actividad	Materiales/Insumos	Costo Promedio (CLP)	Costo Almacenamiento (10%)	Total Unitario	Total Actividad
Inspección visual del tanque para detectar corrosión, desgaste o fisuras	Linterna de alta potencia	\$ 15.500	\$ 1.550	\$ 17.050	\$ 50.050
	Espejo de inspección telescópico	\$ 12.000	\$ 1.200	\$ 13.200	
	Detector de fugas (spray)	\$ 8.000	\$ 800	\$ 8.800	
	Cinta métrica	\$ 10.000	\$ 1.000	\$ 11.000	

Actividad	Materiales/Insumos	Costo Promedio (CLP)	Costo Almacenamiento (10%)	Total Unitario	Total Actividad
Revisión del estado de los componentes de la bomba hidráulica en busca de síntomas de desgaste	Juego de herramientas mecánicas	\$ 150.000	\$ 15.000	\$ 165.000	\$ 431.200
	Micrómetro o calibre para mediciones precisas	\$ 60.000	\$ 6.000	\$ 66.000	
	Kit de juntas y sellos para bomba hidráulica	\$ 80.000	\$ 8.000	\$ 88.000	
	Extractor de rodamientos	\$ 30.000	\$ 3.000	\$ 33.000	
	Cepillo metálico para limpieza de componentes	\$ 12.000	\$ 1.200	\$ 13.200	

Actividad	Materiales/Insumos	Costo Promedio (CLP)	Costo Almacenamiento (10%)	Total Unitario (CLP)	Total Actividad (CLP)
Inspección del estado de mangueras de dirección	Linterna de alta potencia	\$ 15.500	\$ 1.550	\$ 17.050	\$ 59.950
	Guantes de seguridad	\$ 6.000	\$ 600	\$ 6.600	
	Gafas de protección	\$ 5.000	\$ 500	\$ 5.500	
	Paños de limpieza	\$ 3.000	\$ 300	\$ 3.300	
	Llave de tubo para ajuste de conexiones	\$ 25.000	\$ 2.500	\$ 27.500	