

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería
Industrial

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Herramientas de gestión aplicadas
al mantenimiento**

Wilder Ardiles Mamani

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de suficiencia profesional digital



Esta obra está bajo una licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional"

TSP-ARDILES MEDINA WILDER

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

vsip.info

Fuente de Internet

3%

2

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.uasf.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

1%

7

kupdf.net

Fuente de Internet

1%

8

www.lasbambas.com

Fuente de Internet

1%

9

1library.co

Fuente de Internet

1%

10

revistas.unal.edu.co

Fuente de Internet

1%

11

es.scribd.com

Fuente de Internet

1%

12

repositorio.uni.edu.pe

Fuente de Internet

1%

13	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	<1 %
	Trabajo del estudiante	
14	idoc.pub	<1 %
	Fuente de Internet	
15	repositorio.utp.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
16	www.coursehero.com	<1 %
	Fuente de Internet	
17	careers.mmg.com	<1 %
	Fuente de Internet	
18	repositorio.upt.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
19	SNC LAVALIN PERU S.A.. "Segundo ITS de la Tercera MEIA de la Unidad Minera Las Bambas-IGA0012067", R.D. N° 126-2020-SENACE-PE/DEAR, 2020	<1 %
	Publicación	
20	SNC LAVALIN PERU S.A.. "Tercer ITS para la Unidad Minera Las Bambas-IGA0001377", R.D. N° 219-2017-SENACE/DCA, 2020	<1 %
	Publicación	
21	Submitted to Universidad Ricardo Palma	<1 %
	Trabajo del estudiante	
22	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru	<1 %
	Trabajo del estudiante	
23	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru	<1 %
	Trabajo del estudiante	

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 40 words
Excluir bibliografía	Apagado		

DEDICATORIA

Dedico este informe a mi familia por su apoyo incondicional.

Wilder Ardiles Medina

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida y permitirme tener una profesión para desarrollarme como persona en las organizaciones que requieran mis servicios.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial, que me apoyaron contribuyendo en mi formación académica.

El Autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ABREVIATURAS	x
RESUMEN EJECUTIVO	xi
EXECUTIVE SUMMARY	xii
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA	3
1.1 DATOS GENERALES DE LA INSTITUCIÓN	3
1.1.1 Resumen del proceso	3
1.1.2 Excelencia Operativa	4
1.2 PLANTA CONCENTRADORA.....	5
1.2.1 Áreas de la Planta Concentradora.....	5
1.2.2 Recuperación de Mineral Grueso	5
1.2.3 Molienda.....	6
1.2.4 Chancado de Material Sobredimensionado	7
1.2.5 Flotación y Remolienda.....	7
1.2.6 Espesamiento del concentrado.....	9
1.3 INSTALACIONES DE MINA.....	9
1.3.1 Perforación.....	9
1.3.2 Voladura.....	10
1.3.3 Carguío	10
1.3.4 Acarreo	10
1.3.5 Servicios Auxiliares	10
1.4 BREVE RESEÑA HISTÓRICA	10
1.5 ORGANIGRAMA DE MANTENIMIENTO MINA.....	11
1.6 VISIÓN, MISIÓN Y VALORES.....	12
1.6.1 Visión.....	12
1.6.2 Misión.....	12
1.6.3 Valores	12
1.7 BASES LEGALES O DOCUMENTOS ADMINISTRATIVOS	13
1.8 DESCRIPCIÓN DEL CARGO Y RESPONSABILIDADES	13
1.8.1 Competencias del Puesto	14
1.8.2 Responsabilidades HSEC	15

1.8.3	Responsabilidades de la posición	16
CAPÍTULO II ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES... 17		
2.1	ANTECEDENTES O DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN.....	17
2.2	IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDAD.....	21
2.3	OBJETIVOS	22
2.3.1	Objetivo General.....	22
2.3.2	Objetivos Específicos	22
2.4	JUSTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL	22
2.5	RESULTADOS ESPERADOS.....	23
2.5.1	Resultado Esperado General.....	23
2.5.2	Resultados Esperados Específicos	23
CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO..... 24		
3.1	EL MANTENIMIENTO Y SU EVOLUCIÓN	24
3.1.1	Mantenimiento Preventivo.....	25
3.1.2	Mantenimiento Predictivo o Basado en Condición	25
3.1.3	Mantenimiento Correctivo.....	26
3.2	ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	26
3.2.1	Estrategias centradas en el activo	26
3.3	ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ.....	26
3.3.1	Herramientas usadas en el Análisis de Causa Raíz.....	26
3.3.2	Análisis de Árbol de Fallas.....	27
3.3.3	Diagrama de Ishikawa	27
3.3.4	5 Porque's	27
3.4	HERRAMIENTAS DE PRIORIZACIÓN	27
3.4.1	Histogramas de Pareto	27
3.4.2	Diagramas Jack-Knife	28
3.4.3	Diagrama de Dispersión de Costos.....	29
3.5	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	30
CAPÍTULO IV DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES..... 32		
4.1	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES	32
4.1.1	Enfoque de las actividades profesionales	32
4.1.2	Alcance de las actividades profesionales.....	32
4.1.3	Entregables de las actividades profesionales	32
4.2	ASPECTOS TÉCNICOS DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL	32

4.2.1	Metodología aplicada en el desarrollo de la solución.....	32
4.2.2	Análisis de Falla del Componente (CFA)	32
4.2.3	Investigación de la Causa Raíz (RCI).....	33
4.2.4	Análisis de la Falla Causa Raíz (RCFA).....	33
4.2.5	Análisis de Causa Raíz (RCA).	33
4.3	BENEFICIOS DEL USO DEL ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ.....	33
4.4	METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ EN COMPONENTES MECÁNICOS	34
4.5	METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE PRIORIZACIÓN.....	34
CAPÍTULO V ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN		35
5.1	IDENTIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS	35
5.2	ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN	35
5.3	DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....	35
5.3.1	Prototipo modelado.....	35
5.4	CONSTRUCCIÓN.....	39
CAPÍTULO VI RESULTADOS.....		43
6.1	LOGROS ALCANZADOS	43
6.2	DIFICULTADES ENCONTRADAS	43
6.3	PLANTEAMIENTO DE MEJORA.....	44
6.4	APORTE DEL BACHILLER	44
6.5	ACCIONES IMPLEMENTADAS PARA LA MEJORA.....	44
CONCLUSIONES		46
RECOMENDACIONES		47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		48
ANEXOS.....		50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Descripción General del puesto	13
Tabla 2.	Competencias del Puesto – Supervisor Senior	14
Tabla 3.	Responsabilidades HSEC – Supervisor Senior.....	15
Tabla 4.	Responsabilidades de la Posición – Supervisor Senior	16
Tabla 5.	Percepción de los beneficios del Análisis de Causa Raíz	33
Tabla 6.	Tiempo de inactividad por sistema Julio	36
Tabla 7.	Modo de Falla Final.....	37
Tabla 8.	Tiempo de inactividad por sub-sistema Chasis.....	38
Tabla 9.	Tiempo de inactividad por sub-sistema Motor Diésel	38
Tabla 10.	Frecuencia de fallas y tiempo promedio entre reparaciones Julio	38
Tabla 11.	Reporte de mantenimiento mensual.....	40
Tabla 12.	Tiempo de inactividad por sistema periodo de enero-Julio	41
Tabla 13.	Frecuencia de fallas y tiempo promedio entre reparaciones Julio	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama esquemático de ubicación geográfica.	4
Figura 2.	Diagrama esquemático de proceso productivo.	4
Figura 3.	Diagrama esquemático de las áreas de mineral grueso y Molienda.	6
Figura 4.	Diagrama esquemático de las áreas de mineral grueso y Molienda.	9
Figura 5.	Organigrama de Mantenimiento Mina.....	12
Figura 6.	Recursos Minerales y Reservas Minerales.	18
Figura 7.	Aplicación de Histograma de Pareto.	28
Figura 8.	Clasificación de Diagrama Jack-Knife.	29
Figura 9.	Ejemplo de Diagrama Jack-Knife.....	29
Figura 10.	Histograma de tiempo de actividades por Sistema Julio.	37
Figura 11.	Diagrama Jack-Knife mes Julio.....	39
Figura 12.	Diagrama Jack-Knife mes Julio.....	39
Figura 13.	Histograma de tiempo de actividades por Sistema Enero Julio.	41
Figura 14.	Diagrama Jack-Knife enero – Julio.	42

ABREVIATURAS

Cat 797F	Modelo de camión Caterpillar
MMG	Minerals and Metals Group
7000TPD	Planta Concentradora se procesa 7000 toneladas por día
3268TPH	3268 Tonelada por hora
SAG	Modelo de Molino
m/seg	metro por segundo
EGL	Longitud efectiva de trituración
kW	kilowatts
MP-1000	Chancador de cono (chancadora de cono Nordberg)
ISA	International Standard Atmosphere
P80	Tamaño correspondiente al 80% del pasante acumulado en los finos del último ciclo
GPS	Global Posicion Navegeitor
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
USD	dólar estadounidense
MEIA	Modificatoria de un Estudio de Impacto Ambiental
D.S.	Decreto Supremo
HSEC	Sistema de Gestión de Salud, Seguridad, medio Ambiente y Comunidad COVID-19 Enfermedad respiratoria muy contagiosa causada por el virus SARS-CoV-2. TRIF. Frecuencia Total de Lesiones Registrables
TPM.	Mantenimiento Productivo Total
ACR	Análisis Causal Raíz
JDK	Diagrama Jack-Knife
MTTR	Tiempo Medio Para Reparaciones
CFA	Análisis de Falla de Componente

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se enfoca en la evaluación de las herramientas de gestión en las estrategias de mantenimiento del sistema de camiones Cat 797F. Durante el primer semestre de 2021, se recopilaron datos y se llevaron a cabo análisis exhaustivos para lograr una comprensión más profunda de los desafíos y oportunidades relacionados con el mantenimiento de estos equipos.

La metodología permitió recopilar datos relacionados con el rendimiento, mantenimiento y fallos de los camiones Cat 797F, centrándonos en el sistema de tren de mando y el sistema de motor diésel. Se aplicó el análisis Jack Knife para identificar las causas de las fallas críticas y su impacto en el tiempo de inactividad de los camiones. Se evaluaron las estrategias de mantenimiento existentes para identificar oportunidades de mejoras utilizando el análisis de Pareto para priorizar los principales factores que contribuyen a las fallas en los equipos y proponer una estrategia de mantenimiento basada en la condición de los equipos, lo que permitió adaptar las acciones correctivas y preventivas según las necesidades y el estado actual de los equipos.

Los análisis y la evaluación realizados proporcionaron resultados claves en esta investigación, confirmando que el sistema de tren de mando y el sistema de motor diésel tienen un impacto sustancial en la disponibilidad de los camiones Cat 797F. El Análisis Jack Knife se destacó como una herramienta efectiva para identificar las causas raíz de las fallas y su impacto en el tiempo de inactividad. La estrategia de mantenimiento basada en la condición de los equipos se consideró fundamental para abordar de manera más efectiva las necesidades de mantenimiento.

Las conclusiones del informe destacan la importancia crítica del sistema de tren de mando y el sistema de motor diésel en la disponibilidad de los camiones Cat 797F. Estos componentes han demostrado tener un impacto sustancial en el tiempo de inactividad de los equipos, utilizando el Análisis de Causa Raíz para identificar medidas correctivas y preventivas efectivas. Al considerar el rendimiento general de los equipos en la empresa, se evitan enfoques aislados que no abordan los efectos interconectados, lo que conduce a una mejor asignación de recursos y reducción de costos de mantenimiento. Por ello es necesario asignar recursos y esfuerzos adicionales para abordar las principales causas de fallas en este sistema, lo que mejorará directamente la eficiencia y productividad de nuestras operaciones.

Palabras clave: Herramientas de gestión; mantenimiento.

EXECUTIVE SUMMARY

The present research focuses on the evaluation of management tools in the maintenance strategies of the Cat 797F truck system. During the first half of 2021, data was collected, and in-depth analysis was conducted to gain a deeper understanding of the challenges and opportunities related to the maintenance of this equipment.

The methodology allowed for the collection of data related to the performance, maintenance, and failures of Cat 797F trucks, focusing on the drivetrain system and diesel engine system. Jack Knife analysis was applied to identify the causes of critical failures and their impact on truck downtime. Existing maintenance strategies were evaluated to identify improvements, using Pareto analysis to prioritize the main factors contributing to equipment failures and propose a maintenance strategy based on the condition of the equipment, which allowed tailoring corrective and preventive actions according to the needs and current condition of the equipment.

The analysis and evaluation performed provided key results in this research, confirming that the drive train system and diesel engine system have a substantial impact on the availability of Cat 797F trucks. Jack Knife Analysis was highlighted as an effective tool to identify the root causes of failures and their impacts on downtime. The equipment condition-based maintenance strategy was considered critical to address maintenance needs more effectively.

The report findings highlight the critical importance of the drive train system and diesel engine system in the availability of Cat 797F trucks. These components have been shown to have a substantial impact on equipment downtime, with Root Cause Analysis to identify effective corrective and preventative measures. By considering overall equipment performance across the enterprise, isolated approaches that do not address interconnected effects are avoided, leading to better resource allocation and reduced maintenance costs. Thus, additional resources and efforts should be allocated to address the main causes of failures in this system, which will directly improve the efficiency and productivity of our operations.

Keywords: Management tools; maintenance.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es un componente esencial en la operación eficiente de cualquier organización que dependa de activos físicos, ya sean maquinaria industrial, infraestructura, vehículos o cualquier otro tipo de equipo. Para garantizar la disponibilidad, confiabilidad y durabilidad de estos activos, es fundamental implementar una estrategia de mantenimiento efectiva. En este contexto, la gestión del mantenimiento desempeña un papel crítico, y para llevarla a cabo de manera eficiente, se recurre a una variedad de herramientas y enfoques que han evolucionado con el tiempo.

El análisis Jack-Knife y el Análisis de Causa Raíz son herramientas de priorización complementarias usadas por preferencia para poder determinar los aspectos asociados a las fallas recurrentes en -un equipo, frente a ello los camiones CAT797F han presentado problemas debido a los trabajos imprevistos que afectan la disponibilidad del equipo siendo necesario adoptar medidas que permiten mantener un enfoque de mejora continua, es por ello que el presente trabajo de investigación brinda una solución utilizando las herramientas de priorización según los objetivos propuestos.

A lo largo de esta exploración, abordaremos las herramientas de gestión, destacando cómo su integración efectiva en los procesos de mantenimiento puede contribuir a una mayor eficiencia operativa, un mejor control de costos y, en última instancia, un aumento de la competitividad en el mercado.

A medida que avanzamos en este análisis, descubriremos cómo las herramientas de gestión aplicadas al mantenimiento no solo son cruciales para prolongar la vida útil de los activos, sino también para garantizar la seguridad de los trabajadores y la satisfacción de los clientes. En un mundo en constante evolución, donde la tecnología juega un papel cada vez más relevante, la gestión del mantenimiento se convierte en un campo en constante desarrollo que requiere adaptación y actualización continua.

La elección de la metodología de gestión del mantenimiento depende de varios factores, incluyendo el tipo de activos que se deben mantener, los recursos disponibles, las metas de la organización y las limitaciones presupuestarias.

La metodología de mantenimiento preventivo se basa en la realización de tareas de mantenimiento programadas en intervalos regulares, independientemente del estado de los activos. El mantenimiento preventivo es adecuado para activos cuya degradación es predecible y puede ser controlada mediante la sustitución o el ajuste periódico de componentes, en cambio el mantenimiento predictivo se enfoca en la supervisión continua de las condiciones de los activos mediante sensores y técnicas de análisis de datos. Las tareas de mantenimiento se realizan solo cuando los datos indican que es necesario, lo que minimiza el mantenimiento innecesario y reduce los costos; sin embargo, el

mantenimiento correctivo implica reparar activos solo cuando fallan. A menudo se utiliza en situaciones de recursos limitados o cuando los activos no son críticos.

La elección de la metodología de gestión del mantenimiento y la aplicación de un enfoque específico se realizan con el propósito de lograr varios objetivos fundamentales en una organización. Aquí se explican las razones por las que se emplean estas metodologías y los propósitos que se buscan alcanzar, como la optimización de recursos, minimización de fallas, seguridad, cumplimiento normativo, reducción de costos y mejora de la seguridad para garantizar que los activos sean seguros para operar, reduciendo los riesgos para los trabajadores y minimizando accidentes.

En el Capítulo I, se consideran aspectos generales de la empresa y/o Institución, se realizó la descripción de la organización, un resumen de su proceso productivo y su filosofía de operación, describiendo detalladamente sus unidades operativas más importantes como la planta concentradora y las instalaciones de mina. Finalmente, se presenta el organigrama de la organización, su visión, misión y valores.

En el Capítulo II, se consideran aspectos generales de las actividades profesionales, se explicaron los antecedentes y la situación actual, se identificaron las oportunidades en la organización y los objetivos de la actividad profesional. Finalmente se describen los resultados esperados generales y específicos a alcanzar.

En el Capítulo III, se desarrolla el marco teórico. Se explicaron los conceptos básicos del mantenimiento, las estrategias y técnicas requeridas para el presente estudio, como el análisis de causa raíz y herramientas de priorización, como los histogramas de Pareto y el Análisis Jack Knif.

En el Capítulo IV, se hace la descripción de las actividades profesionales, se exponen los esfuerzos a los cuales va dirigido la actividad profesional, alcances y entregables esperados. Adicionalmente se explica la metodología necesaria para conseguir los resultados esperados.

En el Capítulo V, se hace el análisis y diseño de la solución, se muestra el análisis realizado durante el periodo tomado para la elaboración del informe.

Finalmente, en el Capítulo VI, se da a conocer los resultados, se exponen los logros alcanzados y las dificultades encontradas durante la ejecución del presente informe.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA

1.1 DATOS GENERALES DE LA INSTITUCIÓN

1.1.1 Resumen del proceso

Las Bambas es una de las minas de cobre más grandes del mundo. La operación empezó en el año 2016, se ubica a más de 4,000 m.s.n.m., entre las provincias de Grau y Cotabambas en el sur de Perú a unos 75 km al suroeste del Cusco, a 300 km al norte- noroeste de Arequipa y 214 km de la Ciudad de Cusco. Se accede desde el Cusco en los actuales caminos rurales (214 km). También está conectado a Arequipa por sus respectivas rutas rurales, grava y pavimentadas (508 km total). Esta última ruta permite ir hacia el puerto de Matarani. El proyecto extrae y procesa, mediante una nueva planta concentradora de 140 000 toneladas diarias de mineral promedio, la cual está compuesta básicamente por un circuito de molienda (2 molinos SAG y 2 molinos de bolas), un circuito de flotación (28 celdas rougher scavenger), un circuito de remolienda (3 molinos ISA Mills) y recupera un concentrado de cobre que será transportado por camión hasta Pillones, y desde ese punto, vía ferrocarril, hasta el puerto de Matarani, para luego ser embarcado a las fundiciones. El concentrado es dirigido a la planta de molibdeno en donde se separa el molibdeno del concentrado. El molibdeno pasa por una etapa de secado y el concentrado se traslada a la planta de filtrado. Así se obtiene el material final que será transportado a su destino. Los relaves de flotación serán espesados y depositados en la presa de relaves. La capacidad de producción nominal del concentrador es de 140 000 toneladas de mineral por día. La etapa de producción comercial se inició el 1 de julio del 2016, cuando se alcanzó la capacidad de procesamiento nominal de 140 000 toneladas de mineral por día, contando con más de 8 000 empleados y contratistas, de los cuales el 17 % corresponde a pobladores locales, Las Bambas fue el primer proyecto minero que implementó un modelo de desarrollo sostenible promovido por el estado peruano.

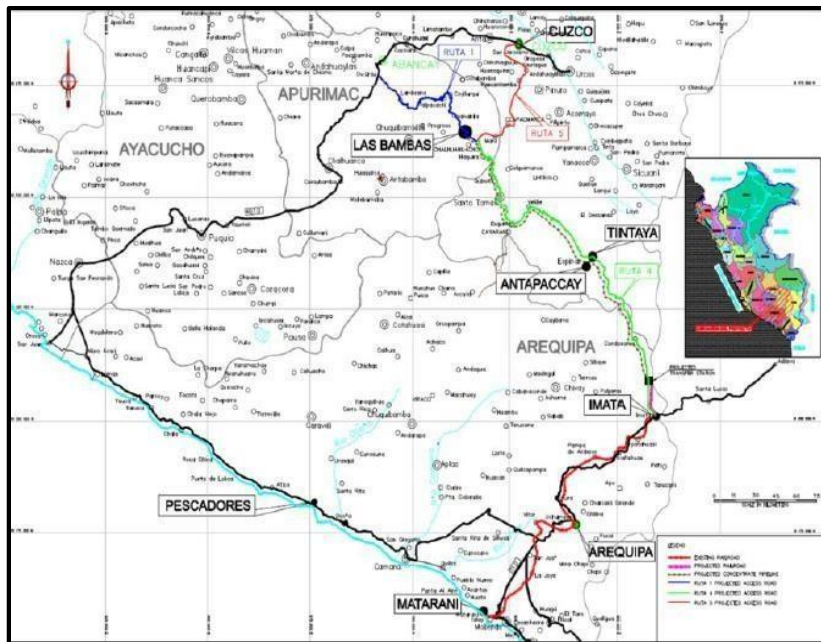


Figura 1. Diagrama esquemático de ubicación geográfica.
Nota: Tomado de Memoria Descriptiva Las Bambas Rev.1. (1).

1.1.2 Excelencia Operativa

Las Bambas es una operación moderna, eficiente y de altos estándares. Se alcanzó el nivel de producción comercial en julio de 2016. La producción anual y la calidad del concentrado en el año 2016 fueron muy positivas pues incluso superaron el rango de los estimados de MMG para el primer año de operación. La sólida producción ayudó al Perú a ubicarse como segundo productor de cobre en 2016. Su proceso productivo está conformado por:



Figura 2. Diagrama esquemático de proceso productivo.
Nota: Tomado de Informe de Sostenibilidad 2016 Las Bambas (2).

Las Bambas posee 3 yacimientos principales: Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba, que en conjunto poseen reservas minerales de 7.2 millones de toneladas de cobre y recursos minerales de 12.6 millones de toneladas, actualmente se encuentra en explotación Ferrobamba y se espera producir más de dos millones de toneladas de cobre en concentrado en los primeros cinco años de funcionamiento, siendo el tiempo de vida estimado de la mina de 18 años con un considerable potencial de exploración.

1.2 PLANTA CONCENTRADORA

La concentradora tiene tres funciones principales: preparar el mineral para su concentración, separar el mineral de la ganga y disponer de los productos del proceso, como los relaves y concentrados.

1.2.1 Áreas de la Planta Concentradora

La planta concentradora se subdivide en las siguientes áreas:

- Área 0240: Recuperación de Mineral Grueso.
- Área 0310: Molienda.
- Área 0320: Chancado de Material Sobredimensionado.
- Área 0330: Flotación y Remolienda.
- Área 0340: Espesamiento del concentrado.
- Área 0391: Preparación y Manejo de Cal.
- Área 0392: Preparación de Otros Reactivos.
- Área 0393: Planta de Compresores de Aire.
- Área 0410: Recepción de Concentrado.
- Área 0430: Almacenamiento de Relaves.
- Área 0510: Espesamiento de Relaves.

1.2.2 Recuperación de Mineral Grueso

El sistema de recuperación de mineral grueso consiste en dos líneas paralelas de cuatro (4) alimentadores de orugas en línea (uno por la línea de molienda) de velocidad variable. Estos alimentadores miden 1 524 mm (1.52 m) x 9.4 metros de largo y tienen una capacidad máxima de 1,279 t/hora. Estos equipos permitirán retirar material de la pila de acopio para su transporte a la faja de alimentación del molino SAG. Tres de los alimentadores tienen la capacidad de lograr un rendimiento de diseño de 70,000 t/día por línea mientras que el cuarto alimentador esté disponible para mantenimiento. Cada línea de molienda recibirá 3,268 TPH de mineral fresco a través de una faja de alimentación del molino SAG de 1 829 mm (1.8 m) x 254 m, con una altura de alzamiento de 6.5 m. Los alimentadores de oruga están ubicados directamente encima de las fajas de alimentación

del molino SAG y en línea con estas. Estas fajas operan con una velocidad ajustable (velocidad máxima de 3.5m/seg) y tienen incorporada una balanza con el fin de poder controlar de manera automatizada la tasa de velocidad de alimentación de los alimentadores de velocidad variable. Los guijarros triturados provenientes del circuito de chancado de guijarros (pebbles), tal como se describe en la instalación, son devueltos a la faja de alimentación del molino SAG luego de la balanza. Las bolas para molienda del alimentador de bolas del molino SAG se añaden a la faja de alimentación del molino SAG después de la balanza.

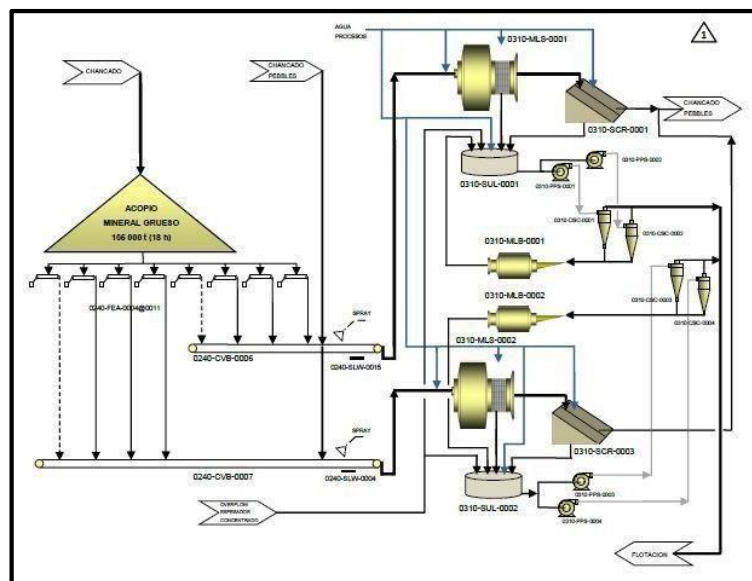


Figura 3. Diagrama esquemático de las áreas de mineral grueso y Molienda.

Nota: Tomado de Memoria Descriptiva Las Bambas Rev.1 (1).

1.2.3 Molienda

El circuito de molienda consiste en dos molinos semi autógenos (SAG) con una longitud efectiva de trituración (EGL) de 12.2 m (40 pies) de diámetro x 6.7 m (22 pies), impulsados por un accionamiento sin engranaje de 24 000 kW, y dos molinos de bola con una EGL de 7.92 m (26 pies) de diámetro x 12.2 m (40 pies) de largo, impulsados a su vez por un accionamiento sin engranaje de 16 400 kW.

Cada faja de alimentación del molino SAG descarga material en el chute retractil de alimentación del molino, donde se añade agua de proceso, cal y el colector. El molino SAG descarga material a través de un pequeño trómel tamizador para una zaranda vibratoria de dos bandejas. Se cuenta con una zaranda vibratoria auxiliar rodante para un recambio rápido, con el fin de minimizar el tiempo de parada de la planta debido a requerimientos de mantenimiento de la zaranda. Se aplica agua de lavado al trómel y la zaranda vibratoria para limpiar los guijarros enviados a circuito de chancado. Los guijarros lavados de la zaranda vibratoria caen en la primera faja transportadora de transferencia que los conducirá a la pila de almacenamiento de guijarros. El subamaño del trómel

de descarga y zaranda vibratoria del molino SAG, fluye hacia el sumidero de alimentación del ciclón a través de la canaleta, donde se combina con el material descargado del molino de bolas. Se utilizan cuatro bombas de alimentación operativas para ciclones para alimentar cuatro grupos de ciclones, dos para cada molino de bolas que consta de 12 ciclones (10 en operación, 2 en stand-by) de 838 mm (0.8 m) de diámetro (más una salida para el sistema de muestreo y una brida ciega por grupo). El sumidero está en posición elevada y cuenta con una válvula de descarga automatizada, la cual se abre de manera automática en caso de corte de energía en la planta, con el fin de eliminar el asentamiento de sólidos. Las bombas de alimentación de los ciclones están equipadas con accionamientos de velocidades variables para controlar el nivel de la pulpa y se utiliza agua de dilución del sumidero para controlar la densidad de la pulpa.

1.2.4 Chancado de Material Sobredimensionado

Los guijarros (pebbles) (+13 mm) son separados de la descarga del molino SAG mediante un trómel de 6.2 m de diámetro y 4.0 de longitud y una zaranda vibratoria de dos bandejas de 3.7 m x 7.3 m de largo. Posteriormente, estos son transportados a una instalación de chancado de guijarros que consiste en una pila de acopio con capacidad útil de 1,740 toneladas y tres fajas transportadoras / alimentadoras que alimentan cada una de las tres chancadoras de cabeza corta de 750 kW.

El material sobredimensionado del molino SAG se descarga de la zaranda vibratoria al sistema transportador de guijarros. Se utilizan dos balanzas en la primera faja transportadora para medir la tasa de producción de guijarros del molino SAG. Asimismo, hay dos imanes instalados a lo largo de la primera faja transportadora de guijarros. Un tercer imán está ubicado en la salida de la faja transportadora. Una segunda faja transportadora descarga material en una pila de acopio abierta. Tres fajas de alimentación de la chancadora de guijarros son alimentadas por medio de alimentadores tipo “sombrero mexicano”. Cada faja de alimentación de la chancadora de guijarros es también un detector de metales a la salida de la faja de alimentación, ya que se activará un chute de derivación alrededor de la chancadora de guijarros con el fin de desviar metales no deseados de la chancadora.

Tres chancadoras de guijarros del tipo MP-1000 son alimentadas de guijarros mediante fajas de alimentación de velocidad variable. El nivel del cajón de alimentación de la chancadora de guijarros se utilizará para controlar la tasa de alimentación hacia las chancadoras, con el fin de garantizar que operen siempre “llenas” en todo momento. El producto de las chancadoras de guijarros cae en las fajas transportadoras de productos provenientes de las chancadoras de guijarros. Estas fajas transportan el material hacia la tolva de la torre de transferencia No. 2 que distribuye los guijarros triturados a los dos circuitos de los molinos SAG.

1.2.5 Flotación y Remolienda

Cada corriente de rebose (overflow) proveniente de los ciclones fluye a través de un cajón colector antes del muestreador estático, está equipado con cortadores de muestras para obtener

muestras individuales de la corriente. El objetivo es analizar el tamaño de los materiales antes de que se combinen y generar una muestra de la alimentación de la flotación. Esta muestra se genera de manera automatizada con el fin de crear muestras compuestas sistemáticas para el análisis químico, así como para alimentar un analizador en línea para el reporte en línea de los ensayos sólidos.

Se utiliza un distribuidor por gravedad de cuatro (4) vías con alimentación superior para alimentar ya sea la primera o segunda celda rougher en cada una de las cuatro filas de las celdas de flotación rougher (desbastado) – scavenger (barrido). Se proporciona un total de 28 celdas de flotación rougher y scavenger de 257 m³, dispuestas en cuatro (4) filas de siete (7) celdas. Las primeras dos celdas en cada fila se utilizarán solo como celdas rougher, la tercera y cuarta celda en cada fila como celda rougher o scavenger y las tres celdas restantes en cada fila como celdas scavenger. Todas las celdas de flotación son autoaspirantes y están propulsadas cada una por un motor de 300 kW.

La alimentación del rougher puede ser enviada ya sea a la primera o segunda celda en cada fila de celdas, con el objetivo de permitir que la fila de celdas siga operativa mientras se retire la primera celda para su mantenimiento. El diseño permite la instalación de líneas de desvío alrededor de cada celda cuando una de estas necesite ser retirada de la línea para su mantenimiento.

El circuito rougher-scavenger produce dos concentrados separados. Se espera obtener un concentrado rougher bien liberado y de ley alta de las primeras dos celdas y un concentrado scavenger de menor ley de las siguiente cinco. El concentrado rougher de cada fila de celdas se mantiene separado y fluye por gravedad al tanque de alimentación de la remolienda del concentrado rougher de 457 m³ de capacidad (con agitador). Se puede añadir lechada de cal a este tanque. El concentrado rougher combinado es bombeado al grupo de ciclones de remolienda de concentrados rougher. La descarga (underflow) de los grupos de ciclones de remolienda del concentrado rougher fluyen por gravedad al tanque de alimentación del molino de remolienda. Posteriormente, son bombeados al molino de remolienda de concentrados rougher por medio de bombas de alimentación de velocidad variable. El circuito de remolienda del concentrado rougher incluye un molino ISA, modelo M3000, con un circuito abierto de 1 500 kW, en donde los concentrados son reducidos a un P80 de 65 micrones, objetivo nominal. Este tanque colector tiene el tamaño suficiente para acoger un incremento en la tasa de producción de concentrado mediante un tiempo de permanencia en la pulpa relativamente extenso de 20 minutos. El producto del molino de remolienda del concentrado rougher fluye al sumidero del producto del molino de remolienda del concentrado rougher donde se combina con la corriente overflow de los ciclones de remolienda de concentrado rougher. A partir de aquí, se bombea el producto hacia las segundas celdas de flotación de limpieza (cleaners) por medio de bombas con accionamiento de velocidad variable para el producto de remolienda del concentrado rougher.

1.2.6 Espesamiento del concentrado

El concentrado de las terceras celdas de flotación de limpieza fluye por gravedad al cajón de alimentación del espesador de concentrado de 60 m de diámetros. El rebose (overflow) del espesador de concentrado fluye por gravedad al tanque de recuperación de agua. La descarga (underflow) del espesador con 62 % de sólidos por masa se bombea mediante las bombas del underflow del espesador de concentrado con velocidad variable hacia los tanques de almacenamiento de concentrado.

1.3 INSTALACIONES DE MINA

El proceso de mina comprende las actividades de perforación, voladura, carguío, acarreo y servicios auxiliares, tal como se muestra en diagrama operativo.

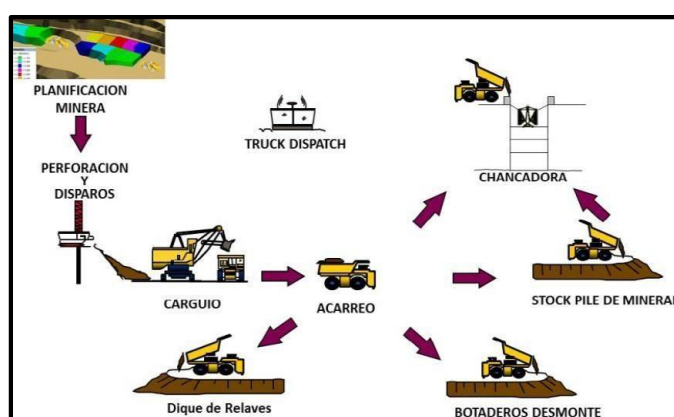


Figura 4. Diagrama esquemático de las áreas de mineral grueso y Molienda.

Nota: Tomado de Memoria Descriptiva Las Bambas Rev.1 (1).

1.3.1 Perforación

La perforación es la primera operación minera que se efectúa en la preparación de una voladura, sin una perforación adecuada y ordenada la voladura sería deficiente, lo que conllevaría a una baja eficiencia en el carguío del material impactando directamente en la producción de la mina. En el caso de las Bambas y en general en las minas del tajo abierto, se lleva a cabo una perforación rotativa con brocas tricónicas, esta es efectuada por grandes equipos de perforación capaces de ejercer elevados empujes sobre la broca.

De manera general es importante efectuar esta operación con la mayor exactitud del caso en lo que respecta a profundidad, exactitud en las coordenadas, paralelismo y perpendicularidad estas variables influyen en la obtención de una fragmentación requerida y control en las paredes finales del tajo. Se utilizan equipos eléctricos y diésel.

1.3.2 Voladura

La voladura es la parte más importante de las actividades del ciclo de minado ya que no solo permite obtener material fracturado y apilado de manera adecuada, sino que con ella debemos lograr una alta eficiencia en el ciclo en conjunto (Carguío, transporte y tratamiento metalúrgico), con el fin de no dañar las estructuras y mantener costos mínimos. Se utilizan anfo, heavy anfo como material explosivo dependiendo de la dureza de la roca.

1.3.3 Carguío

Una de las actividades de mayor importancia en el ciclo de minado es el carguío, el cual consiste en el recojo del material ya fragmentado para depositarlo seguidamente en los volquetes quienes lo llevarán a distintos destinos considerando si se trata de mineral, lixiviable o desmonte.

El área de carguío de los volquetes en la pala y cargadores, generalmente, es una zona de concentración de equipos: volquetes en espera, equipos de limpieza, vehículos livianos, por lo tanto, se requiere de una operación metódica que involucre el más alto nivel de comunicación y Basados en la altura de banco propuesta para el diseño de los tajos (15 metros) y en concordancia con el nivel de productividad esperada, se consideró usar palas eléctricas, palas hidráulicas y cargador frontales.

1.3.4 Acarreo

En nuestra operación minera a gran escala, actualmente se utilizan volquetes Komatsu 930E con capacidad de 300 toneladas para el acarreo. Siendo el sistema de transporte el más costoso e importante del proceso productivo, se justifica el uso de tecnología avanzada, tales como el sistema el sistema GPS y la gestión del sistema de transporte (Dispatch) con ayuda de computadoras, en Las Bambas el transporte del material fragmentado es realizado básicamente por un sistema de transporte directo que realiza el acarreo de material de desmonte por los volquetes hacia los botadero y dique de relaves y transporte de mineral hacia la chancadora primaria y/o stockpile de mineral.

1.3.5 Servicios Auxiliares

En toda operación minera, el equipo auxiliar cumple un papel fundamental en la preservación de áreas de carguío y de descarga, así como también en el mantenimiento de carreteras y cuidado de llantas. En la mina Las Bambas, contamos con el siguiente equipo auxiliar: tractor de orugas, motoniveladoras, tractor de ruedas, camión aguatero.

1.4 BREVE RESEÑA HISTÓRICA

A continuación, se mostrará una breve reseña del proyecto las bambas:

- **2004:** Xstrata Copper adquiere el derecho para explorar Las Bambas a través de una licitación pública internacional.

- **2008:** Se completa la exploración de 306,908 metros de perforación acumulados.
- **2009:** Se concluye el Estudio de Factibilidad.
- **2010:** Se realiza la audiencia pública del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) en Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, Región Apurímac. Se suscribe el contrato de transferencia de titularidad de las concesiones mineras de Las Bambas con el Estado, con una inversión de USD 4,200 millones.
- **2011:** El estado aprueba el EIA, luego de un amplio proceso de participación ciudadana. Se informa el incremento del recurso mineral de Las Bambas en 10 %, equivalente a 1.710 millones de toneladas con una ley de cobre de 0,60 %.
- **2012:** Se desarrolla la ingeniería de caminos y componentes principales para el arranque de la futura operación. Se inicia el mejoramiento de la carretera Las Bambas - Espinar. Se tiene comprometido más del 60 % de la inversión en construcción.
- **2013:** Glencore se convierte en propietaria de Las Bambas en el marco de la adquisición de Xstrata. Avance del 65 % de los caminos pioneros, 40 % de la planta concentradora y 95 % del mejoramiento de la carretera Las Bambas - Espinar.
- **2014:** Se presenta la modificación del EIA para permitir el transporte de cobre por carretera. El consorcio compuesto por MMG Limited, Guoxin International Investment Co. Ltd. y CITIC Metal Co. Ltd. adquiere Las Bambas. Se concreta e inicia el reasentamiento físico de la comunidad de Fuerabamba.
- **2015:** Se logra la primera producción de concentrado de cobre como parte de las actividades de comisionamiento. Se llevan a cabo las etapas de comisionamiento e incremento gradual de la producción para alcanzar el nivel de producción plena.
- **2016:** Se realiza el primer embarque de concentrado. Se inicia la operación comercial.
- **2017:** Primer año completo de producción comercial. Producción supera 450 mil toneladas de cobre en concentrado.
- **2018:** Presentación y aprobación de la tercera MEIA. Inicio de estudios exploratorios en la zona oeste de la concesión.

1.5 ORGANIGRAMA DE MANTENIMIENTO MINA

A continuación, se mostrará una breve reseña del proyecto las bambas:

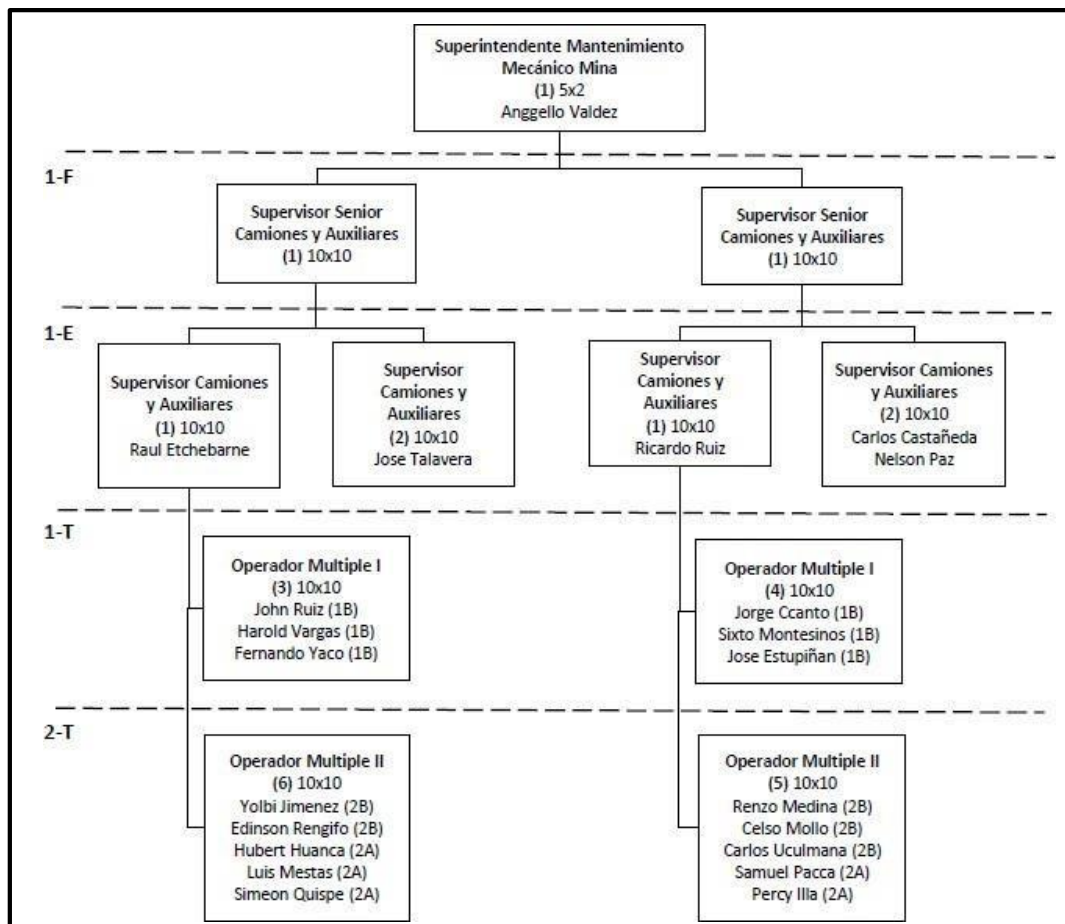


Figura 5. Organigrama de Mantenimiento Mina.

Nota: Tomado de Elaboración propia 2021.

1.6 VISION, MISIÓN Y VALORES

1.6.1 Visión

Construir la empresa diversificada de metales base más respetada a nivel mundial.

1.6.2 Misión

Hacemos minería con el fin de generar riqueza para nuestra gente, las comunidades en las que desarrollamos nuestras operaciones.

1.6.3 Valores

- Pensamos en la seguridad, ante todo.
- Nos respetamos los unos a los otros.
- Trabajamos juntos.
- Nuestras palabras se traducen en hechos
- Queremos ser mejores

1.7 BASES LEGALES O DOCUMENTOS ADMINISTRATIVOS

Decreto Supremo D.S. N° 024-2016 EM y su modificatoria por D.S. N° 023- 2017 EM.

1.8 DESCRIPCIÓN DEL CARGO Y RESPONSABILIDADES

Tabla 1.

Descripción General del puesto

Posición	Supervisor Senior
Gerencia	Mantenimiento Mina

Nota: Elaboración Propia, 2021, Ardiles W.

El objetivo principal de la posición es cumplir y hacer cumplir las actividades programadas de mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y tomar decisiones frente a eventos correctivos para la flota de camiones y flota auxiliar.

Asegurando la funcionalidad y vida útil de componentes con una información óptima en el sistema SAP; cumpliendo con los compromisos asumidos en los planes de acción del Top Ten de fallas, velando por la optimización de recursos, para asegurar el cumplimiento de los planes de producción, con servicios de calidad al menor coste posible. Mantener un clima de colaboración y armonía a todo nivel de la organización y socios estratégicos manteniendo un ambiente de trabajo saludable y libre de lesiones.

1.8.1 Competencias del Puesto

Tabla 2.

Competencias del Puesto – Supervisor Senior

Competencia		Definición	Nivel (Anexo 4)
Generales	Liderazgo	Impactar e influir en los demás tomando la iniciativa, siendo perseverante, motivando al equipo a través de la confianza y siendo un referente para contribuir al logro de resultados.	3
	Trabajo en Equipo	Disposición a cooperar con los demás de manera coordinada y comprometida respetando diversos puntos de vista, actuando con responsabilidad y asegurando la calidad para contribuir al logro de los objetivos.	3
	Comunicación	Transmitir mensajes de forma clara y oportuna generando confianza a todo nivel organizacional para contribuir al alineamiento y credibilidad de los colaboradores.	3
	Integridad	Ser congruente entre lo que se dice y se hace tanto en lo laboral como en lo personal, implica ser honesto y consecuente con los valores y políticas de la empresa.	3
	Orientación a Resultados	Tener claridad y compartir las metas generando compromiso y realizando seguimiento y control, implementando acciones correctivas para asegurar el cumplimiento de los objetivos	4
Rol	Toma de decisiones	Determinar acciones de forma oportuna, con visión de negocio, evaluando los riesgos y asumiendo la responsabilidad del impacto.	2
Adaptabilidad al cambio y trabajo bajo presión	Desarrollo de Personas	Delegar y empoderar a los colaboradores para asumir nuevos retos, dando retroalimentación y fomentando el desarrollo de las capacidades de los colaboradores.	3
	Desarrollo de relaciones y orientación al cliente	Habilidad para generar redes de contacto y desarrollar sinergias, identificando y satisfaciendo con calidad las necesidades de los stake holders, generando valor y consenso en beneficio de la organización.	2
	Planificación y Organización	Capacidad para priorizar acciones, determinando metas, plazos y recursos, implementando mecanismos de monitoreo y control con una visión integral del impacto en el negocio.	3
	Adaptabilidad al cambio y trabajo bajo presión	Predisposición a afrontar retos en diversos contextos y responderá situaciones exigentes y complejas, actuando con autocontrol y manteniendo el foco en el cumplimiento de resultados.	2

Fuente: *Elaboración propia*

1.8.2 Responsabilidades HSEC

Tabla 3.

Responsabilidades HSEC – Supervisor Senior

Objetivo	Plan de Acción	Indicador	Peso
Cumplir con las normas, procedimientos y reglamento interno	Ejecutar las acciones descritas en el plan anual.	Porcentaje de cumplimiento >80%	10%
Cumplir con el EMA y sus recomendaciones.	Asistir a los EMA programados y cumplir con las recomendaciones	Cumplir al 100 % con el EMA y Recomendaciones dentro del plazo de vencimiento individual.	10%
Identificar los aspectos y controles ambientales de las operaciones.	Conocer los aspectos ambientales y controles asociados a sus actividades, así como los Programas de Gestión Ambiental	100 % de cumplimiento del Plan Anual Ambiental	10%
Asegurar su propia competencia y formación ambiental	Participar activamente de las capacitaciones ambientales programadas en su área.	100 % de asistencia a capacitaciones ambientales programadas	10%
Adaptar su comportamiento y actuar correctamente conforme al código de conducta de la empresa y la Política de Comunidades Sostenibles	Participar de charlas programadas sobre la Política de Comunidades Sostenibles de la empresa e informarse mediante todo medio de comunicación desplegado por la empresa.	100 % conocimiento e involucramiento con la cultura de Comunidades Sostenibles (HSEC)	10%

Fuente: Elaboración propia

1.8.3 Responsabilidades de la posición

Tabla 4.

Responsabilidades de la Posición – Supervisor Senior

Objetivo	Plan de Acción	Indicador	Peso
Cumplir con las disponibilidades de confiabilidad proyectadas en las flotas a cargo para el año	Disponibilidad Física y MTBF, Complementar procedimientos y reportabilidad de Top Ten e Implementar estrategia de Análisis Causa-Raíz (RCA).	Desempeño de flota y lograr objetivos de plan estratégico 2021	15%
Supervisar y gestionar el proceso de backlogs, cumplir con el plan semanal, apertura y cierre de órdenes de trabajo en el sistema.	Implementar mecanismos para el abastecimiento oportuno de los Backlogs y Complementar Procedimiento de Administración de Backlogs	Procedimiento/Reportes Definidos, % Backlogs Ejecutados y Completados.	10%
Desarrollar habilidades técnicas del personal a cargo.	Asegurar la asistencia del personal a cargo, y hacer cumplir el Programa de Formación de Especialistas.	24 Técnicos Certificados por CAT/Komatsu.	10%
Optimizar estrategias de Mantenimiento para la flota de camiones. y flota auxiliar	Definir y revisar metodología de evaluación de criticidad de equipos y aplicar Estrategias de Mantenimiento para Flota de Camiones.	Estrategias definidas por criticidad y FMECA.	10%
Cumplir el programa de Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Predictivo.	Hacer cumplir el programa de mantenimiento preventivo y evaluar oportunamente las desviaciones del plan.	Revisión semanal, 2 proyectos de mejora.	5%
Implementar proyectos de mejora.	Desarrollar proyectos de mejora.		

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

2.1 ANTECEDENTES O DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN

La pandemia de COVID-19 ha tenido un impacto significativo en las personas, comunidades y el mundo en general, ya que todos han trabajado para adaptarse a las interrupciones en nuestra vida diaria.

Como empresa, las Bambas ha demostrado la capacidad para activamente gestionar eficazmente los riesgos que presenta este virus. Implementando estrictos protocolos de higiene y salud, respaldados por un vigoroso régimen de pruebas, ha permitido mantener la producción incluso en regiones como Perú donde el impacto de COVID-19 fue particularmente significativo. Si bien el progreso realizado en el desarrollo y distribución de vacunas a nivel mundial es alentador, es probable que los impactos de COVID-19 presenten desafíos continuos en los equipos cercanos.

En 2020, la frecuencia total de lesiones registrables (TRIF) fue de 1,38 por millón de horas trabajadas, lo que representa una disminución del 13 % con respecto al resultado de 2019 de 1,58. Se ve una disminución en la tasa general de lesiones y se continuará dirigiendo un esfuerzo significativo hacia el objetivo de eliminar las lesiones de nuestros lugares de trabajo. Se da prioridad a las investigaciones y el aprendizaje de los eventos, asegurando que los procedimientos sean optimizados para la seguridad de las personas.

En el 2020, las operaciones de MMG produjeron 384,564 toneladas de cobre y 245,097 toneladas de zinc. Las Bambas produjo 311,020 toneladas de cobre en el 2020, un 19 % por debajo del resultado del 2019. Esto fue como resultado de las restricciones de COVID-19 sobre la disponibilidad de la fuerza laboral, requisitos de mantenimiento no planificados y bloqueos por parte de la comunidad, algunos de los cuales afectaron la logística de entrada. Se tiene actualmente retrasos en la obtención de permisos y desarrollo del Tajo de Chalcobamba, y los impactos posteriores de COVID-19 en proyectos de desarrollo impactará la producción de concentrado de cobre en el 2021 con un rango esperado de 310,000 y 330,00 toneladas.

El desarrollo de Chalcobamba, junto con una mayor inversión en la flota minera y la incorporación de un tercer molino de bolas, se prevé que impulse un incremento en la producción anual promedio de cobre, alcanzando aproximadamente las 400,000 toneladas durante los cuatro años siguientes (de 2022 a 2025, inclusive).

MMG tiene un Comité de Recursos Minerales y Reservas Minerales que se reúne regularmente para asistir al Comité de Gobierno y Nominación de MMG y al Consejo de Administración con respecto a la presentación de informes prácticas de la Compañía en relación con Recursos Minerales y Reservas Minerales, y la calidad e integridad de estos informes del Grupo. Actualmente las reservas estimadas de la mina se pueden ver en la imagen mostrada:

DEPOSIT	2020								2019							
	TONNES (MT)	CU (%)	ZN (%)	PB (%)	AG (G/T)	AU (G/T)	MO (PPM)	CO (%)	TONNES (MT)	CU (%)	ZN (%)	PB (%)	AG (G/T)	AU (G/T)	MO (PPM)	CO (%)
LAS BAMBAS (62.5%)																
Ferrobamba Oxide Copper																
Indicated	0.8	1.9							2.1	1.7						
Inferred	0.1	1.8							1.3	1.8						
Total	0.9	1.9							3.4	1.7						
Ferrobamba Primary Copper																
Measured	462	0.61			2.6	0.05	229		553	0.56			2.4	0.05	202	
Indicated	264	0.72			3.2	0.07	201		465	0.58			2.5	0.05	166	
Inferred	115	0.61			2.1	0.04	97		239	0.61			1.3	0.03	79	
Total	840	0.64			2.7	0.05	202		1,257	0.57			2.2	0.04	166	
Ferrobamba Total	841								1,261							
Chalcobamba Oxide Copper																
Indicated	5.6	1.4							6.5	1.4						
Inferred	0.5	1.6							0.5	1.5						
Total	6.1	1.4							7.0	1.4						
Chalcobamba Primary Copper																
Measured	128	0.45			1.3	0.02	161		113	0.44			1.4	0.02	153	
Indicated	206	0.65			2.4	0.03	128		174	0.63			2.4	0.03	131	
Inferred	39	0.61			2.2	0.03	115		38	0.51			1.8	0.02	115	
Total	373	0.58			2.0	0.03	138		325	0.55			2	0.02	137	
Chalcobamba Total	379								332							
Sulfobamba Primary Copper																
Indicated	87	0.66			4.6	0.02	169		98	0.5			5.2	0.02	119	
Inferred	102	0.58			6.4	0.02	119		133	0.55			4.8	0.02	138	
Total	189	0.62			5.6	0.02	142		230	0.55			4.8	0.02	138	
Sulfobamba Total	189								230							
Oxide Copper Stockpile																
Indicated	12.1	1.2							11.4	1.2						
Total	12.1	1.2							11.4	1.2						
Sulphide Stockpile																
Measured	8.1	0.40			1.8		135		9.0	0.46			2.3		151	
Total	8.1	0.40			1.8		135		9.0	0.46			2.3		151	
Las Bambas Total	1,429								1,844							

Figura 6. Recursos Minerales y Reservas Minerales.

Fuente: First Quarter Production Result (2021). (4).

Jhonny Pachao, realizó la investigación titulada “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo programado para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la flota de camiones 797F en el proyecto operaciones Mina Toquepala de la empresa Ferreyros S. A.” el estudio se ejecutó con

la finalidad de mejorar la disponibilidad y confiabilidad operativa de la flota de camiones 797F en el proyecto de operación de mina Toquepala de la empresa Ferreyros S. A., en el que se tomó como base un diagnóstico de la situación actual del mantenimiento en la organización, recopilando información y registros de sus características, averías, indicadores de gestión de mantenimiento que permita controlar el nivel de cumplimiento de los programas que tiene la empresa. Se estableció una muestra que estuvo conformada por los equipos críticos, cabe mencionar que en la investigación se logró caracterizar la gestión actual del mantenimiento, que se llevan a cabo en los talleres de la minera, en el taller de volquetes y taller de flota auxiliar de la minera SPCC. Como parte de su estrategia de mantenimiento (5)

Jaime Coral, realizó la investigación titulada “Simulación del Proceso de Mantenimiento de Camiones 797F en Simulador ARENA para mejora de la Disponibilidad” con la finalidad de determinar en cuanto mejora la disponibilidad de los equipos de la flota de camiones 797F en la operación Las Bambas, optimizando el proceso de mantenimiento mediante la simulación del proceso utilizando el Software Arena, cuya simulación representa mejora de la disponibilidad de 90.5 % a 92.28 %; asimismo, recomienda realizar un estudio del trabajo de los trabajadores para poder terminar funciones probabilísticas de tendencia al aumentar y disminuir personal en una tarea (6)

Oswaldo Reinoso, realizó la investigación titulada “Método de detección de los modos de falla del turbocompresor de los motores ACERT 175 de 20 cilindros baja altitud, para mejorar la disponibilidad de camiones mineros caterpillar 797f de la unidad minera de Toquepala” con la finalidad de Proponer un Método de detección de los modos de falla del turbocompresor de los motores ACERT 175 de 20 cilindros de baja altitud, para mejorar la disponibilidad de camiones mineros Caterpillar 797F, cuya aplicación representa asegurar que los activos continúen cumpliendo las funciones para las cuales fueron diseñados, adelantarnos a las fallas catastróficas y mejorar la disponibilidad de la flota de camiones 797F; asimismo, recomienda prestar el debido cuidado a la descarga y almacenamiento de esta data en la empresa, siendo esta una de las principal deficiencia ya que no se tiene sistematizado el recopilado y almacenamiento de información de los camiones en la unidad minera (7).

José Magan, de acuerdo a su investigación titulada “Análisis de causa raíz para la evaluación de eventos no deseados en las cisternas 8C, 10C y 11C de la flota de camiones de minera Barrick” El empleo de la herramienta de Análisis de Causa Raíz (ACR) implica no solo examinar el equipo en sí, sino también los subsistemas que lo componen y su interacción con el entorno circundante. Se han detectado fallas recurrentes desde marzo de 2017 hasta abril de 2019. A través del ACR, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las fallas funcionales de los equipos, con el objetivo de gestionar las causas subyacentes y mejorar el mantenimiento de los Camiones Cisterna, especialmente los números 8C, 10C y 11C pertenecientes a la Minera Barrick. Una vez identificadas las causas raíz, se propondrán medidas para su control y así reducir la incidencia de fallas en dichos equipos. Se espera que la implementación de estas medidas resulte en ahorros significativos que se materializarán de

forma gradual en los años venideros. Los logros obtenidos incluyen la identificación de las causas raíz mediante el uso de herramientas como el Diagrama de Pareto y el Diagrama de Ishikawa, así como la formulación de propuestas para la mejora continua en el mantenimiento de los equipos mencionados (8).

Michael Iman & Jhon Reque, realizaron una investigación cuyo propósito fue desarrollar un sistema de gestión de mantenimiento en el departamento de producción, con el fin de mejorar la eficiencia global de los equipos en la sede principal de la empresa Tablenorte S.A.C. mediante el uso de herramientas de diagnóstico, se planteó la aplicación de mejoras centradas en la eficiencia global de los equipos. Se emplearon diversas técnicas de recolección de información, como la observación directa, el análisis de documentos, entrevistas con el jefe de producción y encuestas a los operarios. Durante la evaluación, se identificaron problemas como paradas repentinas debido a la falta de mantenimiento programado, insuficiente control de calidad, mala calibración de equipos, falta de personal de mantenimiento, checklists inadecuados, falta de capacitación y herramientas insuficientes. La propuesta de investigación se basó en herramientas de Lean Manufacturing como TPM y 5S, que permiten llevar un control de inventario, registros de incidencias, orden y limpieza, siendo parte integral del plan. Se formuló la hipótesis de que la gestión de mantenimiento aumentaría la eficiencia global de los equipos de Tablenorte S.A.C. - La Victoria, sede principal. Tras el análisis de la propuesta, se observó un incremento en los indicadores de eficiencia global de los equipos: disponibilidad del 67 % al 89 %, rendimiento del 69 % al 92% y calidad del 75 % al 91 %. Se concluye que al elaborar e implementar un plan de mejora en el área de producción utilizando herramientas de manufactura, se logra un aumento del 74.51 % en la eficiencia global de los equipos, confirmando la hipótesis planteada (9).

Cesar Miranda, el presente estudio de investigación se inicia con la identificación de un problema relacionado con el mantenimiento del Filtro Prensa de relaves Andritz modelo 2500, enfocado en su Eficiencia Global del Equipo (OEE), los costos directos relacionados con el mantenimiento correctivo y el índice de mantenimiento correctivo. Con el propósito de mejorar estos indicadores, se ha diseñado un plan de mantenimiento basado en la estrategia de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). En primer lugar, se establecieron los fundamentos de la investigación y se llevó a cabo un estudio del estado del arte para proporcionar los antecedentes, seguido por la presentación del marco teórico. En segundo lugar, siguiendo la metodología propuesta y mediante el análisis de las condiciones de operación del filtro, los modos de falla identificados en el procedimiento de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) y los datos de vida del equipo, se elaboró un plan de mantenimiento que abarca tanto al equipo en su conjunto como a sus respectivos subsistemas. Finalmente, se realizó una comparación estimada entre los indicadores mencionados anteriormente, considerando como primer escenario el estado inicial del equipo y como segundo escenario su estado posterior al diseño del plan de mantenimiento (10).

Es importante destacar que estas comparaciones se basan en estimaciones razonables, ya que el alcance de esta investigación no incluye la implementación del plan de mantenimiento.

Carlos Viña, en la Compañía Minera Antapaccay, indica que se cuenta con tres excavadoras electromecánicas de la marca Caterpillar modelo 7495HR, consideradas equipos de alta criticidad por su papel crucial en el transporte de material hacia la planta concentradora. Desde el 2016 hasta octubre del 2018, aproximadamente el 50 % de los mantenimientos realizados fueron correctivos, lo cual implica un alto riesgo de no alcanzar los objetivos de disponibilidad anual. Por lo tanto, en esta tesis se aplican herramientas como Jack Knife y Análisis de Causa Raíz para identificar las fallas que más impactan en la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos. Tras el análisis, se han identificado tres componentes que causan una pérdida de disponibilidad del 1.9 % anualmente debido a la falta de inspecciones, mantenimiento y repuestos. Se están implementando estrategias de mantenimiento para prevenir y mitigar estos eventos, con el objetivo de aumentar la disponibilidad en un 1 % y establecer planes de análisis anuales para mantener una mejora continua en la metodología de mantenimiento (11).

Mylena Vilches, Jimmy Oblitas & Wilson Castro, señalan que la gestión de componentes críticos en sectores industriales con alta utilización de equipos, es fundamental debido a su impacto en la disponibilidad y a los considerables costos asociados al capital de inventario. En este contexto, se planteó la evaluación del Tiempo Medio Entre Intervenciones (MTBI) y el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), con el objetivo de determinar el momento óptimo de reemplazo de componentes críticos reparables en seis palas hidráulicas EX5500 utilizadas en una operación minera a cielo abierto. Se realizó una comparación entre una política base, que utiliza el MTBF proporcionado por el fabricante de los equipos, y una política alternativa que se basa en el MTBI obtenido del historial de intervenciones de la flota. El análisis reveló que la política basada en el MTBI, optimiza el tiempo de reemplazo de los componentes críticos reparables, resultando en un modelo de optimización de costos con un nivel de confiabilidad superior.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDAD

Uno de los principales retos presentados que continua en la actualidad, es la disponibilidad de la fuerza laboral y los requerimientos de mantenimiento no planificados en la operación sobre todo en los camiones 797F, la variabilidad en la primera problemática de “la disponibilidad de la fuerza laboral”, no está ligada directamente a parámetros que se puedan controlar, debido a que la probabilidad de contagio fuera de las instalaciones de MMG, es un factor que depende del nivel de exposición que tenga cada trabajador fuera de sus jornadas laborales.

Sin embargo, en la segunda problemática “Los requerimientos de mantenimiento no planificados en camiones 797F”, representan una oportunidad para generar mejoras en los activos e implementar técnicas que permitan reducir estos requerimientos en la operación mediante estrategias de mantenimiento.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo General

Evaluar las herramientas de gestión en las estrategias de mantenimiento del sistema de camiones Cat 797F.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Optimizar las herramientas de gestión en el sistema de tren de mando y el sistema de motor Diésel aplicando el análisis Jack Kinife.
- Mejorar las herramientas de gestión con estrategias de mantenimiento de equipos.
- Mejorar las herramientas de gestión de equipos en las áreas involucradas en la producción.

2.4 JUSTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL

La evaluación de las herramientas de gestión en las estrategias de mantenimiento, es esencial para garantizar la eficiencia y confiabilidad de los camiones Cat 797F, que son equipos de alto valor en la industria de la minería y la construcción. Esta investigación puede proporcionar información valiosa para identificar posibles deficiencias en las estrategias de mantenimiento existentes y, en última instancia, contribuir a la reducción de costos operativos y a la maximización de la disponibilidad de los camiones.

La optimización de herramientas de gestión en componentes críticos como el sistema de tren de mando y el sistema de motor Diésel, es fundamental para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro de los camiones. La aplicación del análisis Jack Knife permite una evaluación precisa y detallada de estos sistemas, lo que puede llevar a mejoras significativas en la eficiencia operativa y a la reducción de costos de mantenimiento a largo plazo.

La mejora de las herramientas de gestión es esencial para garantizar la vida útil de los equipos y reducir los tiempos de inactividad no planificados. La implementación de estrategias de mantenimiento efectivas puede conducir a una disminución de los costos operativos, una mayor confiabilidad de los equipos y una mejor gestión de los recursos. Esto es de gran importancia en la industria, donde la rentabilidad está estrechamente relacionada con la eficiencia operativa.

La mejora de las herramientas de gestión en las áreas de producción, es esencial para optimizar la cadena de suministro y garantizar la entrega oportuna de productos y servicios. Una gestión eficaz de los equipos en estas áreas puede aumentar la productividad, reducir los costos de producción y mejorar la competitividad de la empresa en el mercado.

Es decir que la investigación propuesta se justifica debido a su impacto potencial en la eficiencia operativa, la reducción de costos y la mejora de la competitividad en la mina las Bambas.

Además, contribuirán al conocimiento existente en el campo de la gestión de mantenimiento y la mejora de la productividad.

2.5 RESULTADOS ESPERADOS

2.5.1 Resultado Esperado General

Elaborar un análisis Jack Knife, aplicando las metodologías de priorización de equipos y el Análisis de Causa Raíz, para camiones CAT 797F con baja disponibilidad de la Compañía Minera Las Bambas.

2.5.2 Resultados Esperados Específicos

- Brindar una herramienta práctica que permita evaluar la falla en las estrategias de mantenimiento implantadas en los equipos.
- Mostrar las acciones necesarias para mejorar la estrategia de mantenimiento.
- Mostrar las medidas adoptadas para mejorar la disponibilidad de los camiones CAT 797F con baja disponibilidad.
- Evaluar las consecuencias y el impacto que generan las áreas involucradas directamente con la estrategia y los problemas generados en los equipos.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 EL MANTENIMIENTO Y SU EVOLUCIÓN

El mantenimiento es la conservación o restauración de un activo para que pueda cumplir la función principal que los usuarios esperan que realice, bajo ciertos parámetros de operación, en el mantenimiento se pueden distinguir tres generaciones (18)

La primera generación no consideraba la planificación ni la prevención como estrategias de ejecución, ya que el sobredimensionamiento de los equipos los hacía confiables y fáciles de reparar, el mantenimiento se limitaba a tareas de limpieza, servicio y lubricación.

Durante la segunda generación, se produce un aumento de la demanda, dando lugar a mayor mecanización y al mismo tiempo una caída de la mano de obra. Estos factores condujeron a enfocarse en tareas preventivas para reducir los tiempos de parada de los equipos, ya que estos podrían prevenirse, es así como se origina el mantenimiento preventivo y, con ello las primeras estrategias de mantenimiento.

Durante la tercera generación, se puede ver como la seguridad y las condiciones medioambientales, representan un factor determinante en el mantenimiento. Aumenta la dependencia a los activos físicos, también el costo de obtenerlos, operarlos y mantenerlos; los costos de mantenimiento en especial, pasaron de ser un costo sin importancia a ser un costo prioritario, desarrollándose nuevas metodologías, filosofías del mantenimiento y diseño de equipos, destacando el Mantenimiento Basado en la Condición, Mantenimiento Proactivo, Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Mantenimiento de Clase Mundial, combinado e integrado.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés), es una metodología bien reconocida y ampliamente utilizada en la elaboración de planes de mantenimiento para equipos industriales, centrándose en garantizar las funciones del equipo para la satisfacción del usuario o propietario. Aunque existen varias metodologías de RCM en la actualidad, la esencia de esta metodología se encuentra en la norma SAE JA1011. Esta investigación presenta una versión mejorada de la metodología RCM, la cual no solo se basa en los lineamientos establecidos por la

norma SAE JA1011, sino que también añade etapas complementarias que contribuyen a una aplicación más sencilla y efectiva.

Esta metodología mejorada se desarrolló después de analizar las normas SAE JA1011 y SAE JA1012 para RCM, la metodología de análisis de modos de falla y efectos (FMEA por sus siglas en inglés) de la norma SAE J1739, la norma ISO 14224, la base de datos OREDA y varios casos de estudio. Se elaboró una metodología RCM mejorada que incluye pasos adicionales como la recopilación de información, el uso de la norma ISO 14224 para estandarizar la información del equipo, el uso de bases de datos como OREDA para identificar las causas de las fallas y, la evaluación de los efectos de las fallas para definir los números de prioridad de riesgo (NPR) y priorizar las fallas. Además, se presenta y analiza brevemente un caso de aplicación de esta metodología propuesta. (13).

Tipos de mantenimiento

Un sistema de mantenimiento en una organización, se encarga del buen mantenimiento correctivo, no tenerlo implica hacer solo reparaciones de urgencia (correctivo reactivo) para continuar con la producción sin saber cuándo y donde será necesaria otra reparación y cuánto tiempo y dinero costará. El mantenimiento correctivo es consecuencia del mantenimiento preventivo y predictivo, los cuales detectan las fallas que ameriten ser programadas para detener una máquina. El mantenimiento predictivo existe con el mantenimiento preventivo y el correctivo o existen los tres en conjunto o no existe ninguno; los tres son programados (13).

3.1.1 Mantenimiento Preventivo

Este tipo de mantenimiento puede ser por inspección o por predicción, cuando hablamos de mantenimiento por inspección, tenemos en cuenta el contacto directo del técnico con la maquinaria, buscando la necesidad de llevar a cabo un mantenimiento correctivo. Se enfoca en áreas como limpieza, revisión, lubricación y ajustes. Por otro lado, la predicción se basa aplicando probabilidades y estadísticas para determinar la necesidad de cambio de piezas o componentes de los activos. Sirve para programar reparaciones planeadas (correctivos planeados).

3.1.2 Mantenimiento Predictivo o Basado en Condición

Es cuando un activo se encuentra sometido a monitoreo de condición de funcionamiento de manera continua o a intervalos. A partir de los resultados obtenidos, se organizan y se llevan a cabo acciones de reparación y/o sustitución de componentes lo antes posible o dentro de un periodo de operación que tenga la finalidad de reducir al mínimo los riesgos de paradas inesperadas.

3.1.3 Mantenimiento Correctivo

Son reparaciones con activo fuera de servicio y estas pueden ser: reparaciones planeadas por prevención, reparaciones no planeadas derivadas de la ocurrencia de una falla imprevista, ejecutadas para buscar la continuidad de producción, reparaciones de fallas parciales o intermitentes que son realizadas en el momento oportuno sin afectar la continuidad de producción.

3.2 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Según Norsok (15), una estrategia de mantenimiento es un método de gestión usado a fin de lograr los objetivos de mantenimiento, las estrategias de mantenimiento pueden ser enfocadas a:

- Centradas en el activo.
- Centradas en las personas.
- Centradas en el proceso.

Nos enfocaremos en las estrategias orientadas al activo, las cuales incluyen las siguientes herramientas:

3.2.1 Estrategias centradas en el activo

Se apoya en las herramientas brindadas en filosofías como:

- RCM (Reliability-centered maintenance).
- RBM (Result based Management).
- PMO (Preventive Maintenance Optimization).
- RCFA (Root Cause Failure Analysis).

3.3 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

El Análisis Causa Raíz (ACR), se refiere a un agregado de técnicas o procesos usados para identificar factores causales de accidentes/incidentes o fallas enfocadas en las personas, procesos y tecnología, con el objeto de resolver problemas. Podemos escuchar que la describen como el cumplimiento de los requisitos de la confiabilidad integral de los activos. Esta es una mala interpretación ya que la confiabilidad es mucho más que la adopción de la metodología ACR. El ACR es un proceso que ha sido trazado para que sea usado en la investigación de las causas de acontecimientos que afectan la seguridad, salud, el medio ambiente, calidad, la operación y finalmente, como esto repercute en la producción de cualquier sector industrial donde se genere un evento insatisfactorio.

3.3.1 Herramientas usadas en el Análisis de Causa Raíz

Algunas herramientas de apoyo empleadas durante la ejecución de un Análisis de Causa Raíz son los siguientes:

- Diagrama de Ishikawa.
- Árbol de Fallas.
- 5 Porque's.

3.3.2 Análisis de Árbol de Fallas

Es un método deductivo en que el estado no deseado es analizado utilizando lógica booleana, la cual genera una combinación de los eventos que dan origen a la causa principal del problema.

3.3.3 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa es una herramienta de calidad que ayuda encontrar los factores que se involucran el origen de un determinado problema.

3.3.4 5 Porque's

Es una técnica que utiliza preguntas reiterativas para explorar las posibles soluciones que puede tener un problema considerando hasta 5 niveles.

3.4 HERRAMIENTAS DE PRIORIZACIÓN

3.4.1 Histogramas de Pareto

Los histogramas de Pareto son herramientas frecuentemente aplicadas en el ámbito del mantenimiento para establecer prioridades entre los equipos que necesitan intervención. Esto se logra al clasificar dichos equipos según los códigos de falla y el tiempo total de inactividad asociado a cada una de estas fallas; sin embargo, estos histogramas no identifican variables dominantes como la frecuencia de la falla y el tiempo medio de reparación. Es decir que un Histograma de Pareto en mantenimiento comúnmente se elaboró teniendo en cuenta solo las horas de duración de cada falla codificada en un determinado periodo de tiempo y no se tomó en cuenta la frecuencia u origen del suceso que pudo afectar directa e indirectamente al equipo, por lo tanto, su aplicación particular no contribuye a encontrar los factores dominantes asociados al tiempo de inactividad del equipo. En la figura mostrada se puede observar un ejemplo de un Histograma de Pareto aplicado según el código de falla de 1 a 17.

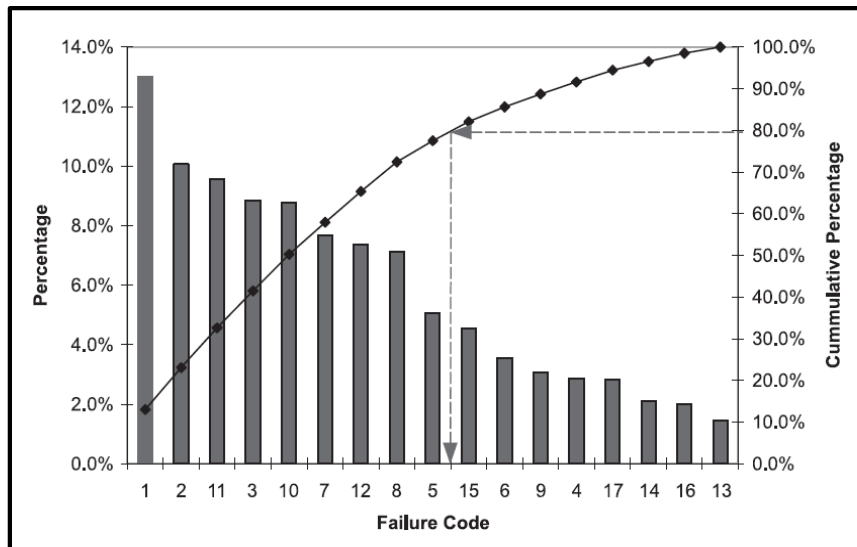


Figura 7. Aplicación de Histograma de Pareto.

Nota: Tomado de Rethinking Pareto analysis: maintenance applications of logarithmic scatterplots, Por Peter F. (Knights, 2001) (16).

3.4.2 Diagramas Jack-Knife

Los Diagramas Jack-Knife (JDK) son herramientas gráficas que permiten visualizar el desempeño de los equipos con menor rendimiento, considerando tanto la frecuencia con la que se registran sus fallas como el tiempo total que permanecen inactivos. Si bien es cierto que el Histograma de Pareto brindaba resultados similares al confrontar variables del equipo como costo de mantenimiento y frecuencia de fallas, no logra seleccionar la medida adecuada para mejorar el rendimiento o confiabilidad de los equipos, debido a que el Histograma de Pareto se ve distorsionado frente a la aparición de fallas individuales asociados a un alto tiempo de inactividad y frente a fallas frecuentes asociados a un poco tiempo de inactividad (16). El diagrama Jack-Knife hace uso de diagramas de dispersión logarítmicos, estos diagramas de dispersión mantienen el ranking proporcionado por el análisis de Pareto, pero proporcionan información adicional del historial de frecuencias de falla y el MTTR.

Para la elaboración del Diagrama Jack-Knife es necesario contar con data de la frecuencia de fallas codificadas y el MTTR asociado a cada falla, inicialmente se realiza un diagrama de dispersión entre el tiempo de inactividad promedio (MTTR) frente al número de fallas no planificadas según el código de cada falla, ello origina curvas de tendencia hiperbólicas las cuales muestran el factor dominante y resultan difíciles de interpretar, por ello se aplica la operación logarítmica a los factores descritos anteriormente, dando como resultado líneas rectas con pendiente negativa. El diagrama de dispersión logarítmica permita facilitar la identificación de fallas que más contribuyen al tiempo de inactividad del equipo, las fallas que requieren un alto tiempo de reparación promedio pueden considerarse como problemas agudos, y las fallas frecuentes pueden considerarse fallas crónicas. Al aplicar valores límites según criterios establecidos a la frecuencia de falla y al

MTTR se divide el diagrama en 4 cuadrantes en la cual se notan 4 tipos de fallas, como se muestran en la figura.

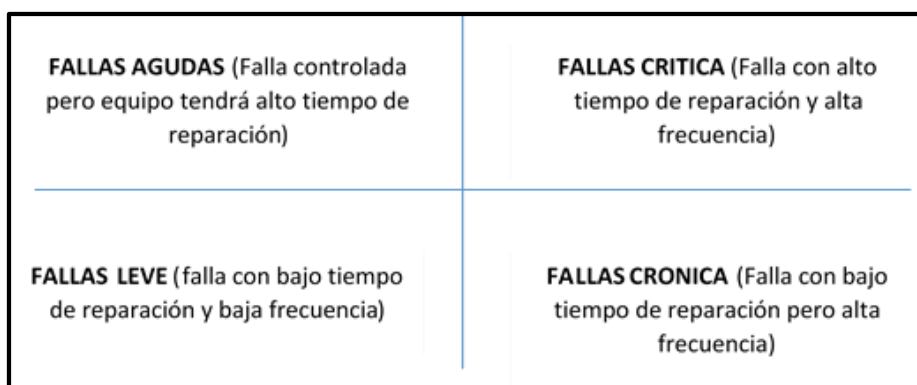


Figura 8. Clasificación de Diagrama Jack-Knife.

Nota: Tomado de Aplicación de Jack Knife y Análisis de Causa Raíz de una Flota de Palas Electromecánicas Modelo Caterpillar 7495hr de Capacidad 120, Por Viña, C., (2019) – Universidad Católica de Santa María (11).

Estos gráficos facilitan la identificación de problemas de un sistema de mantenibilidad y confiabilidad, con esta herramienta se cambia la orientación y el enfoque según las prioridades establecidas por la compañía. Desde su introducción en 1999, los diagramas de dispersión logarítmica han sido empleados por varias empresas mineras y proveedores de equipos de minería en todo el mundo.

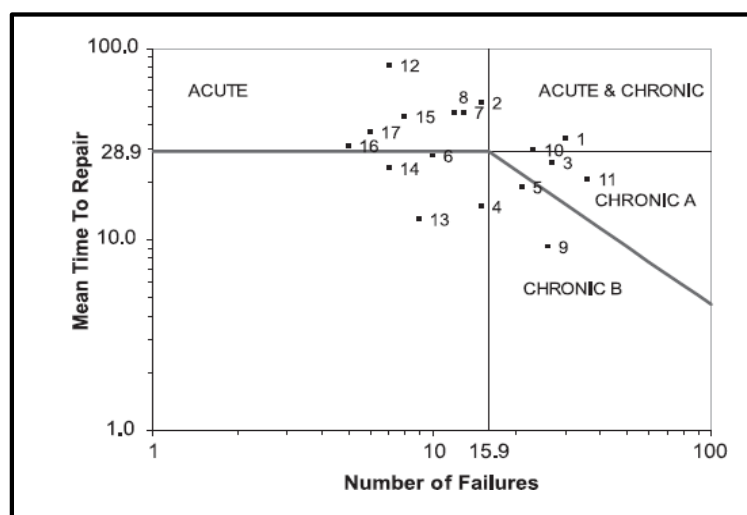


Figura 9. Ejemplo de Diagrama Jack-Knife.

Nota: Tomado de Rethinking Pareto analysis: maintenance applications of logarithmic scatterplots, Por Peter F. Knights (16).

3.4.3 Diagrama de Dispersión de Costos

También conocido como Cost Scatter Diagrams (Diagrama de Dispersión de Costos), es un método complementario desarrollado por R. Pascual, G. del Castillo, D. Louit y P. Knights, cuyo

objetivo es integrar el análisis de confiabilidad realizado a través de los Diagramas Jack-Knife y relacionar los costos asociados para otorgar herramientas capaces de priorizar recursos y aplicar mejoras en los activos de la compañía. Los costos asociados pueden ser tan amplios según el encargado del análisis lo desee y estos pueden ser: (Knights, Peter F. 2004) (16).

- C_{ij} = Costo Directo por unidad de tiempo de intervención (Spare, labor, Movilización, Planificación y Administración).
- C_{fj} = Costos de Parada por unidad de tiempo.
- C_{aj} = Costos de Mantenimiento debido a repuestos y sus amortizaciones por unidad de tiempo.
- C_{si*j} = Costos redundantes y otros relacionados con la inversión en la confiabilidad por unidad de tiempo.

$$C_g = \sum (C_{ij} + C_{fj} + C_{aj} + C_{si*j}) * f_j * MTOS_j$$

- C_{si*j} = Costos redundantes y otros relacionados con la inversión en la confiabilidad por unidad de tiempo.

3.5 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

A. Indicadores de Mantenimiento

Los indicadores son relaciones entre características físicas medibles las cuales permiten conocer la eficacia del área de mantenimiento.

B. Tiempo Medio Para Reparaciones (MTTR)

Es un indicador que mide el número de horas que el equipo estuvo parado debido a fallos programados o no programados, entre el número de fallos totales que presentó el equipo.

C. Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)

Es un indicador que nos brinda el tiempo promedio entre la ocurrencia de fallas.

D. Análisis de Criticidad (CA)

Es una metodología que permite establecer prioridades en sistemas, subsistemas, procesos y equipos, direccionando la toma de decisiones y recursos en función a los objetivos planteados.

E. Disponibilidad de Equipos

Es uno de los indicadores más importantes del mantenimiento y se calcula a través de la relación entre el número de horas totales reales que estuvo operando, entre el número de horas totales en un periodo.

F. Confiabilidad de Equipos

Es la capacidad que posee un equipo de poder funcionar de manera continua sin fallar durante un determinado periodo de tiempo, es uno de los parámetros más usados para la realizar una adecuada gestión del mantenimiento.

G. Taxonomía de Equipos

Es la clasificación sistemática de un equipo, en grupos comunes, subdividiendo el sistema o equipos en subsistemas y componentes para facilitar el análisis.

H. Falla

Es una causa o evento que origina que el equipo deje de realizar las funciones que el usuario desea que realicen bajo ciertos parámetros de funcionamiento.

I. Parada

Es una interrupción al proceso de producción que puede ser programada y no programada, según como se presente la parada durante la operación.

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

4.1.1 Enfoque de las actividades profesionales

Se vinculan las habilidades obtenidas durante la formación profesional ligadas a la gestión del mantenimiento y al uso eficiente y eficaz de los recursos de una organización mediante la elaboración de estrategias y técnicas de priorización aplicadas a los activos de la compañía.

4.1.2 Alcance de las actividades profesionales

Las actividades realizadas en el presente informe se limitan al área de mantenimiento mecánico Mina específicamente en los camiones 797F de la compañía, sin embargo, la metodología y las técnicas aplicadas pueden emplearse en cualquier área o activo de ser necesario.

4.1.3 Entregables de las actividades profesionales

Elaborar un reporte de Jack Knife aplicando las técnicas de priorización para un camión 797F buscando mejorar la disponibilidad de los camiones en la mina.

4.2 ASPECTOS TÉCNICOS DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL

4.2.1 Metodología aplicada en el desarrollo de la solución

La metodología aplicada se basa en el uso de las herramientas de priorización y el Análisis de Causa Raíz de un sistema, componente, subcomponente, para el Análisis de Causa Raíz existen diversas metodologías o técnicas, que abordan cada vez más aspectos organizacionales, a continuación, se muestran cada una de estas técnicas:

4.2.2 Análisis de Falla del Componente (CFA)

El análisis de falla del componente busca encontrar las razones físicas mecanismo de daño) que provoco la falla. Para llegar a encontrar los causantes físicos es necesario realizar prueba en

laboratorios las cuales tienen relación directa con las fallas involucradas, es un nivel tangible y se analiza desde el punto de vista del componente.

4.2.3 Investigación de la Causa Raíz (RCI).

La investigación de la causa raíz pretende llegar más allá de encontrar las razones físicas que originan las fallas, por lo tanto, se realiza un análisis más profundo que el CFA, incluyendo una investigación de campo y prestando mayor atención a las causas humanas que provocaron la falla si es que las hubiera.

4.2.4 Análisis de la Falla Causa Raíz (RCFA).

En este análisis se incluye todo el RCI y las causas en el sistema que permiten que los errores físicos y humanos persistan, es decir se logran encontrar las deficiencias en los sistemas que permiten que los errores continúen sin detectarse, enfocados en las fallas mecánica asociadas a la principal.

4.2.5 Análisis de Causa Raíz (RCA).

En este análisis al igual que en el RCFA se buscan las fallas físicas, humanas y latentes bajo un enfoque de encontrar el “como” ocurrió la falla, incluyendo otros acontecimientos no-mecánicos como los incidentes de seguridad, defectos de calidad, quejas del cliente o procesos vinculados a tareas administrativas.

4.3 BENEFICIOS DEL USO DEL ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

La aplicación de Análisis de Causa Raíz como anteriormente se mencionó no solo abarca las áreas de mantenimiento y operaciones, también presenta beneficios en las áreas de Seguridad, Medio Ambiente y áreas Administrativas.

Tabla 5.

Percepción de los beneficios del Análisis de Causa Raíz

	Significativo	Algo	Ninguno	No sabe	N/A
Costos de Mantenimiento	19%	49%	8%	17%	7%
Disponibilidad de Equipos	26%	60%	1%	7%	6%
Confiabilidad del Equipo	33%	53%	1%	8%	5%
Costos de Operación	23%	49%	7%	14%	7%
Seguridad	24%	50%	6%	9%	10%
Ambientales	24%	50%	6%	9%	10%

Nota: “Root Cause Analysis” Survey Results – Plant Maintenance, (2001).

4.4 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ EN COMPONENTES MECÁNICOS

La aplicación de un RCA en componentes mecánicos obedece a una secuencia lógica y sistemática, apoyándose en herramientas que garanticen un adecuado manejo y análisis de la información obtenida, la secuencia a seguir abarca los siguientes pasos:

- Recopilación de datos, el procedimiento de las 5P.
- Determinación de la falla primaria.
- Diseño del análisis de la falla primaria: El árbol lógico de fallas, identificación de hipótesis de fallas, identificación de hipótesis de fallas y su evaluación mediante ensayos y estudios. Para el presente trabajo no usaremos pruebas experimentales asociadas.
- Determinación del tipo de falla (mecanismo de falla asociado) y de la causa raíz.

4.5 METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE PRIORIZACIÓN

La manera en la que un equipo puede operar de forma más eficiente, enfocándose en los aspectos asociados al equipo, se puede lograr aplicando los tradicionales Histogramas de Pareto y los Diagramas Jack-Knife en los cuales se asocian la frecuencia del tiempo de inactividad y el tiempo de inactividad promedio (MTTR), el 2009 Rodríguez Pascual amplía la técnica al considerar la mantenibilidad, confiabilidad e indisponibilidad como indicadores clave de desempeño para incluir efectos económicos explícitos. Para su aplicación se debe realizar:

- Determinar el tiempo de inactividad de mantenimiento en un periodo de tiempo.
- Tener codificado el fallo o intervención y su frecuencia.
- Se diagraman los códigos de las fallas y los tiempos promedios de inactividad.
- Se determinan los valores límites y se analizan los 4 cuadrantes en función a los objetivos propuestos a mejorar como la disponibilidad, confiabilidad o mantenibilidad.
- Es posible discriminar las fallas usando aquellas un Histograma de Pareto y aplicando la regla de 80 - 20.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

5.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

Según la metodología de priorización mencionada en el punto 3.5, será necesario contar con los datos del tiempo de inactividad de mantenimiento en un determinado periodo. Las fallas que no se encuentren codificadas no serán analizadas ya que es un requisito el tener codificado el fallo o tiempo de inactividad (18). Estos datos serán obtenidos del sistema DISPATCH el cual brinda data histórica de los equipos según el sistema, subsistema o componente a analizar, se incluirán también las Horas Totales de Operación, Horas de Totales Parada, Tiempo Medio Entre Reparaciones (MTTR), Horas Totales de Fallas Correctivas, Horas Totales de Fallas preventivas.

5.2 ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN

Para obtener los resultados esperados se debe desarrollar según la metodología de aplicación de herramientas de priorización, inicialmente el Diagrama Jack-Knife, luego la discriminación de datos con el Histograma de Pareto, analizar los 4 cuadrantes en función al objetivo, que en nuestro caso es mejorar la disponibilidad del equipo, para finalmente realizar el Análisis Causa Raíz siguiendo los pasos establecidos en el punto 3.4.

5.3 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

5.3.1 Prototipo modelado

Inicialmente se obtuvo los reportes de los eventos de datos del mes de Julio de los camiones CAT797F, se aplicó a los datos mencionados las herramientas de priorización para generar un modelo de análisis que se repetirá en los datos de los meses anteriores enero-junio. La data obtenida pertenece a una flota de 42 camiones CAT 797F de la operación minera Las Bambas, la data debe reflejar el objetivo de disponibilidad a cumplir el cual fue trazado por el área de operaciones, esta disponibilidad es el parámetro de comparación usado para medir la cantidad de trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo proyectados a realizar en el transcurso del año. Sin embargo, los imprevistos durante la operación generan una caída en la disponibilidad del equipo, siendo necesario elevar la

disponibilidad un porcentaje mayor al demandado, para ello se adoptan estrategias que permitan priorizar los trabajos y cumplir con las demandas de disponibilidad. En análisis de datos se desarrolló tal como se muestra a continuación:

A. Tiempo de inactividad por sistema y subsistema – Julio

En la tabla 6 se muestra el tiempo de inactividad por sistema de los Camiones CAT 797F y en la figura 10 se elaboró un histograma con los sistemas y las horas de inactividad, en este histograma se aplicó la regla 80-20.

B. Codificación de fallas y frecuencia

La identificación de los códigos de falla se realiza a partir de los Modos y Efectos de Falla (FMEA) previamente definidos por la empresa para cada sistema y subsistema. Por otro lado, la frecuencia de ocurrencia se deriva del análisis del subsistema evaluado mediante el principio de Pareto (80-20), lo que permitió construir las tablas 7 y 8 con los resultados obtenidos.

C. Diagrama de los códigos de las fallas y tiempos promedios de inactividad.

Se realizará inicialmente la determinación de los tiempos promedios de inactividad o MTTR y se presentaron la frecuencia de los eventos en la tabla 10.

D. Se encuentran los valores límite y se analizan los 4 cuadrantes del Jack-Knife.

Tabla 6.

Tiempo de inactividad por sistema Julio

DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS	DURACIÓN EN HORAS	%	% Acumulado
Chasis y estructuras	193.8	14.2%	14.2%
Motor diésel	624.3	45.8%	60.0%
Propulsión	52.6	3.9%	63.9%
Sistema eléctrico y de arranque	197.5	14.5%	78.4%
Sistema hidráulico	43.8	3.2%	81.6%
Tren de mando	77.5	5.7%	87.3%
Tren de potencia	173.0	12.7%	100.0%
TOTAL	1362.6	100.0%	

Nota: Elaboración Propia.

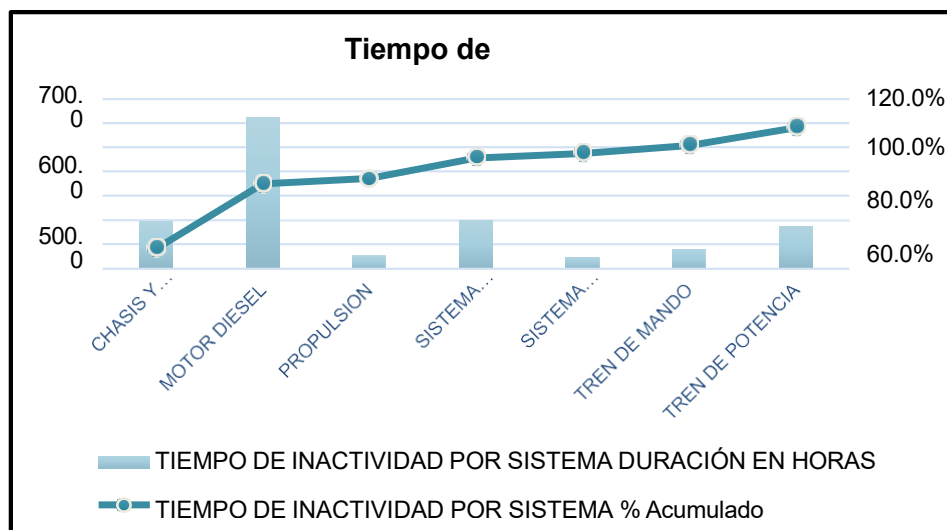


Figura 10. Histograma de tiempo de actividades por Sistema Julio.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.

Modo de Falla Final

CÓDIGO	MODOS DE FALLA FINAL
1	ROTO
2	FISURADO
3	DOBLADO
4	ROSCA/HILO DAÑADO
5	ESTIRADO
6	GOLPEADO
7	SOLDADURA FALLADA
8	DESGASTADO
9	SATURADO
10	FUGA DE ACEITE, LUBRICANTE
11	FUGA DE AIRE, GASES
12	FUGA DE AGUA
13	FUGA DE COMBUSTIBLE
14	FUGA DE REFRIGERANTE

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.*Tiempo de inactividad por sub-sistema Chasis*

DESCRIPCIÓN DE SUBSISTEMAS (CHASIS)	DURACIÓN EN HORAS	FRECUENCIA
Cabina del operador	25.7	16
Chasis	8.3	3
Ruedas y llantas	114.1	47
Suspensión	45.9	9
TOTAL	193.8	75.0

Nota: Elaboración propia**Tabla 9.***Tiempo de inactividad por sub-sistema Motor Diésel*

	DURACIÓN EN HORAS	FRECUENCIA
Admisión y escape	117.2	25
Bloque de motor	58.1	2
Combustible	213.7	58
Enfriamiento de motor	77.1	25
Ensamble de culata	112.9	3
Lubricación	25.9	6
Otros componentes de motor	19.4	10
TOTAL	624.3	129.0

Nota: Elaboración propia.**Tabla 10.***Frecuencia de fallas y tiempo promedio entre reparaciones Julio*

DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS	DURACIÓN EN MIN	# PARADAS	MTTR MIN
Chasis y estructuras	11630.6	75	155.1
Motor Diésel	37460.7	129	290.4
Propulsión	3155.1	2	1577.5
Sistema eléctrico y de arranque	11849.9	95	124.7
Sistema hidráulico	2625.8	14	187.6
Tren de mando	4652.0	17	273.6
Tren de potencia	10380.4	20	519.0

Nota: Elaboración propia.

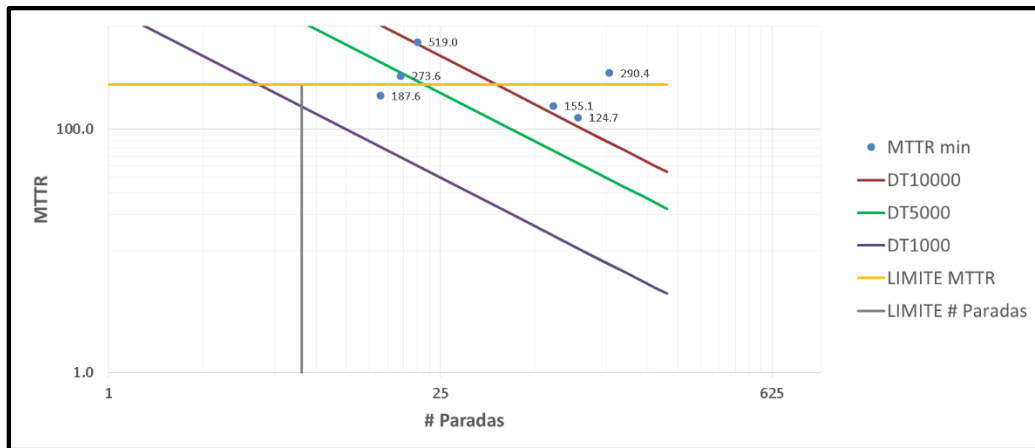


Figura 11. Diagrama Jack-Knife mes Julio.

Fuente: Elaboración propia.

El modelo del mes de Julio será realizado para los meses anteriores de enero a junio, para posteriormente realizar el análisis correspondiente de los resultados. Durante el mes de Julio adicionalmente a la metodología desarrollada, se puede ver que los mantenimientos programados son el 33 % y los mantenimientos no programados son del 66 %. Se puede apreciar que el mantenimiento no programado representa el más ejecutado en la flota de camiones CAT 797F, siendo una práctica no recomendada en la mayoría de las organizaciones, pero la estrategia bajo la cual opera cual debe ser respaldada por los análisis anteriormente descritos.

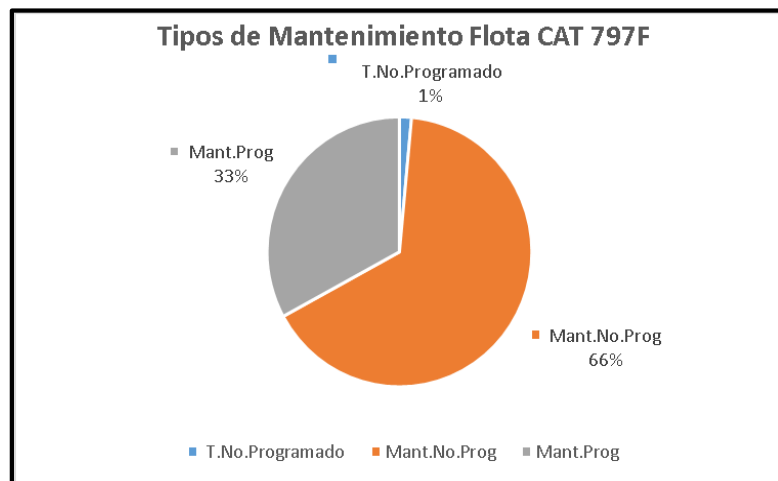


Figura 12. Diagrama Jack-Knife mes Julio.

Fuente: Elaboración propia.

5.4 CONSTRUCCIÓN

El trabajo de campo para la recolección de información, fue realizado a través de los reportes de mantenimiento mensuales brindados por el proveedor de servicio de mantenimiento de los camiones CAT 797F , el reporte consiste en el registro de cada eventualidad que afecta a la operación continua del equipo seleccionado, los campos bajo los cuales se realizan estos reportes consta de 23

ítems, dentro de los cuales podemos mencionar: Periodo, Fecha de Inicio de Actividad, Fecha de Fin de Actividad, Duración en Horas, Equipos, etc.

Tabla 11.

Reporte de mantenimiento mensual

FLOTA	ESTADO	FECHA HORA INICIO	FECHA HORA FIN	DURACIÓN	DURACIÓN EN HORAS
CAT 797F	OPER	3/07/2021 19:47	3/07/2021 21:30	1:43:42	1.73
CAT 797F	OPER	4/07/2021 01:40	4/07/2021 05:12	3:31:26	3.52
CAT 797F	OPER	4/07/2021 12:32	4/07/2021 16:31	3:59:33	3.99
CAT 797F	OPER	5/07/2021 10:33	5/07/2021 15:14	4:41:24	4.69
CAT 797F	OPER	5/07/2021 13:15	5/07/2021 14:15	0:59:43	1.00
CAT 797F	OPER	6/07/2021 03:23	6/07/2021 04:03	4:00:00	4.00
CAT 797F	OPER	6/07/2021 04:03	6/07/2021 12:02	7:58:33	7.98
CAT 797F	OPER	6/07/2021 07:49	6/07/2021 08:05	0:16:29	0.27
CAT 797F	OPER	6/07/2021 08:10	6/07/2021 08:31	0:21:14	0.35
CAT 797F	OPER	6/07/2021 10:30	6/07/2021 13:46	3:15:34	3.26
CAT 797F	OPER	6/07/2021 13:44	6/07/2021 14:29	0:44:45	0.75

Nota: Elaboración propia,

Una vez recopilada la información de los meses Enero – Julio, procedemos a realizar el procedimiento propuesto en el prototipo modelado 4.3.1, bajo la metodología descrita en los puntos 3.7 y 3.6.

Tabla 12.*Tiempo de inactividad por sistema periodo de enero-Julio*

DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS	DURACIÓN EN HORAS	%	% Acumulado
Motor Diésel	3961.26	47.3%	47.3%
Tren de potencia	1612.94	19.3%	66.6%
Chasis y estructuras	1123.82	13.4%	80.0%
Sistema eléctrico y de arranque	804.7	9.6%	89.6%
Tren de mando	512.74	6.1%	95.8%
Propulsión	302.73	3.6%	99.4%
Sistema hidráulico	51	0.6%	100.0%
TOTAL	8369.19	100.0%	

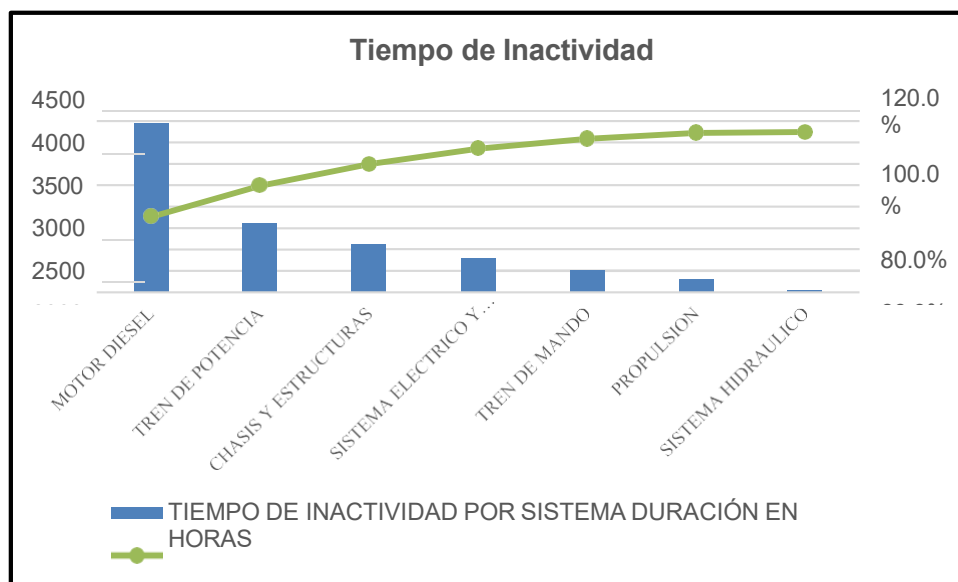
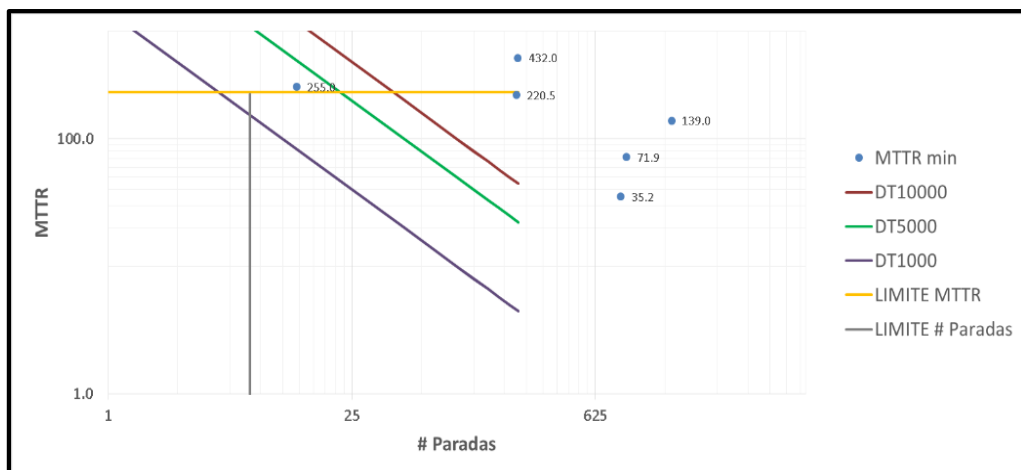
Nota: Elaboración propia.**Figura 13.** Histograma de tiempo de actividades por Sistema Enero Julio.*Nota:* Elaboración propia

Tabla 13.*Frecuencia de fallas y tiempo promedio entre reparaciones Julio*

DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS	DURACIÓN EN min	# PARADAS	MTTR min	DURACIÓN EN HORAS
Motor Diésel	237675.6	1710	139.0	3961.26
Tren de potencia	96776.4	224	432.0	1612.94
Chasis y estructuras	67429.2	938	71.9	1123.82
Sistema eléctrico y de arranque	48282.0	219	220.5	804.7
Tren de mando	30764.4	874	35.2	512.74
Propulsión	18163.8	4	4541.0	302.73
Sistema hidráulico	3060.0	12	255.0	51
TOTAL				8369.2

Nota: Elaboración propia.**Figura 14.** Diagrama Jack-Knife enero – Julio.*Fuente:* Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

RESULTADOS

6.1 LOGROS ALCANZADOS

- En relación con los hallazgos generales de esta investigación, se identificaron dos sistemas clave que requieren ser priorizados para incrementar la disponibilidad del equipo: el sistema de tren de mando y el sistema de motor diésel. Estas áreas mostraron fallas recurrentes, las cuales fueron detectadas a través del uso del análisis Jack-Knife.
- Respecto a los resultados específicos, se aprecian las principales fallas en los sistemas del camión CAT 797F, se muestran sistemas que presenten fallas crónicas, agudas leves y críticas, cumpliendo con el objetivo específico de brindar una herramienta práctica que permita evaluar las fallas en las estrategias actuales de mantenimiento.
- En cuanto al segundo resultado específico orientado a optimizar las estrategias o planes de mantenimiento, es fundamental partir del propósito establecido por el área encargada del análisis. Las estrategias pueden ajustarse según los objetivos planteados; por ejemplo, si se busca incrementar la disponibilidad operativa, será necesario realizar un análisis detallado de los sistemas que presentan fallas persistentes, como el tren de mando y el motor diésel. Si lo que busca el área usuaria es mejorar la confiabilidad de los equipos, será necesario enfocarse en las fallas críticas como lo son el sistema del tren de potencia y, finalmente, si el objetivo es mejorar la mantenibilidad de los equipos la prioridad será en aquellos sistemas que presenten fallas agudas.
- Respecto al tercer y cuarto resultado específico esperado, se presentó esta metodología como una medida directa para mejorar la disponibilidad en el equipo y se difunde a las áreas involucradas los hallazgos obtenidos.

6.2 DIFICULTADES ENCONTRADAS

Uno de los principales problemas encontrados es mantener de forma ordenada y coherente la data operacional de los equipos en mina, debido a que un error en la codificación por parte del cuarto de control conllevaría a un error en el análisis.

6.3 PLANTEAMIENTO DE MEJORA

Mantener una data confiable es el principal desafío de toda operación de mantenimiento, ello se puede mejorar a través de la aplicación de herramientas digitales que eviten el error humano y den confiabilidad a los datos.

6.4 APOORTE DEL BACHILLER

Metodología Jack Knife como Herramienta de Análisis: La aplicación de la metodología Jack Knife en el análisis del desempeño del mantenimiento en el área de mina, ha permitido una evaluación más detallada y precisa de los procesos. Esto se traduce en una mayor capacidad para identificar áreas de mejora y optimización en la gestión de mantenimiento. Además, la metodología Jack Knife proporciona una visión holística del rendimiento, lo que ayuda a tomar decisiones basadas en datos sólidos. Estandarización de la Herramienta de Pareto: La estandarización de la herramienta de Pareto como principal indicador para analizar las fallas recurrentes en los equipos de la flota de mina, ha simplificado el proceso de identificación y priorización de problemas. Esto ha llevado a una gestión más eficaz de los recursos y una reducción significativa de los tiempos de inactividad no planificados. Además, el uso consistente de Pareto ha facilitado la comunicación y la toma de decisiones en toda la organización.

Mejora de la Disponibilidad de Equipos: La mejora en la disponibilidad de los equipos en la flota de mina, ha tenido un impacto directo en la productividad y la rentabilidad de la operación minera. Esto se ha logrado mediante la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo, respaldadas por el análisis de datos obtenidos a través de la metodología Jack Knife y la herramienta de Pareto. La reducción de tiempos de inactividad no solo ha aumentado la eficiencia, sino que también ha mejorado la seguridad y el bienestar de los empleados.

Por lo que el aporte de la investigación es que: la combinación de la metodología Jack Knife y la herramienta de Pareto han permitido una gestión más efectiva del mantenimiento en el área de mina, lo que se ha traducido en una mayor disponibilidad de equipos y, en última instancia, en mejoras significativas en la operación minera en términos de eficiencia y rentabilidad.

6.5 ACCIONES IMPLEMENTADAS PARA LA MEJORA.

La recopilación de datos a través de la metodología Jack Knife y la herramienta de Pareto puede ser utilizada para desarrollar sistemas de mantenimiento predictivo. Esto permitiría anticipar fallas en los equipos y llevar a cabo intervenciones de mantenimiento antes de que se presenten averías significativas, reduciendo así los tiempos de inactividad no planificados.

Mediante el uso de los datos obtenidos del análisis, es posible modificar y perfeccionar los planes de mantenimiento, adaptándolos a las condiciones reales de operación de los equipos. Esta

estrategia permite disminuir los gastos asociados al mantenimiento y reducir al mínimo las interrupciones en el proceso productivo.

Es necesario asegurar que el personal de mantenimiento esté adecuadamente capacitado en la metodología Jack Knife y la herramienta de Pareto. Ello permite comprender mejor los datos recopilados y tomar decisiones más informadas sobre cómo mantener los equipos de manera efectiva.

La información sobre las fallas recurrentes debe ser utilizada para optimizar el inventario de piezas de repuesto, asegurando que siempre se encuentren disponibles las necesarias para las reparaciones, lo que contribuye a reducir los tiempos de inactividad.

Se recomienda explorar la posibilidad de utilizar tecnologías de automatización para la recopilación de datos de manera más eficiente. Esto puede incluir sensores en los equipos para monitorear su estado en tiempo real, así como la implementación de sistemas de gestión de mantenimiento asistido por computadora (CMMS, por sus siglas en inglés).

La mejora es un proceso continuo. Por tanto, debe establecerse un sistema de seguimiento y evaluación a largo plazo que permita medir la eficacia de las acciones implementadas y realizar los ajustes que sean necesarios.

Asimismo, se debe fomentar la colaboración entre los departamentos de mantenimiento, operaciones y gestión. La comunicación efectiva y la colaboración pueden derivar en soluciones más holísticas y eficientes.

Estas acciones de mejora permiten aprovechar al máximo la información recopilada a través de la metodología Jack Knife y la herramienta de Pareto, optimizando la gestión del mantenimiento en el área de mina y logrando una mayor eficiencia operativa.

CONCLUSIONES

Se evaluaron las herramientas de gestión en las estrategias de mantenimiento del sistema de camiones Cat 797F y el tiempo de inactividad por sistema duración de horas acumulado al 100% es de 1 362.6 horas.

En la optimización de las herramientas de gestión en el sistema de tren de mando y el sistema de motores Diésel aplicando el análisis de Jack Knife, para el tren de mando la duración fue de 4652.0 MIN, con un MTTR MIN de 273.6 y para el sistema de motores diésel de 37 460.7 MIN con un MTTR MIN de 290.4.

El mejoramiento de las herramientas de gestión con estrategias de mantenimiento de equipos programados fueron el 33 % y los mantenimientos no programados fueron el 66 % por lo que representa el más ejecutado.

El mejoramiento de las herramientas de gestión de equipos en las áreas involucradas en la producción con un MTTR MIN de 255, ofrece el mayor potencial para mejorar la disponibilidad.

RECOMENDACIONES

Dado el impacto significativo del sistema de tren de mando y el sistema de motor diésel en la disponibilidad de los camiones Cat 797F, se recomienda priorizar estos componentes en nuestra estrategia de mantenimiento. Esto implica asignar recursos, tiempo y esfuerzo para mejorar la fiabilidad y el rendimiento de estas áreas, con el objetivo de reducir el tiempo de inactividad y optimizar la eficiencia operativa de nuestros equipos.

La implementación del Análisis Jack Knife, ha demostrado ser efectiva para identificar fallas críticas relacionadas con el tiempo de inactividad. Se recomienda continuar utilizando esta herramienta en el proceso de mantenimiento. Además, una vez que se identifica la causa raíz de una falla, se debe aplicar el Análisis de Causa Raíz al sistema correspondiente. Esta combinación nos permitirá identificar medidas correctivas y preventivas más eficaces para abordar los problemas y mejorar la confiabilidad de los equipos.

Se recomienda adoptar una estrategia de mantenimiento basada en la condición de los equipos. Esto implica la implementación de estrategias correctivas y preventivas en función de la condición actual de los equipos y de acuerdo con los objetivos establecidos por el área de mantenimiento. Al considerar el rendimiento global de los equipos en la empresa, se evitarán enfoques aislados que no tengan en cuenta los efectos interconectados. Esta estrategia permitirá optimizar la asignación de recursos y reducir los costos de mantenimiento.

Para mejorar las herramientas de gestión de equipos en las áreas involucradas en la producción, se recomienda enfocarse en el sistema de tren de mando, dada su prioridad identificada a través del Análisis Jack Knife. Se deben asignar recursos y esfuerzos adicionales para abordar las causas principales de fallas en este sistema. La mejora de la confiabilidad y disponibilidad del sistema de tren de mando contribuirá directamente a la eficiencia y productividad de nuestras operaciones.

Para garantizar el éxito de las recomendaciones anteriores, se sugiere establecer un sistema de seguimiento y medición continuos. Esto implica monitorear regularmente la eficacia de las estrategias de mantenimiento implementadas, realizar un seguimiento de los indicadores de disponibilidad y tiempo de inactividad, y ajustar las acciones en función de los resultados obtenidos. El ciclo de mejora continua es esencial para lograr un mantenimiento eficiente y optimizar el rendimiento de los equipos a lo largo del tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MMG Limited. (s.f.). *Memoria descriptiva Las Bambas Rev.1* [PDF]. Scribd. <https://es.scribd.com/document/597053641/1-Memoria-Descriptiva-rev1>
2. MMG Limited. (2016). *Informe de sostenibilidad 2016* [PDF]. Scribd. <https://es.scribd.com/document/401104856/Informe-de-Sostenibilidad-2016>
3. MMG Limited. (2021). *Quarterly production report – First quarter 2021* [PDF]. https://www.mmgl.com/wp-content/uploads/2021/04/e_2021-04-22_1QTR-Production-Report.pdf
4. PACHAO, J. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo programado para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la flota de camiones 797F en el proyecto operaciones Mina Toquepala de la empresa Ferreyros S. A. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Arequipa: Universidad Continental, 2022. 129 p. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12418>
5. CORAL, J. Simulación del proceso de mantenimiento de camiones 797f en simulador ARENA para mejora de la disponibilidad. Tesis (Grado de bachiller en Ingeniería Industrial). Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú, 2020. 61 p. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/4679>
6. REINOSO, O. Método de detección de los modos de falla del turbocompresor de los motores acert 175 de 20 cilindros baja altitud, para mejorar la disponibilidad de camiones mineros caterpillar 797f de la Unidad Minera De Toquepala. Tesis (Grado académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento con Mención en Gerencia de Mantenimiento). Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2022 Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/e6e6873c-b4c1-48dc-a4fb-fa3967494b0b>
7. MAGAN, J. Análisis de causa raíz para la evaluación de eventos no deseados en las cisternas 8C, 10C y 11C de la flota de camiones de minera Barrick 2020. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2019. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/items/d68957b6-3c40-4ff2-a3e6-4d5e484e7e98>
8. IMAN, G. & REQUE, V. Gestión de mantenimiento para incrementar la eficiencia global de los equipos de la empresa Tablenorte S.A.C. la Victoria - sede principal. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2020. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/7814>
9. MIRANDA, C. Diseño de un plan de mantenimiento basado en la estrategia RCM para un filtro prensa de relave que opera en una mina ubicada a 4800 m.s.n.m. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Lima: Universidad de Ingeniería y Tecnología UTEC, 2019. Disponible en: <https://repositorio.utec.edu.pe/handle/20.500.12815/132>
10. VIÑA, C. Aplicación de Jack Knife y análisis de causa raíz de una flota de palas electromecánicas modelo Caterpillar 7495hr de capacidad 120 Ton. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico).

- Arequipa: Universidad Católica Santa María, 2019. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/3db85844-808f-4a29-89cd-527e0aa0fbca>
11. VÍLCHEZ, M., OBLITAS, J. & CASTRO, W. Optimization of the replacement time for critical repairable components. DYNA 2020, 87, 93-99. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n214.84509>. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/84509>
 12. CAMPOS, L. et al. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. Científica, 2019. 23(1), pp. 51-59
 13. Amendola, L. (2015). Organización y gestión del mantenimiento: ¿Tus activos producen o gastan? Maintenance & Reliability Strategy Series.
 14. NORSOK, S. Risk based maintenance and consequence classification, 2011. Disponible en: [https://dl.mpedia.ir/e-books/28-\[NORSOK-Standard\]Z-008-Risk-based-maintenance-consequence-classification\[mpedia.ir\].pdf](https://dl.mpedia.ir/e-books/28-[NORSOK-Standard]Z-008-Risk-based-maintenance-consequence-classification[mpedia.ir].pdf)
 15. Knights, P.F. (2001), "Rethinking Pareto analysis: maintenance applications of logarithmic scatterplots", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 7 No. 4, pp. 252-263. <https://doi.org/10.1108/13552510110407041>
 16. Peter F. Knights. Downtime Priorities, Jack-Knife Diagrams, and the Business Cycle. Maintenance Journal (2004).
 17. SEECHARAN, T., LABIB, A., & JARDINE, A. Maintenance strategies: Decision Making Grid vs Jack- Knife Diagram. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2018. 24(1), 61-78. Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/jqme-06-2016-0023/full/html>
 18. Moubray, J. (1997). *RCM II: Mantenimiento centrado en la confiabilidad* (2ª ed.). Industrial Press, Inc.; traducción al español.

ANEXOS

1. Especificaciones técnica camión CAT 797F

Motor		
Modelo del motor	Cat C175-20	
Potencia bruta: SAE J1995	2.983 kW	4.000 hp
Potencia neta: SAE J1349	2.828 kW	3.793 hp
Calibre	175 mm	6,9"
Carrera	220 mm	8,7"
Cilindrada	106 L	6.469 pulg ³
- Las 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 (29,32 Hg) de presión barométrica. La potencia está basada en el combustible con una densidad API de 35 a 16 °C (69 °F) y un poder calorífico de 42.780 kJ/kg (18.390 BTU/lb) con el motor a 30 °C (38 °F). - No se requiere una reducción de potencia del motor en una configuración de baja altitud (LAA) hasta 2.134 m (7.000'). - No se requiere reducción de potencia del motor en una configuración de altitud elevada (HAA) hasta 4.877 m (16.000'). - Cumple con los requisitos de la EPA. Según corresponda, el Motor Cat C175-20 cumple con los requisitos sobre emisiones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.		
Pesos: aproximados		
Peso bruto de la máquina en orden de trabajo (GMW)	623.690 kg	1.375.000 lb
Gama de los pesos de las cajas	41.368 a 61.235 kg	91.200 a 135.000 lb
Gama de los pesos del chasis	210.630 a 219.146 kg	464.359 a 483.134 lb
- Consulte la política de carga útil 10/10/20 para camiones mineros Cat para obtener información sobre las limitaciones del peso bruto máximo de la máquina. - El peso de la caja varía de acuerdo con la configuración de la caja y el revestimiento. Gama de pesos para las aplicaciones conocidas. - Peso del chasis con el tanque lleno, grupo de montaje y elevación de la caja, llantas y neumáticos.		
Especificaciones de operación		
Capacidad de carga útil nominal	363 tons métricas	400 tons EE.UU.
Capacidad colmada SAE (2:1)	240-267 m ³	314-350 yd ³
Velocidad máxima: cargado	67,6 km/h	42 mph
Ángulo de dirección	40 grados	
Diámetro de giro de espacio libre de la máquina	42 m	138'

Mandos finales		
Relación diferencial	1,276:1	
Relación planetaria	16,67:1	
Relación de reducción total	21,26:1	
• Planetario de doble reducción con ejes totalmente libres.		
Transmisión		
Avance 1	11,3 km/h	7 mph
Avance 2	15,2 km/h	9,5 mph
Avance 3	20,5 km/h	12,7 mph
Avance 4	27,7 km/h	17,2 mph
Avance 5	37,2 km/h	23,1 mph
Avance 6	50,3 km/h	31,2 mph
Avance 7	67,6 km/h	42 mph
Retroceso	11,9 km/h	7,4 mph
Suspensión		
Carrera efectiva del cilindro: delantera	313,6 mm	12,3"
Carrera efectiva del cilindro: trasera	165,1 mm	6,5"
Oscilación del eje trasero	±4,0 grados	
Dispositivos de levantamiento de cajas		
Flujo de la bomba: velocidad alta en vacío	1.200 L/min	317 gal EE.UU./min
Configuración de la válvula de alivio de levantamiento	24.200 kPa	3.510 lb/pulg²
Tiempo de levantamiento de la caja a velocidad alta en vacío	25 segundos	
Tiempo de bajada de la caja: posición libre	19 segundos	
Frenos		
Cantidad de discos por lado: delantero	10	
Cantidad de discos por lado: trasero	15	
Diámetro exterior	1.067 mm	42"
Superficie de freno	330.517 cm²	51.243 pulg²
Normas	J-ISO 3450 JAN88, ISO 3450-1996	

2. Códigos MOFA Versión 4

CÓDIGO	MODOS DE FALLA FINAL
1	ROTO
2	FISURADO
3	DOBLADO
4	ROSCA/HILO DAÑADO
5	ESTIRADO
6	GOLPEADO
7	SOLDADURA FALLADA
8	DESGASTADO
9	SATURADO
10	FUGA DE ACEITE, LUBRICANTE
11	FUGA DE AIRE, GASES
12	FUGA DE AGUA
13	FUGA DE COMBUSTIBLE
14	FUGA DE REFRIGERANTE
15	FALTA LUBRICACIÓN
16	ENSAMBLADO INCORRECTO
17	DAÑO DURANTE ARMADO/MONTAJE
18	LONGITUD INCORRECTA
19	CORTOCIRCUITADO
20	CIRCUITO ABIERTO
21	VARIACIÓN DE VOLTAJE
22	SOBRECARGA
23	POCA CARGA
24	DEFECTO SOFTWARE
25	NO ARRANCA
26	CAMBIO ERRÁTICO
27	SE DESCARGA
28	DIFICULTAD DE FRENADO
29	DIFICULTAD DIRECCIONAL
30	SONIDO ANORMAL
31	ALTA TEMPERATURA
32	DESBALANCEO/VIBRACIÓN/GOLPE
33	HUMO ANORMAL

34	ATASCADO
35	SUELTO
36	CONSUME MUCHO ACEITE
37	ALTA PRESIÓN
38	BAJA PRESIÓN
39	FLUJO ALTO
40	FLUJO BAJO
41	VOLTAJE ALTO
42	VOLTAJE BAJO
43	BAJA POTENCIA
44	SOBRE REVOLUCIÓN
45	CÓDIGO ACTIVO
46	BAJO NIVEL
47	ALTO NIVEL
48	FLUIDO INCORRECTO
49	VANDALISMO/ACCIDENTE O ABUSO
50	PIEZA/HERRAMIENTA FALTANTE
51	SIN FALLA LUEGO DE EVALUAR
52	MALA OPERACIÓN
53	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
54	CORTADO
