

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y  
DE ENERGÍA**



**“APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FALLA EN EL DETERIORO  
PREMATURO DE LOS COJINETES DE BIELA DE MOTOR PARA  
MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS CAMIONES  
CATERPILLAR 797F EN UNA MINERA DE TAJO ABIERTO,  
MOQUEGUA 2021”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN GERENCIA  
DEL MANTENIMIENTO**

**AUTOR: RICHARD JESÚS MARRES CASTILLO  
JONATHAN UTRILLA FERNÁNDEZ**

**ASESOR: JUAN CARLOS HUAMÁN ALFARO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**Callao, 2023**

**PERÚ**

## Document Information

Analyzed document	2. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION UTRILLA MARRES.pdf (D174124396)
Submitted	2023-09-18 21:38:00
Submitted by	UNIDAD DE POSGRADO FIME 2023
Submitter email	fime.posgrado@unac.edu.pe
Similarity	13%
Analysis address	fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 1A-AZUL Y CASTRO -MGM-2023.docx</b> Document 1A-AZUL Y CASTRO -MGM-2023.docx (D171791261) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com	 2
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 5. TESIS - CACERES SANCHEZ CHRISTIAN KEVIN.pdf</b> Document 5. TESIS - CACERES SANCHEZ CHRISTIAN KEVIN.pdf (D142844848) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com	 22
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 3. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION TERRONES CABANILLAS.pdf</b> Document 3. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION TERRONES CABANILLAS.pdf (D174124396) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com	 6
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 12. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION PEDRO COCANEGRA.pdf</b> Document 12. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION PEDRO COCANEGRA.pdf (D174124406) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com	 1
<b>SA</b>	<b>NRC 4260 - Najarro Najarro.docx</b> Document NRC 4260 - Najarro Najarro.docx (D150886797)	 3
<b>SA</b>	<b>NRC 4260 - NAJARRO NAJARRO.docx</b> Document NRC 4260 - NAJARRO NAJARRO.docx (D148487506)	 1
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 17. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION (MANUEL BOZZO).pdf</b> Document 17. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION (MANUEL BOZZO).pdf (D174124411) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com	 3
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 2. TESIS - SANTIAGO QUISPE VELEZ.pdf</b> Document 2. TESIS - SANTIAGO QUISPE VELEZ.pdf (D142844773) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com	 3

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA  
UNIDAD DE POSGRADO

---

**ACTA DE SUSTENTACIÓN N.º 021-2023-ICTT/UPG UPG-FIME-UNAC  
DEL I CICLO TALLER DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN "GERENCIA DEL MANTENIMIENTO" – MODALIDAD CON CICLO  
TALLER DE TESIS**

**LIBRO 01 FOLIO N.º 106:107 ACTA N.º 021-2023-ICTT/UPG UPG-FIME-UNAC:  
SUSTENTACIÓN DE TESIS, PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO  
EN GERENCIA DEL MANTENIMIENTO – MODALIDAD CON CICLO TALLER DE  
TESIS.**

Siendo las *17:30* hrs. del día domingo 29 de octubre de 2023, en el Auditorio "Ausberto Rojas Saldaña" de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao, se reúne bajo la modalidad presencial, el Jurado de Sustentación del I Ciclo Taller de Tesis designado mediante Resolución del Comité Directivo de la Unidad de Posgrado N.º 061-2023-CD-UPG-FIME-UNAC, integrado por los siguientes docentes:

- Presidente: Dr. PABLO GODOFREDO ARELLANO UBILLUZ
- Secretario: Mg. JUAN ADOLFO BRAVO FÉLIX
- Vocal: Mg. JUAN GUILLERMO MANCCO PÉREZ
- Vocal: Mg. YOLANDA ROSA ÁVALOS SIGÜENZA

Con el fin de evaluar la sustentación de la tesis titulada:

**"APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FALLA EN EL DETERIORO PREMATURO DE LOS  
COJINETES DE BIELA DE MOTOR PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS  
CAMIONES CATERPILLAR 797F EN UNA MINERA DE TAJO ABIERTO, MOQUEGUA  
2021"**

Presentado por don: **UTRILLA FERNÁNDEZ, JONATHAN**

Siendo su asesor: **MG. HUAMÁN ALFARO, JUAN CARLOS**

Acto seguido se procede a la sustentación de la mencionada tesis del I Ciclo Taller de Tesis modalidad presencial, a fin de optar el Grado Académico de Maestro en Gerencia del Mantenimiento.

Luogo de la exposición correspondiente, los miembros del Jurado de Sustentación formulan las respectivas preguntas las mismas que fueron absueltas.

Terminada la sustentación, el Jurado, luego de deliberar, acuerda:

Dar por *A. PROBA*..... con el calificativo de escala de calificación cualitativa de *Buena*..... y calificación cuantitativa *80-90*..... ( *15* al mencionado tesista, conforme a lo dispuesto en el Art. 124º del Reglamento de Estudios de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución del Consejo Universitario N.º 150-2023-CU del 15 de junio de 2023., a fin de que se declare *A. PRO* para conferirle el "Grado Académico de Maestro en Gerencia del Mantenimiento de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía". Se cleva la presente Acta al director de Unidad de Posgrado de la Facultad de

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**UNIDAD DE POSGRADO**

---

Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao, para los fines correspondientes.

Se extiende la presente acta, a las 18:17 hrs del mismo día, y en señal de conformidad, los miembros del jurado de sustentación la suscribimos.

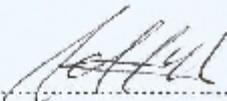
Bellavista, dc 29 de octubre de 2023



.....  
**Dr. Pablo Godofredo Arellano Ubilluz**  
**Presidente**



.....  
**Mg. Juan Adolfo Bravo Félix**  
**Secretario**



.....  
**Mg. Juan Guillermo Mancco Pérez**  
**Vocal**



.....  
**Mg. Yolanda Rosa Avalos Sigüenza**  
**Vocal**

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

### **FACULTAD**

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

### **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ENERGÍA.

### **TÍTULO:**

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FALLA EN EL DETERIORO PREMATURO DE LOS COJINETES DE BIELA DE MOTOR PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS CAMIONES CATERPILLAR 797F EN UNA MINERA DE TAJO ABIERTO, MOQUEGUA 2021.

### **AUTOR/ CÓDIGO ORCID / DNI:**

RICHARD JESÚS MARRES CASTILLO / 0000-0001-7924-9973 / 40930438

JONATHAN UTRILLA FERNÁNDEZ / 0000-0003-1052-0301 / 43652456

### **ASESOR / CÓDIGO ORCID / DNI:**

JUAN CARLOS HUAMÁN ALFARO / 0000-0001-8492-3379 / 40607588

### **LUGAR DE EJECUCIÓN:**

LA INGENIERÍA FUE REALIZADA EN LAS INMEDIACIONES DEL TALLER CENTRO DE REPARACIÓN DE COMPONENTES, UBICADO EN AVENIDA INDUSTRIAL 675, CERCADO DE LIMA.

### **UNIDADES DE ANÁLISIS:**

COJINETES DE BIELA DE MOTOR

### **TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:**

APLICADA / CUANTITATIVO / EXPERIMENTAL

### **TEMA OCDE:**

INGENIERÍA MECÁNICA

## **DEDICATORIA**

A mis padres mis hermanos y en especial a mi esposa por las palabras que nos inspiraron a conseguir todos los objetivos

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso un gran agradecimiento especial a nuestro asesor Juan Huamán por su confianza, paciencia y ánimos en la investigación de nuestro trabajo.

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	1
ÍNDICE DE TABLAS .....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
ÍNDICE DE ABREVIATURA.....	7
RESUMEN .....	8
RESUMO .....	9
INTRODUCCIÓN .....	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	12
1.2 Formulación del problema.....	15
1.3 Objetivos .....	15
1.4 Justificación .....	16
1.5 Delimitantes de la investigación .....	17
II. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1 Antecedentes .....	18
2.2 Bases teóricas .....	21
2.3 Marco Conceptual.....	37
2.4 Definición de términos básicos.....	41
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	47
3.1 Hipótesis .....	47
3.2 Operacionalización de variables .....	48
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	49
4.1 Diseño metodológico.....	49

4.2	Método de investigación. ....	50
4.3	Población y muestra.....	51
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado. ....	52
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	52
4.6	Análisis y procesamiento de datos.....	54
4.7	Aspectos Éticos en Investigación.....	71
V.	RESULTADOS.....	72
5.1	Resultados descriptivos. ....	72
5.2	Resultados inferenciales. ....	80
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	86
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados. ....	86
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares. ....	90
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	90
VII.	CONCLUSIONES.....	91
VIII.	RECOMENDACIONES .....	93
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	94
	ANEXO .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Tabla de indicadores de variables.....	48
Tabla 4.1 Método de la caja blanca mediante el análisis sintético .....	51
Tabla 4.2 Recolección de datos .....	55
Tabla 4.3 Resultado de análisis de aceite.....	56
Tabla 4.4 Eventos registrados de los camiones 797F.....	57
Tabla 4.5 Registro de eventos .....	57
Tabla 4.6 Datos de fallos por hora .....	58
Tabla 4.7 Análisis de laboratorio de cojinetes.....	63
Tabla 5.1 Nivel de análisis de falla (oct,2020 a set,2021) .....	72
Tabla 5.2 Estadísticos descriptivos de la variable independiente .....	73
Tabla 5.3 Nivel de disponibilidad (oct, 2020 a set, 2021).....	74
Tabla 5.4 Estadísticos descriptivos de la variable dependiente .....	75
Tabla 5.5 Nivel de Confiabilidad (oct, 2020 a set, 2021).....	76
Tabla 5.6 Estadísticos descriptivos de la dimensión 1 de la variable dependiente .....	77
Tabla 5.7 Nivel de mantenibilidad (oct, 2020 a set, 2021) .....	78
Tabla 5.8 Estadísticos descriptivos de la dimensión 2 de la variable dependiente .....	79
Tabla 5.9 Análisis de normalidad de la variable independiente .....	80
Tabla 5.10 Análisis de normalidad de la variable dependiente .....	81
Tabla 5.11 Análisis de normalidad de la dimensión 1 de la variable dependiente .....	83
Tabla 5.12 Histograma de la diferencia del nivel de confiabilidad (MTBF).....	84
Tabla 5.13 Análisis de normalidad de la dimensión 2 de la variable dependiente .....	84

Tabla 6.1 Estadísticas de muestras relacionadas de la hipótesis general .....	86
Tabla 6.2 Correlaciones de muestras relacionadas de la hipótesis general .....	86
Tabla 6.3 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis general .....	86
Tabla 6.4 Estadísticas de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°1 .....	87
Tabla 6.5 Correlaciones de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°1 .....	87
Tabla 6.6 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°1 .....	88
Tabla 6.7 Estadísticas de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°2 .....	89
Tabla 6.8 Correlaciones de muestras relacionadas de la hipótesis específica 2 .....	89
Tabla 6.9 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°2 .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de Ishikawa.....	13
Figura 1.2 Análisis de causa efecto en la tabla de frecuencia .....	14
Figura 2.1 Esquema de la ubicación de los cojinetes de biela.....	25
Figura 2.2 Lubricación de cojinetes de biela .....	26
Figura 2.3 Transferencia de calor generado en los cojinetes de biela .....	27
Figura 2.4 Propiedad de la capa de Plomo – Estaño de los cojinetes de biela .	28
Figura 2.5 Materiales y estructura de los cojinetes de biela según el fabricante .....	30
Figura 2.6 Materiales y estructura de los cojinetes de biela según SAE.....	31
Figura 2.7 Materiales y estructura de los cojinetes de biela según SAE.....	33
Figura 2.8 Se muestran las partículas abrasivas retiradas de un filtro en un sistema de lubricación.....	34
Figura 2.9 Desgaste abrasivo de cojinetes de biela.....	35
Figura 2.10 Erosión por cavitación de cojinetes de biela .....	36
Figura 2.11 Desgaste corrosión en cojinetes de biela.....	37
Figura 4.1 Ubicación del área de reparación y proceso de análisis de falla.....	52
Figura 4.2 Flujograma de procesos de análisis de falla .....	54
Figura 4.3 Muestra de análisis para determinar la causa raíz del problema .....	58
Figura 4.4 Monoblock 797F .....	59
Figura 4.5 Cigüeñal de motor.....	59
Figura 4.6 Filtro centrifugo .....	60
Figura 4.7 Enfriadores de aceite .....	60
Figura 4.8 Objeto de estudio, Cojinetes de Motor .....	61

Figura 4.9 Metales de biela y bancada de muestra.....	61
Figura 4.10 Desgaste excesivo en los cojinetes .....	62
Figura 4.11 Secciones de los cojinetes analizados.....	64
Figura 4.12 Medidas del espesor del recubrimiento 1 - Muestras 1 y 2.....	65
Figura 4.13 Medición de espesores-Recubrimientos 2 y 3 - Muestras 1 y 2,....	66
Figura 4.14 Zonas de análisis químico -Muestra 1 , 500X y 2500X .....	67
Figura 4.15 Espectro obtenido de los diferentes análisis en área y punto .....	67
Figura 5.1 Nivel de análisis de falla (oct, 2020 a set, 2021).....	73
Figura 5.2 Nivel de disponibilidad (oct, 2020 a set, 2021).....	75
Figura 5.3 Nivel de confiabilidad (oct, 2020 a set, 2021) .....	77
Figura 5.4 Nivel de mantenibilidad (oct, 2020 a set, 2021) .....	79
Figura 5.5 Histograma de la diferencia del nivel de Análisis de falla.....	81
Figura 5.6 Histograma de la diferencia del nivel de % Tiempo útil del equipo ..	82
Figura 5.7 Histograma de la diferencia del nivel de Mantenibilidad (MTTR).....	85

## ÍNDICE DE ABREVIATURA

**MTBF:** Tiempo medio entre fallos

**MTTR:** Tiempo medio para reparar un fallo

**CRC:** Centro de reparación de componentes

**MCC:** Mantenimiento centro en la confiabilidad

**MP:** Mantenimiento preventivo

**C:** Costos

**Mtto:** Mantenimiento

**SAE:** Sociedad de ingenieros de automoción

**TPM:** Mantenimiento Productivo Total

**MTBS:** Tiempo medio entre paradas

**SMU:** Unidad de medidor de servicio (Service Meter Unit)

**CAT:** Caterpillar

**NPR:** Índice de prioridad de riesgo

**CM:** Mantenimiento correctivo

**RCA:** Análisis causa raíz

**AMEF:** Análisis de modos y efecto de fallas

**KPA:** Kilo pascal

**MC:** Mantenimiento correctivo

## RESUMEN

En el trabajo de investigación la problemática de las fallas imprevistas de los camiones Caterpillar 797F y al tener una disponibilidad por debajo del 85% por ello se tiene como objetivo principal la aplicación del análisis de falla por el deterioro prematuro de los cojinetes de biela de motor para poder incrementar la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F de una minera de tajo abierto en Moquegua donde se aplicó los 8 pasos del proceso de análisis de falla la cual inicia con la identificación del problema, con este proceso llegaremos a encontrar la causa raíz de las fallas.

Este tipo de investigación es aplicada con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental ya que se manipulará la variable independiente de tal forma que nos permita analizar la variable dependiente que es la disponibilidad. El método de investigación empleada es analítico y sintético, ya que nos ayudó analizar el objeto y estudiarla de forma individual, luego unir y estudiar el conjunto de forma general e integral, lo cual aplicamos el método de la caja blanca.

En esta aplicación de análisis de falla se recopila información de la muestra para contrastarlo con el software SPSS, con ello verificamos el aumento de la disponibilidad lo cual permite un ahorro significativo. Como conclusión se tiene que al realizar la aplicación del análisis de falla se tuvo incremento del 5.4% en la disponibilidad para los camiones Caterpillar 797F.

**PALABRAS CLAVES:** Cojinetes de biela, Análisis de falla, Disponibilidad

## RESUMO

No trabalho de pesquisa foi abordado o problema de falhas imprevistas dos caminhões Caterpillar 797F e com disponibilidade inferior a 85%, portanto, o objetivo principal é a aplicação de análise de falhas devido à deterioração prematura dos rolamentos da biela do motor, a fim de aumentar a disponibilidade dos caminhões Caterpillar 797F de uma mineradora a céu aberto em Moquegua onde foram aplicadas as 8 etapas do processo de análise de falhas, que começa com a identificação do problema, com este processo encontraremos a causa raiz dos problemas. .

Este tipo de pesquisa é aplicada com abordagem quantitativa e desenho experimental, pois a variável independente será manipulada de forma que nos permita analisar a variável dependente, que é a disponibilidade. O método de pesquisa utilizado é analítico e sintético, pois nos ajudou a analisar o objeto e estudá-lo individualmente, para depois unir e estudar o todo de forma geral e abrangente, ao qual aplicamos o método da caixa branca.

Nesta aplicação de análise de falhas são recolhidas informações da amostra para contrastá-la com o software SPSS, verificando-se assim o aumento da disponibilidade que permite poupanças significativas. Concluindo, ao aplicar a análise de falhas, houve um aumento de 5,4% na disponibilidade dos caminhões Caterpillar 797F.

PALAVRAS-CHAVE: Rolamentos de bielas, Análise de falhas, Disponibilidade

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el análisis de falla es un proceso importante en la gestión del mantenimiento el cual nos permite poder determinar la detección de fallas y la causa raíz del problema en distintos elementos mecánicos que normalmente están expuesto a comportamiento y esfuerzos críticos, la cual pueden generar daños severos que no solo involucran daños materiales y económicos si no sino que también pueden llegar a verse involucradas perdidas más importantes, como vidas humanas si no se establecen controles ni prevenciones en sus respectivos mantenimientos.

Por tanto, las empresas mineras requieren incluir el proceso de análisis de falla en su gestión de mantenimiento para reducir las fallas imprevistas, reducir costos adicionales, no adicionar horas hombres en reparaciones y aumentar la disponibilidad de todos sus activos.

Ferreyros S.A es una empresa representante de la marca Caterpillar por más de 80 años, es líder en la comercialización de bienes de capital en el país y en la provisión de servicios en este ámbito. En ese sentido la importancia de incluir el proceso de análisis de falla durante el plan de mantenimiento de la minera de tajo, para incrementar la disponibilidad de los camiones mineros Caterpillar 797F y a su vez cumplir con la vida útil de estos activos.

Para ello se deberá analizar las diferentes fallas prematuras que vienen presentando los cojinetes de biela de motor que se deterioran a tempranas horas de operación por motivos aún desconocidos.

En este presente trabajo de proyecto de tesis titulado "APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FALLA EN EL DETERIORO PREMATURO DE COJINETES DE BIELA DE MOTOR PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS CAMIONES CATERPILLAR 797F EN UNA MINERA DE TAJO ABIERTO, MOQUEGUA 2021" se aplicará un diseño experimental.

En el capítulo I, se describe el planteamiento del problema, donde se describe la problemática del deterioro prematuro de los cojinetes de biela de motor y el estudio de la causa raíz por el análisis de falla.

En el capítulo II, se realiza el marco teórico, donde se menciona los antecedentes indicando el objetivo y aporte al trabajo de investigación, bases teóricas, marco conceptual, definición de términos básicos referente al análisis de falla de los 8 pasos, MTBF, MTTR y disponibilidad para los camiones CAT 797F.

En el capítulo III, se plantea las hipótesis y variables que permitirán la elaboración de la matriz de operacionalización de las variables.

En el capítulo IV, se desarrolla la metodología del proyecto, la cual consiste en el diseño metodológico, método de investigación, población y muestra, lugar de estudio, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, análisis y procesamiento de datos y aspectos éticos en la investigación.

En el capítulo V, se visualiza los resultados y la contrastación con las hipótesis planteadas.

En el capítulo VI, se realiza la discusión de resultados para la contratación y demostración de las hipótesis con otros estudios similares.

Se concluye con el capítulo VII, capítulo VIII y capítulo IX, donde se elabora las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos empleados en el informe final de la tesis.

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 Descripción de la realidad problemática**

(GUTIERREZ, RODRIGUEZ, & LAVADO, 2020) en su artículo se considera la aplicación del análisis fallo para mejorar la disponibilidad y minimizar el riesgo de unidades paradas, en base al estudio de sus dimensiones de Confiabilidad y Mantenibilidad para prolongar la vida útil de los activos; generando mayor rentabilidad con el cumplimiento de los indicadores de gestión

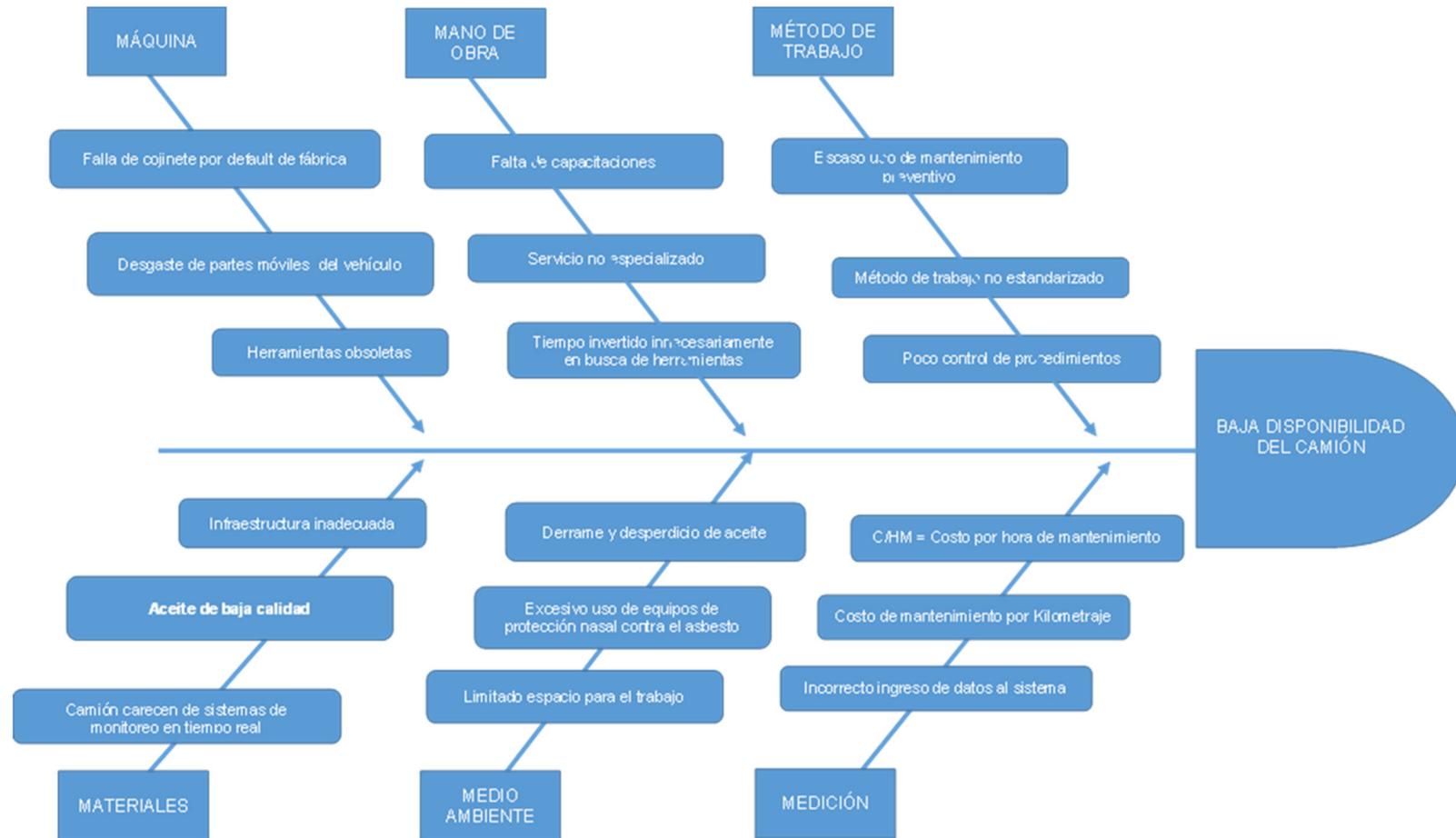
(GUERRA , ORDONEZ, & GONZALEZ, 2019) en el Perú también es importante mantener la disponibilidad de los equipos para darles un adecuado servicio a nuestros clientes; sin embargo, todavía existen ciertas restricciones en la aplicación del análisis de fallas por la falta de capacitación en los cuadros técnicos.

En nuestra organización como una empresa de servicios a una determinada empresa dedicada al rubro de la minería, tenemos que también mantener disponibles los equipos de este cliente y para ello estamos desarrollando esta herramienta a fin de potenciar los cuadros técnicos.

En nuestra organización hemos detectado a través de las diferentes herramientas de la ingeniería que hay una baja disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, Moquegua y vamos a proponer como método de solución la aplicación del análisis de falla.

Este análisis se realizó en primer lugar con el diagrama Ishikawa que se presenta a continuación

Figura 1.1 Diagrama de Ishikawa

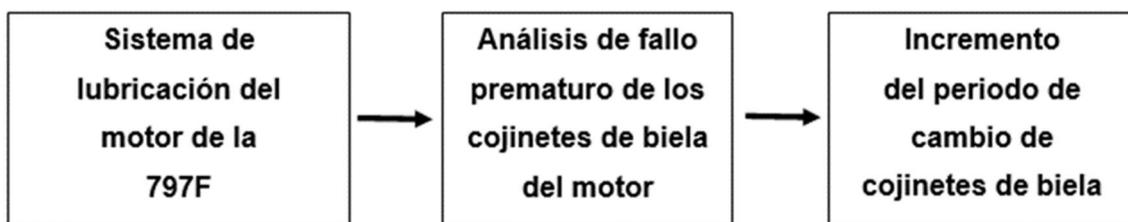


Este capítulo describe y analiza el problema de la falla prematura de los cojinetes biela de los motores Caterpillar serie 797F de camiones mineros. El problema se caracteriza por los altos costos de mantenimiento que recargan los costos de producción, entonces es necesario elegir una metodología de análisis de fallo de los cojinetes biela en pleno funcionamiento en el los motores Caterpillar serie 797F.

El incremento de periodos de cambio de cojinetes en base a los nuevos procedimientos predictivos es valioso para aumentar la producción y disminuir los tiempos de paradas imprevistas, pero, la filosofía del mantenimiento ha evolucionado y la medición directa de la condición de la máquina, es ahora la base de los programas de mantenimiento

Muchos de los cojinetes de biela que trabajan instalados en los motores Caterpillar de la serie 797F, presentan fallas prematuras entre las 4 000 y 8 000 horas de operación cuando su vida útil de operación es 12 000 horas estas fallas provocan paradas inesperadas de la maquinas donde van instalado deteniendo la producción de mineral en las diversas mineras donde operan estas máquinas.

Figura 1.2Análisis de causa efecto en la tabla de frecuencia



Fuente: Zapata (análisis de falla de cojinetes de biela de camiones de 2300 hp para minería, Lima 2019)

Un programa eficaz de análisis de cojinetes de biela en operación del sistema del motor Diesel le permitirá aumentar la disponibilidad del camión Caterpillar 797F, y reducir simultáneamente los costos de mantenimiento asociados a las interrupciones para cambios de cojinetes, la mano de obra, las reparaciones y los tiempos de inactividad. Por lo expuesto, es necesario utilizar equipos e

instrumentos que ofrece una variedad de análisis de cojinetes para evaluar distintos aspectos, por ejemplo:

- Condición del lubricante para ver si el fluido del sistema está en buenas condiciones y puede seguir en servicio.
- Presencia de contaminantes procedentes del entorno que puedan causar que la maquina falle innecesariamente.
- Presencia de partículas de desgaste que puedan indicar daños en la máquina.
- Diseño de la estructura de los cojinetes de biela.

## **1.2 Formulación del problema**

### **Problema general**

¿De qué manera la aplicación del análisis de Falla, en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua ,2021?

### **Problema específico**

- ¿De qué manera la aplicación del análisis de Falla, en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua,2021?
- ¿De qué manera la aplicación del análisis de Falla, en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la Mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua,2021?

## **1.3 Objetivos**

### **Objetivo General**

Aplicación del Análisis de Falla en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor para mejorar la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua,2021.

## **Objetivo específico**

- Aplicación del Análisis de Falla en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor para mejorar la confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua,2021
- Aplicación del Análisis de Falla en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor para mejorar la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua,2021.

## **1.4 Justificación**

### **Justificación Tecnológica**

Su justificación tecnológica se aplicará dentro del contexto del análisis de falla se utilizarán herramientas actualizadas de Caterpillar para el diagnóstico certero de causa raíz de la falla por medio de equipamientos homologados.

### **Justificación Económica**

Su justificación económica debido a que su aplicación ayudara a mejorar la disponibilidad de la flota de los camiones Caterpillar 797F, lo que con lleva poder disminuir las paradas imprevistas, reparaciones no programadas lo que trae un ahorro económico en el costo y así mejorar la utilidad.

### **Justificación Teórica**

Su justificación teórica se basará en la discusión de los resultados obtenidos en esta investigación con los resultados de otras investigaciones, además de contribuir como ejemplo para futuras investigaciones similares

### **Justificación metodológica**

Su justificación metodológica debido a que se aplicara la metodología del análisis de falla basado en el proceso de los 8 pasos dispuestos por Caterpillar para reducir el deterioro prematuro de los cojinetes de biela.

### **Justificación Practica**

Su justificación practica dará solución al problema de la baja disponibilidad al

aplicar la metodología 8 pasos del análisis de falla para los camiones Caterpillar 797F, a fin de implementar medidas de mantenimiento que la empresa pueda seguir realizando después de la investigación.

## **1.5 Delimitantes de la investigación**

### **Delimitante teórica**

La presente investigación genera información sustancial sobre la evaluación y análisis de falla a cojinetes de biela de camión 797F para el mejoramiento del activo y así puedan los cojinetes alcanzar su vida útil.

La información para realizar este estudio tiene la delimitación teórica, se emplea teorías y bibliográficas específicas para el análisis de falla para los cojinetes de biela de un camión minero 797F. Por ello acudimos a la norma internacional (UNE-EN-60812-2008) análisis de modo y efecto de fallos “AMEF” y al manual de los equipos.

### **Delimitante temporal**

En la presente investigación se implementó el análisis de falla a los cojinetes de bielas de motor durante un periodo antes y después (12 meses) dando inicio el mes de octubre del 2020 hasta setiembre del 2021 donde se realizaron los análisis respectivos a los camiones mineros 797F.

### **Delimitantes espacial**

Según el autor Bernal explica que aquellas demarcaciones del espacio geográfico dentro del cual tendrá lugar una investigación (Bernal, 2010) , El trabajo de investigación tiene como delimitante espacial el taller de CRC (Centro de reparación de componentes), ubicada en av. Industrial 675 Cercado de Lima.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes**

Para su elaboración de la tesis, encontramos diferentes trabajos de investigación de nivel nacional e internacional, que aportan al desarrollo del informe final de la tesis.

#### **Antecedente internacional**

(GARCÍA, SAUCEDO, PEREZ, & OSORNIO, 2021) ; en su artículo los autores tuvieron el objetivo de incrementar su vida útil y minimizar los gastos de mantenimiento. Se aplicó una metodología de diagnóstico basada en el cálculo y reducción de indicadores estadísticos estimados de señales de vibración para la detección de fallas de encendido o por chispa en un motor de combustión interna (MCI).

Los resultados obtenidos de este artículo recopilan patrones bidimensionales que presentan claramente la separación de las diferentes condiciones de operación, dichos resultados demuestran que la metodología permite detectar fallas en MCI generadas en el sistema de encendido y que la detección de las fallas se puede realizar de forma efectiva independientemente de la velocidad de giro del motor.

(ANDRADE & HERRERA, 2021); en su artículo los autores tuvieron como objetivo realizar un análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la industria, así como mostrar en forma detallada una metodología para su aplicación.

Los resultados exponen las bases teóricas y fundamentan la gestión del mantenimiento centrada en la confiabilidad con respecto a los aspectos actuales, tradición y particularidades de la gestión del eficiente del mantenimiento.

(BUENAÑO, VILLAGRÁN, & SANTILLAN, 2019) en su artículo tiene como objetivo proponer una metodología adaptada a la medición de indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en locomotoras diésel-eléctricas

complementándose en una auditoría de gestión de mantenimiento para lograr la identificación de problemas administrativos

Se concluyo que los resultados obtenidos en la auditoría revelan un estado regular de la gestión con un 55,78%, mientras que el análisis CMD proyecta índices bajos de confiabilidad correctiva de 29,68%, confiabilidad preventiva de 39,77%, mantenibilidad correctiva de 85,79%, mantenibilidad preventiva de 68,80% y una disponibilidad alcanzada de 73.30%. Los resultados permitieron identificar los problemas administrativos principalmente en el mantenimiento preventivo y programado, facultándole a la organización el generar un modelo de gestión de mantenimiento adecuado a su realidad.

(FLORES, MEDINA, VARGAS, & VINUEZA, 2020), en su tiene como objetivo, desarrollar una herramienta en Excel utilizando criterios de disponibilidad y criticidad de los equipos para la asignación de modelos de mantenimiento.

Como resultado y aplicación de esta investigación se obtuvo una disponibilidad del 95.51% en el equipo, considerando cada variable para su (DUARTE, RAMON, & VALENCIA, 2020)cálculo.

(DUARTE, RAMON, & VALENCIA, 2020) en su artículo de muestra la capacidad de las emisiones acústicas para realizar un diagnóstico rápido y de bajo costo, sin necesidad de realizar modificaciones físicas relevantes en el motor.

Como resultado obtenido muestran que la comparación de las señales acústicas de dos períodos de tiempo diferentes permite evaluar rápida y fácilmente los cambios en las condiciones del motor. La sensibilidad de las emisiones acústicas permite identificar diferentes condiciones de carga del motor.

### **Antecedente nacional**

(GUTIERREZ & TENA, 2019) en su tesis con el título “Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos y máquinas del laboratorio de mecánica de fluidos y máquinas térmicas de la Fime-UNAC 2018”, Trabajo de titulación para conferírsele el título de Maestro en Gerencia de Mantenimiento.

Universidad Nacional del Callao. Tiene como objetivo principal proyectar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos y máquinas del laboratorio de mecánica de fluidos y máquinas térmicas FIME-UNAC a fin de garantizar la continuidad de su vida operativa de los mismos y comprobar los aspectos teóricos mediante los experimentos.

Del presente proyecto se lograría que la disponibilidad de los equipos y máquinas aumentaran en promedio de 68,75% al 86,75%, mediante la proyección del plan de mantenimiento propuesto, lograríamos nuestro objetivo de mejorar la disponibilidad de las unidades experimentales de nuestra muestra.

(ALDANA, 2019) en su tesis con el título “Gestión del Mantenimiento Preventivo para mejorar la disponibilidad en los equipos mineros de transporte en la unidad Inmaculada-Ayacucho de la empresa Unión de Concreteras S.A”. Trabajo de titulación para conferírsele el título de Maestro en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Nacional del Callao. Tiene como objetivo establecer de qué manera la gestión del mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad en los equipos mineros de transporte.

Del presente trabajo establece que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo es vital para la producción de cualquier empresa, de él va a depender que la empresa cuente con una estabilidad económica rentable.

(RASHUAMAN, 2019) en su tesis con el título “Modelo de gestión de mantenimiento para el incremento de disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrífugas”. Trabajo de graduación para conferírsele el título de Maestro en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Nacional del Callao. Tiene como objetivo generar mayor volumen de producción, y con la finalidad de conseguir mayor rentabilidad de la empresa, con personal altamente capacitado y entrenado utilizando la tecnología de punta en diferentes procesos de producción e identificando las máquinas críticas del proceso.

Los resultados de la implantación del nuevo modelo de gestión de mantenimiento se logró un incremento de un 2.5 % de disponibilidad de las máquinas de la

empresa de fabricación de bombas centrifugas, formando gran parte del incremento de la producción de 9 a 22 toneladas mensuales

(LLONTOP, 2018) en su tesis con el título “Gestión de mantenimiento y disponibilidad mecánica para el equipo LH307 - Cargador frontal de bajo perfil, aplicado en minería subterránea.” trabajo de graduación para conferírsele el título de Maestro en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Nacional del Callao. Tiene como objetivo mejorar la productividad de los equipos, lo cual se puso atención en la gestión de mantenimiento de los equipos, en especial a los indicadores de gestión como la confiabilidad, la disponibilidad mecánica del equipo y la utilización.

Se lograría una mejora en el plan de mantenimiento original del fabricante de los equipos LH307, para disminuir la frecuencia entre mantenimientos y realizar mayor número de mantenimiento preventivo e inspecciones y de esta manera disminuir las paradas por mantenimiento correctivo

(LIZARRAGA, 2018) en su tesis con el título “Gestión gerencial de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos en la empresa corporación petrolera S.A.C” Trabajo de graduación para conferírsele el título de Maestro en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Nacional del Callao. Tiene como objetivo aplicar un plan estratégico basado en tres pilares de gestión: talento humano, procesos y tecnología. Se logró establecer un plan de mantenimiento específico con formatos, informes e indicador, adecuados para las tareas de mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos, estableciendo procesos definidos para las actividades críticas que se desarrollan en el departamento de mantenimiento.

## **2.2 Bases teóricas**

### **Mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC)**

Durán (2012) indicó que a través de él se busca establecer las necesidades de mantenimiento para optimizar las operaciones. Analizando las especificaciones de los activos, establecer cuáles pueden llegar ser sus fallas, para establecer que las origina, indagar sus efectos y cuáles pueden ser sus consecuencias.

Partiendo de la evaluación de estas, se establecen las estrategias más eficaces para su contexto operativo, demandando que sean factibles tanto de manera técnica como económica (2000, pág. 21). La información que se encuentre deberá ser analizada para luego ser utilizada teniendo en cuenta todas las condiciones que presenten para su análisis el cual será orientado hacia la mejora del proceso.

El mantenimiento es uno de los ejes fundamentales dentro de la industria, está cuantificado en la cantidad y calidad de la producción; El mismo que ha estado sujeto a diferentes cambios al paso del tiempo; en la actualidad el mantenimiento se ve como una inversión que ayuda a mejorar y mantener la calidad en la producción. El mantenimiento nos ayuda a incrementar la confiabilidad y vida útil del activo además de prevenir fallas de los equipos garantizando eficacia para evitar costes por averías de los equipos.

### **Tipos de Mantenimiento.**

El mantenimiento es aquella acción por medio de la cual se busca mejorar ciertos aspectos relevantes en un determinado establecimiento como la seguridad, confort, productividad, higiene, imagen (PARRA & CRESPO, Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos, 2012).

Existen cuatro tipos de mantenimientos:

#### **Mantenimiento correctivo.**

El mantenimiento correctivo, también conocido como reactivo, es aquel que se aplica cuando se produce algún error en el sistema, ya sea porque algo se averió o rompió. Cuando se realizan estos mantenimientos, el proceso productivo se detiene, por lo que disminuyen las cantidades de horas productivas. Estos mantenimientos no se aplican si no existe ninguna falla. Es impredecible en cuanto a sus gastos y al tiempo que tomará realizarlo (PARRA, Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos, 2012).

### **Mantenimiento preventivo.**

Este mantenimiento, también conocido bajo el nombre de planificado, se realiza previo a que ocurra algún tipo de falla en el sistema. Como se hace de forma planificada, no como el anterior, se aprovechan las horas ociosas para llevarlo a cabo. Este mantenimiento sí es predecible con respecto a los costos que implicará, así como también el tiempo que demandará (Parra y Crespo, 2012).

### **Mantenimiento predictivo.**

Con este mantenimiento se busca determinar la condición técnica, tanto eléctrica como mecánica, de la máquina mientras esta está en funcionamiento. Para que este mantenimiento pueda desarrollarse se recurre a sustentos tecnológicos que permitan establecer las condiciones del equipo. Gracias a este tipo de mantenimientos se disminuyen las pausas que generan en la producción los mantenimientos correctivos. Así, se disminuyen los costos por mantenimiento y por haber detenido la producción (Parra y Crespo, 2012).

### **Mantenimiento proactivo.**

Esta clase de mantenimiento está asociados a los principios de colaboración, sensibilización, solidaridad, trabajo en equipo, etcétera, de tal forma que quienes estén directa o indirectamente involucrados, deben estar al tanto de los problemas de mantenimiento. Así, tanto los técnicos, directivos, ejecutivos y profesionales actuarán según el cargo que ocupen en las tareas de mantenimiento. Cada uno, desde su rol, debe ser consciente de que deben responder a las prioridades del mantenimiento de forma eficiente y oportuna.

En el mantenimiento proactivo siempre existe una planificación de las operaciones, que son agregadas al plan estratégico de las organizaciones. Además, periódicamente se envían informes a la gerencia aclarando el progreso, los aciertos, logros y errores de las actividades (Parra y Crespo, 2012).

### **Evaluación de la carga sobre los cojinetes.**

Los problemas mecánicos en los motores diésel en general, mayormente provienen por falta de una lubricación y enfriamiento eficiente practicado por el

taller de mantenimiento y el operador.

En consecuencia, la confiabilidad del motor depende de los siguientes factores:

- Estructura de los cojinetes y propiedades de resistencia mecánica.
- Calidad de maquinado y precisión en la fabricación del árbol.
- Cargas máximas y medias por cada ciclo y tipos de los esfuerzos transmitidos.
- Sistema de suministro del aceite a los cojinetes, cantidad de aceite suministrado, presión y temperatura, viscosidad y propiedades físico-químicas del mismo.

### **Lubricante usado**

Según la revista Agency for toxic substances and Disease Registry (1997), menciona que el aceite usado del cárter es llamado también aceite usado de motor. La exposición a este aceite puede ocurrir al cambiar el aceite de su automóvil o de otro tipo de motor. La exposición a niveles de aceite usado del cárter muy altos puede producir salpullidos, dolores de cabeza y temblores. Se ha encontrado aceite usado del cárter en por lo menos 85 de los 1,416 sitios de la Lista de Prioridades Nacionales identificados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

Desde el motor más pequeño hasta la maquinaria más costosa, los lubricantes son la clave para su funcionamiento adecuado y, en muchos casos, para mantener operativa toda la producción. El análisis de aceite es una herramienta de mantenimiento predictivo decisiva para alertar con tiempo sobre condiciones anómalas.

La degradación del aceite provoca fallos imprevistos y costosos tiempo de inactividad en las piezas móviles del motor (biela, pistones y anillos) Cuando los lubricantes se contaminan o son de baja calidad, las máquinas sufren las consecuencias. Si estos problemas no se detectan a tiempo, afectan el funcionamiento y la eficiencia de las máquinas, y pueden llegar a causarles daños irreparables.

Se considera que el aceite lubricante usado es todo aquel aceite lubricante (motor de transmisión o hidráulico, con base mineral o sintética), de desecho, generado a partir del momento en que deja de cumplir la función inicial para la cual fue destinado.

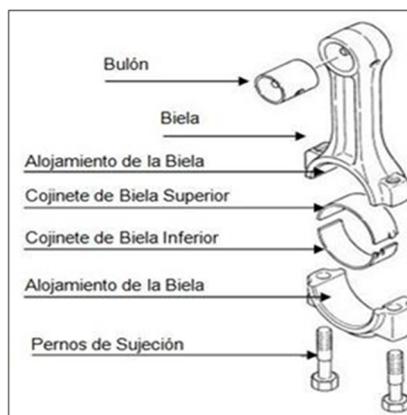
Los aceites lubricantes se contaminan, durante su utilización, con productos orgánicos de oxidación, con otros materiales como carbón, con productos provenientes del desgaste de los metales y con otros sólidos. Cuando los aditivos se degradan, el aceite pierde sus propiedades, generándose los aceites lubricantes usados, los cuales deben ser almacenados, transportados, reciclados, reprocesados o eliminados evitando la contaminación del ambiente y la afectación a los seres vivos.

Según la Organización de las Naciones Unidas-ONU, el aceite lubricante usado es clasificado como un Residuo Peligroso, pues sus principales contaminantes son altamente tóxicos (Plomo, Cloro, Bario, Magnesio, Zinc, Fósforo, Cromo, Níquel, Aluminio, Cobre, Estaño y Azufre, entre otros) y su uso inadecuado afecta no sólo a los seres vivos sino también al medio ambiente.

### **Cojinetes de biela**

Los metales de biela son cojinetes planos ubicados entre los muñones o puños del eje cigüeñal y los alojamientos de las bielas. En la Figura 1 se muestra el detalle:

Figura 2.1 Esquema de la ubicación de los cojinetes de biela



Fuente: Zapata (Análisis de falla de cojinetes de biela de camiones de 2300 hp para minería)

2019)

## Lubricidad

Según la revista Lubricidad Energy Glossary (2023) menciona que es un aditivo para lodo para reducir el esfuerzo de torsión (la fricción de rotación) y la resistencia al avance (la fricción axial) en el pozo y para lubricar los rodamientos de la barrena si no están sellados. Los lubricantes pueden ser sólidos, tales como las perlas de plástico, las perlas de vidrio, las cáscaras de nuez y el grafito, o líquidos, tales como los aceites, los fluidos sintéticos, los glicoles, los aceites vegetales modificados, los jabones de ácidos grasos y los surfactantes.

Los cojinetes de biela proveen una superficie de deslizamiento en momentos donde el espesor de la capa lubricante es reducido, por ejemplo, en el arranque del motor. Esta propiedad permite al cojinete proteger al eje cigüeñal y a sí mismo cuando solo existe una pequeña cantidad de aceite residual entre ambas superficies. Debido a que la primera capa del cojinete es una capa 'antifricción' los muñones o puños del cigüeñal deslizan fácilmente minimizando la generación de calor.

Figura 2.2 Lubricación de cojinetes de biela



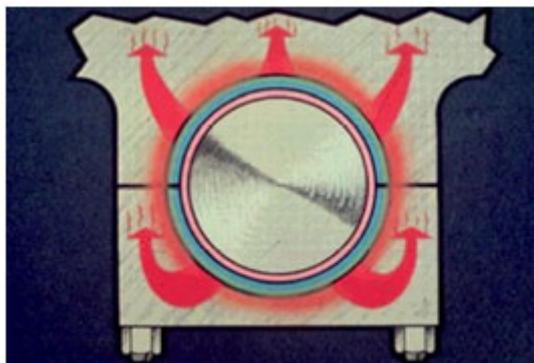
Fuente: CATERPILLAR INC. *Applied Failure Analysis: Engine Bearings*, SESV8001, 2000. p.3

## Transferencia de calor

Según Jiménez Carballo (2018) menciona que es el resultado de interacciones moleculares. Las moléculas de un objeto que está a una temperatura más alta vibran con mayor rapidez, estas chocan contra las moléculas menos energéticas situadas en la parte de menor temperatura del objeto. Como resultado del choque las moléculas que se mueven a mayor velocidad transfieren una parte de su energía a las que se mueven más despacio. De esta forma se dice que la transferencia de calor por conducción siempre se da de una región con temperatura más alta hacia una región con temperatura más baja. Se trata de una transferencia como resultado de una diferencia de temperaturas.

El calor que se genera en la zona de rozamiento entre los muñones del cigüeñal y los cojinetes de biela, debido a la fricción, es únicamente removido por conducción a través del cojinete hacia la biela y el bloque del motor, tal como se muestra esquemáticamente en la Figura 4. Por este motivo es que los cojinetes son diseñados y construidos con materiales adecuados para poder transferir el calor, tales como el cobre o el aluminio.

Figura 2.3 Transferencia de calor generado en los cojinetes de biela



Fuente: CATERPILLAR INC. *Applied Failure Analysis: Engine Bearings*, SESV8001, 2000. p.3

### **Incrustabilidad y Conformabilidad**

Según Gutiérrez Castillo (2012) menciona que la conformabilidad de chapas metálicas suele evaluarse mediante los diagramas FLD (Forming Limit Diagrams), que informan sobre el límite de conformado de un material representado por la curva FLC (Forming Limit Curve). Estos diagramas y curvas

han sido empleados durante años para estudiar la conformabilidad de un material y como criterio de fallo en la simulación por elementos finitos del conformado de componentes estructurales.

Cuando los intervalos de cambio de aceite y filtros son muy prolongados, las partículas pueden sobre pasar los filtros. Si estas partículas penetran el área de los cojinetes son atrapadas por la capa Plomo-Estaño, removiendo del sistema. Esta propiedad se conoce como incrustabilidad. La capa Plomo-Estaño de los cojinetes permite que la superficie se adapte al perfil de los muñones del cigüeñal. Esta función se conoce como conformabilidad.

La Figura 2.4 muestra la sección transversal de un cojinete de biela con 400 aumentos de magnificación. Se puede apreciar la capa Plomo-Estaño con partículas negras atrapadas, protegiendo de esta manera al cigüeñal y al cojinete de desgaste abrasivo.

Figura 2.4 Propiedad de la capa de Plomo – Estaño de los cojinetes de biela



Fuente: CATERPILLAR INC. *Applied Failure Analysis: Engine Bearings*, SESV8001, 2000. p.3

### **Resistencia a la fatiga**

Según la página web Ingemecánica menciona la resistencia a fatiga de los materiales se ve muy afectada por aquellas zonas o partes del material donde se produzcan concentraciones de tensiones.

Las cargas que se presentan en los cojinetes de biela son fuerzas de compresión debido al movimiento recíprocante de los pistones, producto de la combustión. Asimismo, se producen fuerzas de fricción por el deslizamiento ocasionado por

los movimientos rotativos del eje cigüeñal y de la biela. Los cojinetes deben poseer una adecuada resistencia a la fatiga para soportar estas cargas cíclicas.

### **Materiales y estructura de los cojinetes de biela**

Según Amador Patiño (2016) menciona que Una aleación de metal blanco debe asegurar una baja fricción y capacidad para soportar la carga sin gripar, distorsionarse, fallar mecánicamente o sufrir corrosión.

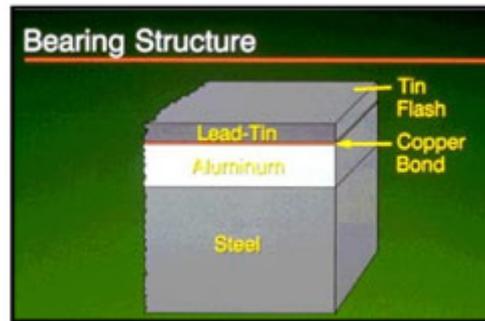
Los cojinetes de biela están compuestos de varias capas, las cuales proporcionan las propiedades para cumplir las funciones descritas anteriormente. Es sumamente importante que las capas tengan el tamaño adecuado y sean de materiales que permitan a los cojinetes desempeñar las funciones de manera correcta, evitando fallas prematuras o desgaste excesivo. En la industria se utilizan comúnmente dos tipos de cojinetes: los de Aluminio y los de Cobre-Plomo.

### **Materiales y estructura según el fabricante**

Según Amador Patiño (2016) menciona que el Babbitt es uno de los metales denominados como antifricción cuyas aleaciones principales son Estaño, Plomo, Antimonio y Cobre. Existen 2 tipos de metales Babbitt; el primero tiene base de Estaño con más de un 50% de este material y presenta buena adherencia sobre una base de hierro y tienen buena dureza en temperatura ambiente. El segundo tipo, tiene base Plomo y también posee más del 50% de este material. Éste tiene poca adherencia sobre la base de hierro y tiene menor dureza a temperatura ambiente, pero conforme se eleva su temperatura el descenso de sus propiedades físicas no es tan acentuado como el que tiene base estaño.

Como primera fuente sobre el material se ha tomado información de un seminario sobre Análisis de Fallas del fabricante de los cojinetes. En la Figura 6 se muestra la sección transversal del cojinete y los elementos que componen su estructura:

Figura 2.115 Materiales y estructura de los cojinetes de biela según el fabricante



Fuente: CATERPILLAR INC. Applied Failure Analysis: Engine Bearings, SESV8001, 2000. p.7

A continuación, se describirán cada una de las capas en el siguiente orden: la capa de arriba en la Figura 2.5 (Tin Flash – Capa de estaño) será la primera capa, mientras que la de abajo en la Figura 2.5 (Steel-Acero) será la última capa.

#### **Capa de Estaño ('Tin Flash')**

Es la capa más delgada, de aproximadamente 0.5 micras de espesor. Provee protección contra la corrosión al cojinete.

#### **Capa de Plomo-Estaño ('Lead-Tin')**

Es una capa bastante suave que desempeña la función de lubricidad, incrustabilidad y conformabilidad. Su espesor es de aproximadamente 20-30 micras.

#### **Capa de Cobre ('Copper Bond')**

En inglés se le llama 'Bonding layer', es decir, la capa brinda buena adherencia entre la capa intermedia y la capa de Plomo-Estaño (Lead-Tin). Su espesor es de aproximadamente 2-3 micras.

#### **Capa de Aluminio ('Aluminum')**

La cuarta capa es de Aluminio. Representa un 10% del espesor del cojinete y posee una resistencia adecuada para las cargas cíclicas. Además, es un buen conductor que transmite el calor rápidamente desde la superficie interior del cojinete hacia la capa de acero durante la operación.

## Capa de Acero ('Steel')

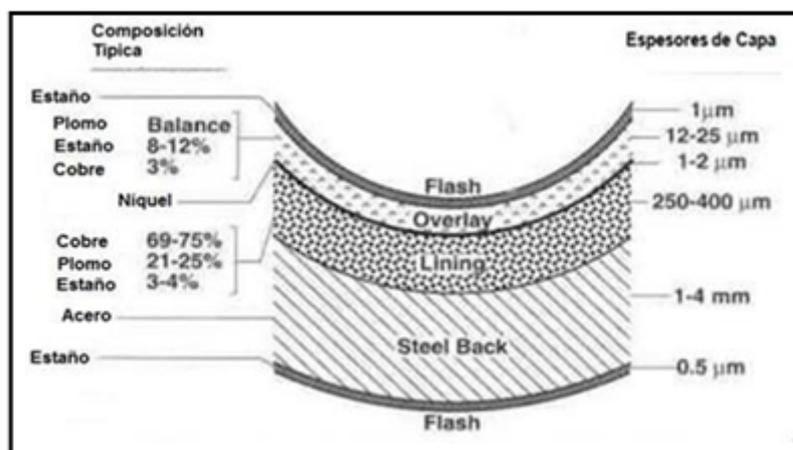
Como se puede apreciar en la Figura 6, la mayor parte de la estructura del cojinete está compuesta por acero, sin embargo, la fabricante no especifica que tipo de acero. El fabricante señala que ocupa aproximadamente el 90% del espesor del cojinete y le provee al metal de biela resistencia mecánica y conductividad térmica para la transferencia de calor hacia el alojamiento de la biela.

## Materiales y estructura según SAE

Por otro lado, se ha investigado en la literatura otra fuente que haga referencia a los materiales y composiciones típicas en cojinetes de biela de motores diésel y se ha tomado información de una publicación de SAE (Society of Automotive Engineers).

Según SAE, los cojinetes de biela usados para motores diésel de camiones de flota pesada, son los cojinetes de Cobre- Plomo, es decir, la cuarta capa ('Lining' en la Figura 2.6) es de este tipo de aleación. En la Figura 2.6 se puede apreciar los elementos de cada una de las capas y los espesores típicos de cada una de ellas. En total son seis capas, sin embargo, tres de ellas son capas muy finas, de unas cuantas micras de espesor.

Figura 2.6 Materiales y estructura de los cojinetes de biela según SAE



Fuente: Zapata (Análisis de falla de cojinetes de biela de camiones de 2300 hp para minería)

### **Desgaste adhesivo**

Según William D. Callister, David G. Rethwisch. (2013) en su revista Ciencia e Ingeniería de Materiales, mencionan que el desgaste adhesivo se origina por la unión de asperezas o puntos altos microscópicos (rugosidad superficial) entre dos materiales deslizantes.

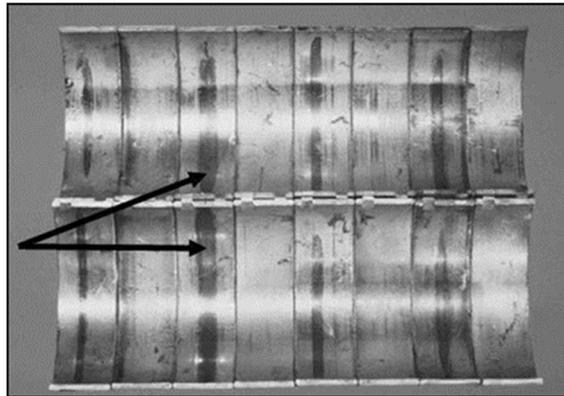
El desgaste adhesivo se produce cuando dos superficies están en contacto sin una adecuada lubricación o enfriamiento, lo que genera calor debido a la fricción y eleva la temperatura de las superficies hasta su punto de fusión y el resultado es la adherencia de ambas superficies.

En los cojinetes puede llegar a ocurrir la fusión de la capa Plomo-Estaño, y de la de Aluminio inclusive, debido a altas temperaturas. Existen muchas posibles causas por las cuales se puede producir desgaste adhesivo:

- Falta de lubricante en el cárter. Un bajo nivel de lubricante provoca que la bomba de aceite pierda succión.
- Incorrecta viscosidad del lubricante o tipo de lubricante.
- Falta de aditivos del lubricante
- Dilución de combustible o de refrigerante.
- Sobrecargas y altas velocidades
- Desalineamiento de los cojinetes (montaje)
- Juego excesivo

El desgaste adhesivo empieza con un 'pulida' de la capa de estaño. Luego si la temperatura sigue aumentando la capa Plomo-Estaño comienza a fundirse y se pueden observar manchas oscuras como las de la siguiente Figura 2.7

Figura 2.7 Materiales y estructura de los cojinetes de biela según SAE



Fuente: Zapata (Análisis de falla de cojinetes de biela de camiones de 2300 hp para minería 2019, pág. 24)

Este caso representa falta de cantidad de lubricante debido a un flujo de aceite interrumpido. Por poca cantidad de aceite en el cárter o una baja presión de aceite, el lubricante no llega con el flujo suficiente para lubricar los cojinetes y se genera un aumento significativo de la temperatura.

Las figuras 2-8 representan dos casos en los que la viscosidad del lubricante fue reducida por dilución de refrigerante y combustible en el aceite, respectivamente:

### **Desgaste abrasivo:**

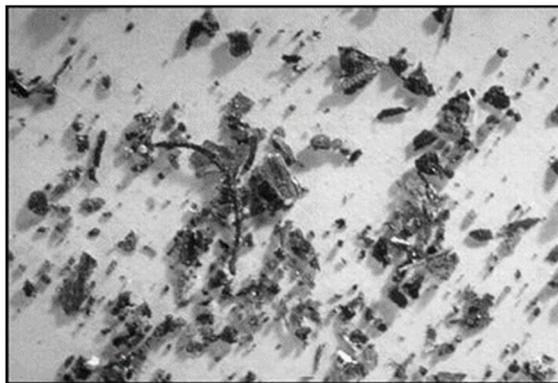
Según William D. Callister, David G. Rethwisch. (2013) en su revista ciencia e ingeniería de materiales, mencionan que el desgaste abrasivo se define como la pérdida de material debido a partículas duras o protuberancias duras que son forzadas y se mueven a lo largo de una superficie sólida.

El desgaste abrasivo ocurre cuando partículas extrañas o de desgaste se encuentran en rozamiento con el cojinete. También se puede producir por irregularidades en las superficies y de esta forma la de mayor dureza remueve material de la superficie más blanda. Si las partículas son duras se producen cortes y remoción de áreas en las capas del cojinete, por el contrario, si son blandas lo que ocurre es un rayado y quedan atrapadas en la capa Plomo-Estaño.

Las superficies permanecen a temperaturas normales al inicio del desgaste abrasivo, debido a que el lubricante remueve el calor de las superficies. Sin embargo, cuando las partículas o superficies irregulares penetran la capa lubricante, se genera calor por fricción y el desgaste adhesivo puede iniciarse y acompañar al desgaste abrasivo. Hay muchas posibles causas para que se genere desgaste abrasivo, entre ellas:

Que durante el ensamblaje se hayan introducido contaminantes en los conductos en el sistema de lubricación. Un ineficiente sistema de filtros, que permite circular partículas de desgaste y carbón en el sistema.

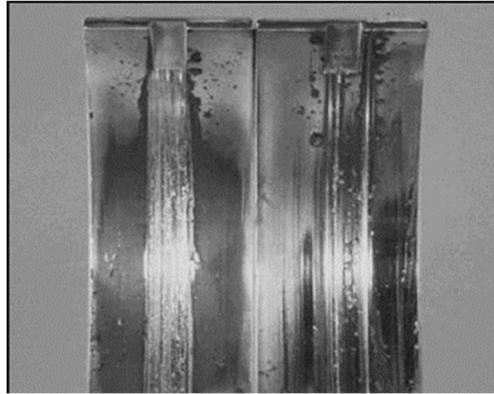
Figura 2.8 Se muestran las partículas abrasivas retiradas de un filtro en un sistema de lubricación.



Fuente: CATERPILLAR INC. Applied Failure Analysis: Engine Bearings, SESV8001, 2000. p.39

Los cojinetes de la Figura 10 muestran desgaste abrasivo y además desgaste adhesivo. Se puede observar que la alta temperatura ha oscurecido la capa Plomo- Estaño

Figura 2.9 Desgaste abrasivo de cojinetes de biela



Fuente: CATERPILLAR INC. Applied Failure Analysis: Engine Bearings, SESV8001, 2000. p.39.

### **Erosión por cavitación**

Según la revista chilena de ingeniería (2010), menciona respecto a desgaste por cavitación, este es un fenómeno que afecta principalmente partes y equipamientos encargados de manipular o transportar fluidos, donde las piezas son damnificadas por un fenómeno conocido como erosión por cavitación

La erosión por cavitación se presenta cuando un fluido a altas velocidades sufre un cambio de presión que pueda tomar el valor de la presión de vapor del fluido, formándose así burbujas. Al entrar las burbujas en zonas de alta presión implosionan contra el cojinete de biela removiendo material y produciendo de esta forma el desgaste

La capa Plomo – Estaño es blanda y puede presentar fisuras por fatiga debido a las repetitivas implosiones por cavitación en pequeñas áreas. Una erosión por cavitación más severa significa que las burbujas tienen un mayor tamaño o que se formaron grandes cantidades de burbujas o ambos factores.

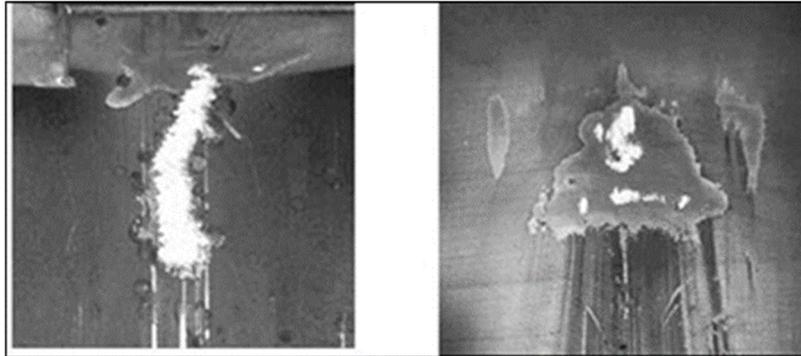
Posibles causas de formación de burbujas para la erosión por cavitación:

- Viscosidad inadecuada del lubricante.
- Intervalos de cambio de aceite muy prolongados que degradan el aceite.
- Niveles de lubricante inadecuados.
- Mal funcionamiento de la válvula de derivación.

- Restricciones en la entrada de la bomba de aceite.
- Fugas de aire en la succión del aceite que permita entrar aire al sistema.

Las figuras 2.10 presentan imágenes de erosión por cavitación que ha penetrado hasta la capa de Aluminio:

Figura 2.10 Erosión por cavitación de cojinetes de biela



Fuente: CATERPILLAR INC. Applied Failure Analysis: Engine Bearings, SESV8001, 2000. p.47

### **Frotación por corrosión**

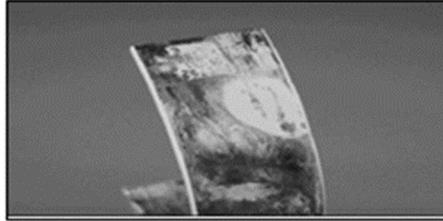
Según Alexia Guevara (2020) menciona que la corrosión por fricción se refiere al daño por corrosión sobre elementos metálicos inducidos bajo presión en presencia de movimientos superficiales relativos y repetitivos como las vibraciones, oscilaciones y deslizamientos.

El desgaste de frotación por corrosión ocurre cuando los cojinetes de biela se mueven relativamente respecto a la biela en los alojamientos bajo altas cargas.

Las causas pueden ser:

- Cojinete de menor tamaño al adecuado.
- Agujero del alojamiento demasiado grande.
- Deficiente ajuste de los pernos de sujeción.

Figura 2.11 Desgaste corrosión en cojinetes de biela



Fuente: CATERPILLAR INC. Applied Failure Analysis: Engine Bearings, 2000., p 49. p.47

### **2.3 Marco Conceptual**

El presente trabajo se obtuvo del análisis de falla de los cojinetes de biela del camión 797F, donde intervienen muchos factores, fluido lubricante, material, mantenimientos, otros. Este análisis de aceite usado; es uno de los servicios usados por toda unidad motriz, se encuentra establecido en el mantenimiento predictivo, detectando y conociendo los problemas de cada pieza móvil que se presenta en todo sistema de lubricación. En consecuencia, el análisis de aceite usado es un estudio para interpretar los resultados de la condición del aceite, el nivel y tipo de contaminación y desgaste.

El incremento de periodo de cambio de cojinetes de biela; se determina cuando se supera el periodo de cambio por encima de las 12 000 horas de trabajo efectivo, con el mantenimiento y operación correcta. Asimismo, solamente con un análisis del aceite que se pueda garantizar un intervalo extendido exacto entre cambios de aceite o programar un mantenimiento eficiente.

La determinación del incremento, es cuando se supera las 12000 horas los cojinetes de biela del motor ya que actualmente a estas horas ya presentan desgaste y según manual requieren su cambio.

#### **Índices de mantenimiento**

Como lo menciona José Carrillo, es un dato en el cual podemos observar el avance en el desarrollo de los objetivos y logros, el cual nos proporciona un método sencillo de calcularlo, muestra las modificaciones que se vinculan a un

estudio de los resultados obtenidos en el desarrollo. El cual es un indicador (CARRILLO Peñuela, 2012). El indicador de mantenimiento es un parámetro que se obtiene mediante el análisis de datos, el cual nos proporciona información para determinar el cumplimiento del mantenimiento y disponibilidad para ejecutar lo establecido

### **Disponibilidad**

Definimos a la disponibilidad como la probabilidad de que una maquina o equipo esté optimo y se mantenga operativo durante el tiempo requerido, una de las fórmulas de cálculo más utilizado en la industria para hallar la disponibilidad es la división del tiempo medio entre fallas (MTBF) entre la suma de (MTBF) con el Tiempo medio de reparación (MTTR), como se muestra en la formula siguiente.

$$DISPONIBILIDAD = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Huancaya. C. (2016). En su tesis “Mejora de la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de una Flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar de 40 t/h de capacidad”. Es desarrollar una mejora tanto en la disponibilidad como en la confiabilidad de una flota de cosechadoras, para lo cual se realizará inicialmente con un análisis modal de fallas y efectos, una vez analizados estos valores se detectará los equipos más críticos y eventualmente una vez analizados estos equipos los datos obtenidos se usan como base de fallas para las demás unidas. Se usó un Software de mantenimiento especializado que nos proporcionó parámetros de confiabilidad con lo cual pudieron obtener posteriormente el MTTR, MTBF y OEE permitiéndonos conocer la situación real de la flota. Finalmente se realizó una evaluación donde se justifica la realización del trabajo en base a los gastos realizados tanto en consumo de combustible.

Según el autor Tavares la disponibilidad se deduce de la relación entre la diferencia del tiempo de trabajo en el calendario con las horas que intervienen en el área de mantenimiento y el número total del tiempo laborado (TAVARES, 1999 pág. 50).

Fonseca y Holanda (2015) mencionan lo siguiente en su artículo, con referencia a la implementación de TPM con herramientas predictivas, las cuales ayudan aportar al progreso eficiente de energía, las cuales se centran básicamente en una planta termoeléctrica. La finalidad es proporcionar nuevos procesos de mantenimiento los cuales resulten más fiables y de esta manera poder reducir los paros imprevistos y programadas con lo cual básicamente se busca reducir los costos que estos generan, además es importante resaltar que con ello se busca incrementar el MTBF y disminuir el MTTR sin dejar de lado la seguridad de la empresa. (Programa de gestión de mantenimiento a través de la implementación de herramientas predictivas y de TPM como contribución a la mejora de la eficiencia energética en plantas termoeléctricas)

Si queremos contar con información del mantenimiento de un sistema de forma verídica y en tiempo real acerca de los equipos o maquinas, es fundamental tener un eficiente y riguroso control con referencia de las prioridades y los puntos crítico, excluyendo las labores redundantes y contar con buen mecanismo de gestión.

### **MTBS: Mean Time Between Shutdowns (Tiempo Medio Entre Paradas)**

Esta proporciona información del periodo de la maquina tiene antes de detenerse por fallo o motivo mecánico, lo cual es importante esta cifra para la gestión del mantenimiento involucrando posteriormente a la gestión de planeamiento para generar un perfecto MTBS.

El MTBS para el cálculo se tiene dividir el número de horas trabajadas y la cantidad de detenciones por fallos del aparato.

$$MTBS = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de paradas}}$$

El tiempo trabajado son las horas de horómetro (SMU o Service Meter Unit) y el número no considera las paradas operativas. Un alto MTBS nos indica que el camión se encuentra demasiado tiempo en el centro de servicio restando producción para las actividades encomendadas.

Como ejemplo, las operaciones mineras recomiendan que los rangos del MTBS oscilen entre 60 y 80 horas por parada promedio. Los valores estarán estipulados por el tipo de operación, conducción y territorio de trabajo.

### **Tiempo Promedio Entre Fallas (MTBF)**

Nos da a conocer la frecuencia de fallas que se presenta, estableciendo por medio de un promedio entre horas totales recorrido y el número de fallas (PISTARELLI, 2010 pág. 27)

$$MTBF = \frac{\text{Horas totales de recorrido}}{\text{Número de fallas}}$$

Como podemos ver el MTBF representa a la confiabilidad y al tiempo medio entre cada parada de maquina a causa de falla o mala manipulación, este índice también tiene uso en el ámbito de la electrónica como se menciona en el artículo titulado "Calculating method of MTBF for integrated circuit" donde el autor Ying Zhang, Jianye Wan y entre otros, el MTBF es un índice que refleja que tan estable esta un determinado sistema , en este informe proporciona un método que nos ayudara a calcular el MTBF del circuito integrado, y se relacionara por primera vez la falla con la curva de la bañera, verificando que el MTBF del circuito integrado cumpla con la distribución de Poisson. También se presenta un algoritmo que servirá para el cálculo del MTBF del componente electrónico, por lo, mencionado líneas arriba esta investigación proporciona un método para el cálculo del tiempo medio entre fallos y con ellos guerrear las bases para el análisis de la confiabilidad del circuito integrado (Calculating method of MTBF for integrated circuit, 2018)

### **Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR)**

PISTARELLI (2010 p.29) Se refiere a los problemas que se suscitan en la interacción entre horas totales de remanufactura y cantidad de desperfecto

$$MTTR = \frac{\text{Horas totales de reparación}}{\text{Número de fallas}}$$

RONCA, J (2017). En su artículo también se observan la influencia del MTBF y el MTTR, los autores presentan un caso de la empresa eléctrica que presenta fallas y los repuestos son escasos y muy difíciles de conseguir, y realizan un modelo de simulación de análisis sobre el mantenimiento y lo aplican en una planta de energía térmica y los resultados favorables con el reemplazo del repuesto al momento adecuado, por lo tanto, se incrementa la confiabilidad y se reduce la mantenibilidad MTTR. (Maintenance optimization: Application of remanufacturing and repair strategies, 2017 p. 899-904)

Los índices MTBF y MTTR son los índices que deben mejorar para incrementar la disponibilidad y el objetivo que plantean los autores fue la de mejorar los indicadores de rendimiento, como la confiabilidad MTBF y reducir la mantenibilidad MTTR y para lograr el objetivo tuvieron que optimizar los procesos, identificar los puntos críticos, mejorar las listas de mantenimiento y así poder incrementar la disponibilidad.

## **2.4 Definición de términos básicos**

### **Análisis de falla**

Según Mc Kenna (1997) menciona que el análisis de falla se define como “la recopilación, análisis, revisión y clasificación de las fallas para determinar tendencias e identificar su bajo rendimiento de partes y componentes de un sistema”, sin embargo, Bernasconi (2010) amplía el concepto de Mc Kenna y define el análisis de falla como una actividad destinada a descubrir y eliminar la causa raíz de la misma y subraya que es una tarea compleja que requiere varias etapas, agentes y metodologías.

Es un examen sistemático de la pieza dañada para determinar la causa raíz de la falla y usar esta información para mejorar la confiabilidad del producto.

### **Índice prioridad de riesgo**

Según la NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos-España (2004) menciona que es un valor que establece una jerarquización de los problemas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, éste provee la

prioridad con la que debe de atacarse cada modo de falla identificado

$$NPR = SEVERIDAD * OCURRENCIA * DETECCIÓN$$

### **Severidad**

Según la NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos-España (2004) determina la importancia del efecto del modo de fallo potencial para el cliente; valora el nivel de consecuencias, con lo que el valor del índice aumenta en función de la insatisfacción del cliente, la degradación de las prestaciones esperadas y el coste de reparación.

Es la gravedad producida por el efecto del fallo. En primer lugar, debe revisarse la información histórica y registrar las fallas que hayan ocurrido con anterioridad; en segundo lugar, deben identificarse con ayuda de los especialistas, todas las fallas que pudieran ocurrir en el paso del proceso. Esta identificación debe realizarse con espíritu crítico y analítico. Cuando su valor está entre ocho y diez, será necesario proponer acciones para realizar una mejora del diseño del producto o proceso Representa el número de jornadas perdidas en un periodo de tiempo por un determinado factor.

$$SEVERIDAD = \Sigma\left(\frac{n * s}{N}\right)$$

Donde “n” el número de hojas por falla, “s” el valor de severidad de la falla y N el número total de hojas evaluadas.

### **Ocurrencia**

Según la NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos-España (2004) indica que mide la repetitividad potencial de un determinado fallo, es lo que en términos de fiabilidad o de prevención llamamos la probabilidad de aparición del fallo.

Es el criterio que evalúa la ocurrencia del modo del fallo en potencia en diferentes términos, que pueden ser frecuencia, porcentaje. Para evaluar la ocurrencia en un AMEF orientado al proceso, se recomienda utilizar un criterio, ya sea basado

en probabilidad de fallas, en índices posibles de fallas basados en tantos por piezas. Se calcula dividiendo el número de casos nuevos ocurridos durante un periodo de seguimiento (n) entre la suma de todos los periodos de observación de los sujetos bajo estudio (P)

$$OCURRENCIA = \frac{n}{\Sigma P}$$

### **Detección**

Según Gabriela Contreras en la web menciona que es la probabilidad de no detectar el fallo antes de que se produzca.

Es el criterio que evalúa si los medios o las formas de detectar del modo del fallo en potencia son efectivos. Se debe evaluar, en una escala del 1 al 10, la capacidad de detección de la misma; entre mayor sea la posibilidad de detectar la falla, menor será la calificación.

### **Metalografía**

Según la revista de la Federación de la enseñanza -España (2011) menciona que la metalografía es la disciplina que estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación, buscando microestructura, inclusiones, tratamientos térmicos a los que haya sido sometido, microrechupes, con el fin de determinar si dicho material cumple con los requisitos para los cuales ha sido diseñado; además podemos hallar la presencia de material fundido, forjado y laminado. Podremos conocer la distribución de fases que componen la aleación y las inclusiones no metálicas, así como la presencia de segregaciones y otras irregularidades.

La metalografía es el estudio de la microestructura de todos los tipos de aleaciones metálicas. Puede definirse con más precisión como la disciplina científica de observar y determinar la estructura química y atómica y la distribución espacial de los constituyentes, inclusiones o fases en aleaciones metálicas. Por extensión, estos mismos principios pueden aplicarse a la caracterización de cualquier material.

## **Mecanismo de falla**

Según Medina Núñez licenciado en Ingeniería Mecánica en Universidad de Costa Rica ,define que el concepto de mecanismo de deterioro tiene una interrelación con el Modo de Falla y eso es lo que a muchos tiende a confundirnos, para diferenciarlo yo diría que el mecanismo de deterioro es el que produce el modo de falla, conceptualmente la norma API RP 581 define mecanismo de deterioro o mecanismo de falla como: Procesos que inducen cambios perjudiciales en el tiempo y que afectan las condiciones o propiedades mecánicas de los materiales. Es el proceso o secuencia que ocurre en el elemento estructural cuando falla. Puede haber un mecanismo de falla o varios que se acoplan.

## **Disponibilidad**

Según Martins (2013) define como la probabilidad de que un sistema realice la función para la que fue planificado, en un momento determinado y bajo condiciones operativas y ambientales establecidas. Es la probabilidad de que un sistema esté en funcionamiento o listo para usarse. Se describe como el periodo en que el activo debe estar en funcionamiento.

## **Confiabilidad**

Según Guillermo Sueiro la confiabilidad es la capacidad de un ítem de desempeñar una función requerida, en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado. Es decir, que habremos logrado la Confiabilidad requerida cuando el "ítem" hace lo que queremos que haga. Es la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

## **Mantenibilidad**

Según la revista digital predictiva 21, tiene finalidad de obtener un producto de calidad y que sea económicamente rentable. Es la probabilidad de restituir o volver al servicio, en un tiempo determinado, a un sistema que ha sufrido una falla o interrupción en su funcionamiento. También es la característica inherente

de un elemento o sistema, asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados, la cual restablece su función original nuevamente.

## **Mantenimiento**

Según Westreicher (2020) menciona que es el proceso llevado a cabo para que un elemento, o unidad de producción, pueda continuar funcionando a un rendimiento óptimo. El mantenimiento, en otras palabras, consiste en la realización de una serie de actividades, como reparaciones y actualizaciones, que permiten que el paso del tiempo no afecte al rendimiento de un bien de capital, propiedad de la empresa.

Son todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

## **Formato de tiempo medio entre fallas (MTBF)**

Según Mantenimiento eléctrico página de la web define que es el tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés) es un cálculo utilizado para predecir el tiempo entre fallas de un componente de maquinaria.

Instrumento en el que se evidenció los datos necesarios como son las horas de proceso y el número de reparaciones para hallar la disponibilidad en los dos ámbitos inicial y fina.

## **Formato de tiempo medio de reparación (MTTR)**

Según Mantenimiento eléctrico página de la web **es el tiempo Medio Entre Reparaciones conocido como MTTR**, por sus siglas en inglés (Mean Time Through Repair), es una medida que indica el tiempo estimado que un equipo estará parado mientras es reparado, dicho de otra forma, el tiempo promedio en que se efectúa una reparación.

Instrumento en el que se tuvieron los datos necesarios como son horas de reparación y el número de reparaciones para hallar la disponibilidad en los dos ámbitos inicial y final

### **Formato de disponibilidad**

Instrumento que mostró la disponibilidad inicial antes de aplicar el estímulo y aplicado el plan de mantenimiento preventivo se halló la disponibilidad final de maquinarias CAT 797F con ayuda de los formatos de tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación.

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1 Hipótesis

##### **Hipótesis General**

El Análisis de Falla en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua,2021.

##### **Hipótesis Específicas**

- El Análisis de Falla en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua.2021.
- El Análisis de Falla en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua,2021.

##### **Variable Independiente**

**Análisis de falla;** es el análisis de falla es un proceso de investigación y evaluación que se realiza para comprender las razones detrás de una falla o avería en un sistema, componente o proceso. Su objetivo principal es determinar las causas raíz de la falla para evitar su recurrencia en el futuro y mejorar la confiabilidad y seguridad de los sistemas.

##### **Variable Dependiente**

**Disponibilidad;** es la capacidad de un sistema, equipo o instalación para estar operativo y funcionando correctamente cuando se necesita. Es una medida de qué tan disponible hay un sistema para cumplir con su función sin interrupciones debido a fallas o paradas no programadas. La disponibilidad es una clave métrica en la gestión del mantenimiento y la operación de activos, ya que está directamente relacionada con la eficiencia y la confiabilidad de los procesos productivos

### 3.2 Operacionalización de variables

Tabla III.1 Tabla de indicadores de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	METODO	TECNICA
Análisis de falla	<p>Análisis de falla para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad, Ciencia Ed. (IMQ) vol. 25 núm. 1: 2010</p> <p>Los 8 pasos del análisis de falla se define como "una revisión cuidadosa del producto y de los HECHOS que precedieron la falla, para identificar las CAUSAS REALES que la originaron", con los indicadores de severidad, registro de la ocurrencia y causa raíz de la detección utilizando las técnicas de la observación e instrumentos de registros en formato de recolección.</p>	Un enunciado del problema identifica el área específica del producto que no está en buenas condiciones y el indicador del problema.	Definir el problema	Registro de datos por rango de Severidad	ΣN° Registros		
		Organiza los hechos dentro de un procedimiento lógico, utilizando herramientas de registro.	Organizar la acumulación de datos	Historial de fallas por mayor rango Severidad	ΣN° Fallos		
		Registra los hechos en las zonas afectadas de la falla.	Observar y registrar los hechos	Check liste de registro por Ocurrencia	# casos / periodo		
		Utiliza los hechos obtenidos en el paso anterior, para pensar en los eventos que los pudieron causar.	Pensar lógicamente los hechos	Formatos de Ocurrencia	% Porcentaje		
		Establecer una lista de posibles condiciones, que puedan explicar cómo ocurrió el primer evento en la línea de tiempo y elige la causa más probable.	Causa raíz	Detección de fallas	# fallos		
		Facilita la emisión de un informe conciso y completo en reunión con las personas involucradas de la falla	Comunicar al responsable	Registros de conformidad	#conformidades		
		Hacer reparaciones necesarias del componente que fallo, esto de acuerdo a lo coordinado en el paso anterior con las partes responsables.	Ejecutar reparaciones	Formato de cumplimiento de reparaciones	% Porcentaje		Análisis de datos históricos
		La causa original ya ha sido identificada y se prosigue a realizar el seguimiento del activo durante su ciclo de vida.	Seguimiento	Historial del seguimiento de la detección	ΣN° Seguimiento		Revisión documental
Disponibilidad	<p>Es el porcentaje de tiempo que el sistema o equipo está útil o disponible para producción</p> <p>La investigación se fundamenta en el estudio de la variable disponibilidad que será medida a través de la confiabilidad y mantenibilidad, de los camiones caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, Moquegua, 2021.</p>			$\% \text{ Tiempo útil del equipo} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$	Porcentaje		
		Confiabilidad (MTBF)		Tiempo medio entre fallos (MTBF)	$= \frac{\text{Tiempo de operación de los equipos}(\text{tiempo de recorrido})}{\text{Número de fallas/paradas}}$	Horas	Análisis documental
		Mantenibilidad (MTTR)		Tiempo medio para reparar un fallo (MTTR)	$= \frac{\text{Tiempo empleado para las intervenciones}(\text{tiempo de reparación})}{\text{Número de fallas/paradas}}$	Horas	Análisis documental
							Observación

## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **4.1 Diseño metodológico**

**Tipo Aplicada:** Según el autor Valderrama menciona que la investigación aplicada busca conocer para que se pueda hacer, actuar, construir y modificar sobre una realidad concreta, por ello se plantea soluciones concretas, reales, factibles y necesarias a los problemas que se plantea (2013, p. 164).

Por ello la investigación está orientado a elaborar un proceso de Análisis de falla donde se identificará la causa raíz de los problemas que vienen aquejando los camiones Caterpillar 797F, así a su vez incrementar la disponibilidad de dichos camiones.

**Diseño de investigación experimental:** Según el autor Valderrama menciona que se manipulan una o más variables independientes de una forma deliberada para que se pueda observar los efectos en las variables dependientes (2013, p. 176). La investigación es experimental debido a que se manipula la variable independiente que en nuestra investigación es el análisis de falla.

**Nivel pre experimental:** Según el autor Valderrama (2013, p.60), menciona en el diseño de un grupo que existe pre prueba y post prueba lo cual indica que existe tres etapas, la cual inicia con administrar una prueba preliminar con la finalidad de medir la variable dependiente, luego la aplicación en nuestra muestra para que finalmente en la post prueba se medirá nuevamente la variable dependiente.

En nuestra investigación abarcaremos el diseño de un grupo con pre test y post test, ya que se recolectará la data antes y después de haber aplicado el análisis de falla en la cual se observa el incremento deseado de la disponibilidad.

**Enfoque Cuantitativo:** Según el autor Valderrama menciona que se emplea la recolección y análisis de los datos recolectados que permitan contestar la formulación de los problemas de investigación mediante métodos estadísticos de manera objetiva para verificar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas

(2013, p. 111).

Se realizará la recolección de datos las cuales son medibles, analizando las fallas presentes en los camiones 797F y así dar una solución para incrementar la disponibilidad de los camiones.

#### **4.2 Método de investigación.**

El método de investigación del informe final de tesis es de forma analítico y sintético, en la cual estudia los hechos descomponiendo el objeto de estudio para estudiarlo de forma individual, luego unir y estudiar el conjunto de forma general e integral.

##### **Método Analítico**

Según el autor Valderrama menciona que consiste en la descomposición de un todo en sus partes, con la finalidad que se pueda observar las relaciones y efectos. Donde es necesario conocer el fenómeno u objeto de estudio para comprender la esencia (2013, p. 98). En nuestra investigación se analizó el porqué de la falla de los cojinetes de biela de motor donde se estudió su estructura, funcionamiento y sobreesfuerzos la cual nos permitió identificar las distintas causas de los problemas que aquejan.

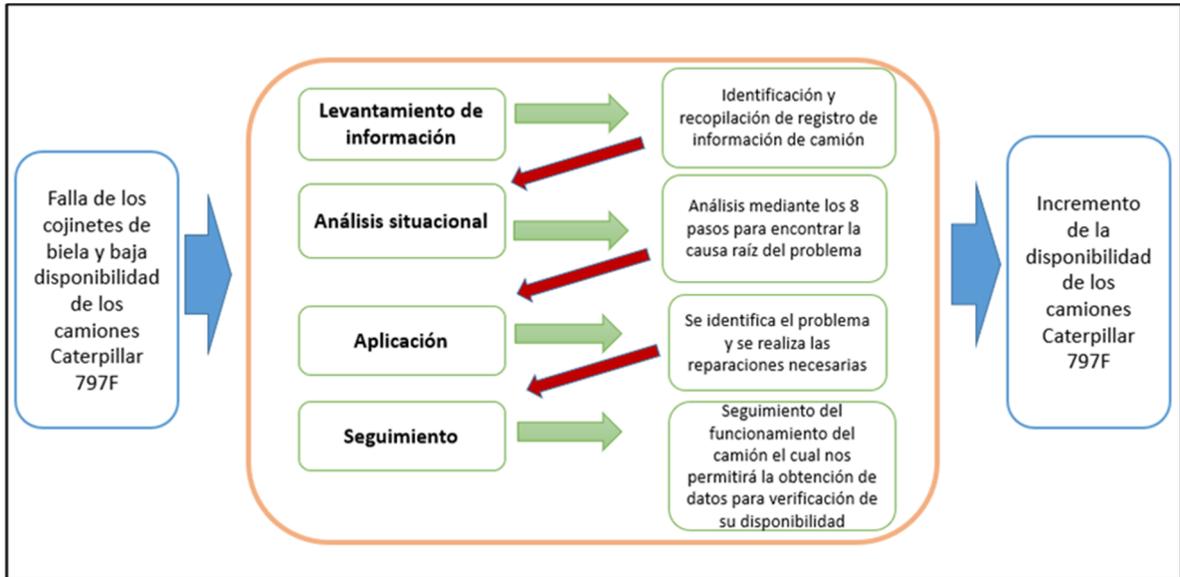
##### **Método Sintético**

Según el autor Valderrama menciona que tiende a reconstruir un todo en partes de los elementos para el análisis (2013, p. 98). Para nuestra investigación nos permite reconstruir los elementos los cuales se identifican la relación entre los elementos y las posibles causas de las fallas que encontremos durante la evaluación del motor para incrementar la disponibilidad.

Por lo citado anteriormente del método de investigación analítico y sintético emplearemos para nuestro estudio el método de la caja blanca del autor Espinoza (2010, p. 58, 67), lo cual menciona sobre la transformación de las entradas y salidas. Por lo que partiremos de la descomposición de los 8 pasos, donde estudiaremos las fallas operativas y la baja disponibilidad para aplicar un

análisis de falla a fin mejorar la disponibilidad.

Tabla 4.1 Método de la Caja Blanca mediante el análisis sintético



En donde detallamos en la tabla 4.1, por medio de la caja blanca tenemos como entrada las fallas de los cojinetes de biela y la baja disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F, donde iniciaremos como primera etapa la identificación y recopilación de registro de información de camión, que nos permitirá analizar el análisis de falla aplicado y el histórico de eventos de los camiones Caterpillar 797F.

Luego como segunda etapa realizaremos el análisis mediante los 8 pasos para encontrar la causa raíz del problema, las fallas comunes que nos permitirá identificar la criticidad de los equipos para que en la tercera etapa donde se identifica el problema y se realiza las reparaciones necesarias; de esta manera finalmente en la cuarta etapa el seguimiento del funcionamiento del camión el cual nos permitirá la obtención de datos para verificación de su disponibilidad

### 4.3 Población y muestra.

#### Población

La población es el conjunto de individuos al que se refiere la pregunta de estudio o respecto al cual se pretende concluir algo y la muestra es cualquier subconjunto de una población, (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.207).

La población con la cual se trabajará es de 20 camiones Caterpillar de la serie 797F de una minera de tajo abierto, Moquegua, 2021.

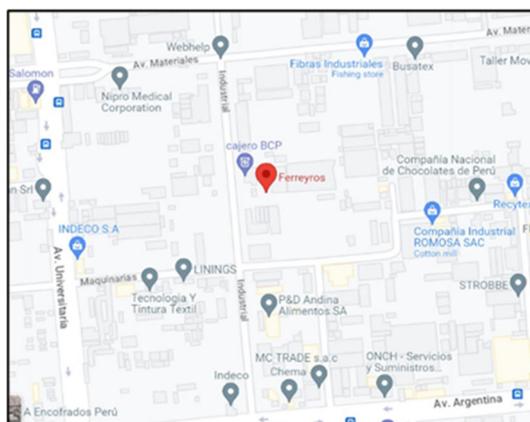
## Muestra

La muestra fueron los 20 equipos Caterpillar serie 797F.

### 4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado.

En la identificación del área donde se realiza la reparación y análisis de falla de los 20 Camiones CAT 797F en las instalaciones del taller CRC (Centro de reparación de componentes) las cuales tendrá como espacio que está ubicado en la Av. Industrial 675\_Cercado de Lima. Donde tiene aproximadamente 1800 metros cuadrados para el servicio de mantenimiento y análisis de falla de componentes Caterpillar con un periodo de estudio de 12 meses; iniciando octubre del 2020 y finalizando setiembre 2021.

Figura 4.1 Ubicación del área de reparación y proceso de análisis de falla



Fuente: Google maps

### 4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

#### Técnicas

#### Observación Directa no experimental

Técnica que se realizó antes de manipular las variables, con el fin de obtener información de la situación inicial en la que se encuentra la gestión de mantenimiento.

### **Análisis de datos históricos**

Se realizó para poder conocer datos del análisis de falla en periodos anteriores al actual, esto sirvió para el estudio de la variable independiente.

### **Revisión documental**

Técnica que permitió tomar datos necesarios de la empresa respecto a los indicadores iniciales de las variables.

### **Análisis documental**

Análisis del manual de operación del objeto de estudio para la planeación del plan de mantenimiento.

### **Observación directa experimental**

Técnica que se realizó después de manipular las variables, con el fin de obtener información de la situación final en la que se encuentra la gestión de mantenimiento.

### **Instrumentos**

#### **Cuestionario de Auditoria de Mantenimiento:**

Instrumento de investigación que ratificó el diagnóstico situacional de la empresa, el cual está sistematizado mediante un cuestionario determinado para la auditoría de gestión de mantenimiento.

#### **Ficha técnica**

Formato que sirvió para determinar las condiciones en las que se encuentra maquinaria Caterpillar y poder detectar problemas que ayuden al análisis de fallo.

#### **Reporte de Fallas**

Formato en el que se registró datos que ayudaron a medir los indicadores de la variable dependiente. Es por ello que este instrumento contó con una estructura que abarca el sistema que falló, la causa de la falla, el número de fallas de la maquinaria Caterpillar, el responsable, entre otros.

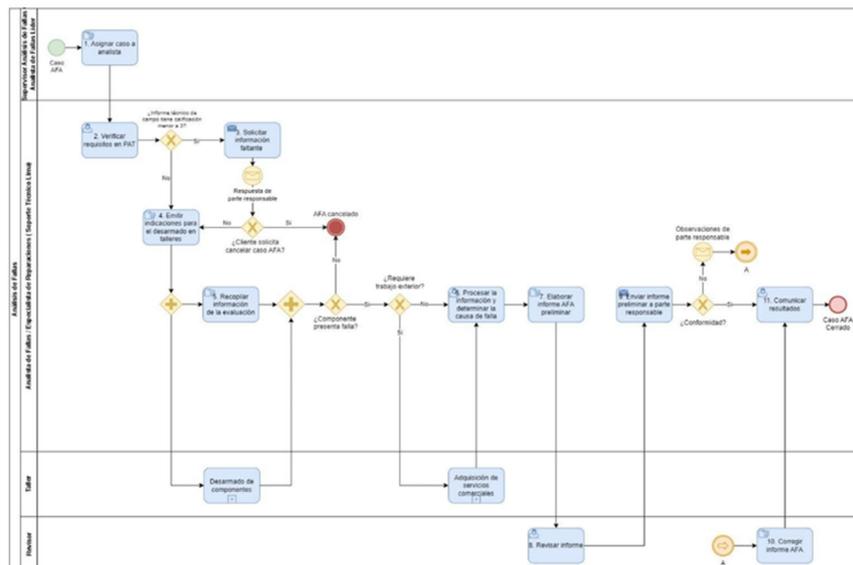
#### 4.6 Análisis y procesamiento de datos

##### Flujograma de procesos de análisis de falla

El proceso inicia con la asignación del caso a un analista de falla, el analista se encarga de verificar los requisitos en el Software PAT, si hubiera alguna información faltante se solicita al cliente. Una vez completado la información se procede a dar las indicaciones del desarmado de componente en el taller del CRC.

Se recopila toda la información de la evaluación, se procede a realizar el análisis de falla y a encontrar la causa raíz del problema. Se elabora el informe del análisis de falla, se procede a realizar una reunión con las partes responsables donde se comunica los resultados encontrados en el análisis de falla se llega a una aceptación por la parte responsable y finalmente se da por cerrado el caso.

Figura 4.IV.2 Flujograma de procesos de análisis de falla



Caso de **ANÁLISIS DE FALLA A COJINETES DE MOTOR DEL CAMIÓN 797F**, La metodología usada por Caterpillar para la realización de un análisis de falla usa el proceso de los 8 pasos lo cuales están definidos de la siguiente manera:

**Primer paso: Definir el problema**

Un enunciado del problema identifica el área específica del producto que no está en buenas condiciones y el indicador del problema

- Evento de baja presión de aceite.

**Segundo paso: Organice y recolecte los hechos**

Organizar los hechos dentro de un procedimiento lógico, que lo guiará primero a áreas importantes. Para la recolección de ciertos hechos, posiblemente usted necesite herramientas y equipos de grabación y programar otras personas profesionales para que vayan con usted.

Tabla 4.2 Recolección de datos

<b>Cliente:</b>	COMPAÑÍA MINERA			<b>WO Main:</b>	8500162803
<b>Máquina/Equipo:</b>	Camión	<b>Modelo</b>	97F	<b>Número de serie</b>	LAJ00598
<b>° Interno Maq:</b>	31-35			<b>Horas de máquina:</b>	47381

<b>Componente:</b>	Motor	<b>Número de parte:</b>	575-6972
<b>WO anterior:</b>	500078798	<b>Marca</b>	Caterpillar
<b>Horas inicio falla:</b>			
<b>Horas desmontaje:</b>	6540	<b>Fecha desmontaje:</b>	15/10/20
<b>Causa de falla:</b>	Contaminación externa del aceite	<b>N° de parte:</b>	376-6457

Fuente: Base de datos de los periodos de mantenimiento

### Pre test - Resultados de análisis de aceite

Se tiene la siguiente tabla de los resultados obtenidos de las muestras de aceite analizadas durante el periodo de operación del equipo. Se aprecia que, en varias muestras analizadas, la cantidad de hollín detectada en el aceite superaba el 2% en peso (90 ufm), siendo este último el máximo valor permitido en los motores 797F.

Tabla 4.3 Resultado de análisis de aceite

hora	Viscosidad a 100 °C (cSt)	Viscosidad a 150 °C (cSt)	Aditivo AW	Aditivo TBS (mg/Kg)	Hollín (WT%)	Agua (mg/Kg)	Fe	Pb	Cu	Sn	Al	Ni	Cd	K	Si	B	Mo	Mg	Ca	Sn	V	P	Mn
116	13.8849	0	134	11.1	0.49	0	33	3	2	1	0	0	0	9	1	1	40	1099	1334	1686	0	999	0
584	14.61	4.2	159	8.1	1.81	0	29	1	1	2	0	0	0	8	1	1	51	1165	1313	1460	0	979	0
231	13.4	0.5	149	11.2	1.07	0	13	0	1	0	1	0	0	8	1	1	48	1172	1348	1560	0	978	0
900	15.63	7.3	183	10.4	2.81	117	31	1	1	0	2	0	0	6	1	1	57	1188	1588	1498	0	896	1
278	14.16	0.5	171	12.6	1.41	0	19	0	1	1	1	0	0	8	1	1	52	1228	1561	1695	0	1037	0
465	15.54	4.6	152	9.6	2.89	0	23	1	1	1	1	0	0	6	1	1	52	1148	1444	1435	0	964	0
348	15.47	1.3	178	12	2.15	0	24	1	1	1	1	0	0	7	1	1	54	1196	1684	1629	0	986	0
348		2	164	11	1.53	0	18	0	1	0	1	0	0	7	1	1	49	1159	1537	1673	0	979	0
296		0.8	156	11.4	1.9	0	18	0	1	1	1	0	0	7	1	1	51	1210	1457	1512	0	977	0
536		3.5	168	10	2	0	25	1	1	0	1	0	0	7	1	1	51	1263	1430	1099	0	1094	0
522		4.1	145	9.3	1.93	0	24	1	1	0	1	1	0	6	1	1	48	1202	1280	1183	0	1019	0
382		1.5	142	10.9	1.44	0	16	1	1	0	1	1	0	7	1	1	42	1173	1264	1118	0	1082	0
303		1	145	11.9	1.17	0	14	0	1	0	1	0	0	7	1	1	45	1171	1247	1172	0	1044	0
270		0.5	148	10.4	1.03	0	13	0	1	0	1	0	0	7	1	1	44	1159	1291	1139	0	1036	0
489		2.3	212	12.1	2.81	0	25	0	1	0	1	1	0	6	1	1	47	1141	1389	1171	0	988	0
500		2.3	180	11.1	2.33	0	23	1	1	0	1	0	0	6	1	1	51	1183	1295	1263	0	1075	0
336		1.6	160	10.9	1.34	0	12	1	1	0	1	1	0	7	2	1	32	1380	1856	1907	1	1021	1
227		0.1	163	11.3	1.02	0	12	0	1	0	1	0	1	8	2	3	42	1849	1806	1788	2	1152	0
222		0	148	11.3	1.03	0	11	0	1	0	1	0	1	8	2	3	38	1741	1742	1532	2	1193	0
510		1.3	191	12.1	2.11	0	25	0	2	0	2	0	1	8	1	1	53	1965	2105	1889	1	1150	0
319		0.5	200	13.1	1.58	0	18	0	2	0	2	0	1	8	1	1	49	1870	1994	1796	2	1112	0
226		0	166	12.7	1.22	0	12	0	2	0	2	0	0	7	1	1	39	1626	1775	1926	2	1008	1
480	13.94	2.2	181	11.9	1.88	0	18	1	3	0	1	1	0	7	1	1	36	1883	2098	1711	1	1067	1
189	14.61	0	141	11.4	0.53	0	5	0	2	0	1	1	0	1	6	1	21	1561	1874	1767	1	1342	3

Fuente: Laboratorio análisis de SOS

### Eventos registrados

En los días 04 y 07 de septiembre, se tuvieron eventos de restricción del filtro de aceite del motor, los cuales ocurrieron antes de eventos de baja presión de aceite del motor.

Estos tres eventos indicarían que había una conducta errática del sensor de presión de aceite, lo que llevó a que se realicen trabajos de mantenimiento como se muestra en el reporte detallado de utilería.

Tabla 4.4 Eventos registrados de los camiones 797F

SMH	Event Id	Description(ID)	Event Sour	Limit	Worst Valu	Event Leve	Duration	Ack #	Ack Time
45494	99	Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	32.7 psi	62.4 psi	2	00:03:08	0	0
45494	360	Low Engine Oil Pressure	Engine	52.9 psi	60.3 psi	1	00:00:45	0	0
45494	360	Low Engine Oil Pressure	Engine	49.4 psi	-7.32 psi	1	00:01:44	0	0
45494	360	Low Engine Oil Pressure	Engine	45.5 psi	-7.9 psi	3	00:01:43	0	0
45494	558	Snapshot Stored	Communicati		Unavailable	1	ACTIVE	0	0
SMH	Event Id	Description(ID)	Event Sour	Limit	Worst Valu	Event Leve	Duration	Ack #	Ack Time
45560	99	Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	17.3 psi	23.1 psi	2	00:00:23	1	0
45560	99	Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	23.9 psi	25.5 psi	2	00:00:19	0	0
45560	99	Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	29.7 psi	29.9 psi	2	00:00:11	0	0
45560	1569	Low Electric Fuel Transfer Pump Outlet Pressure	Engine	0.01 psi	-0.3 psi	1	00:07:12	0	0
45560	1569	Low Electric Fuel Transfer Pump Outlet Pressure	Engine	0.01 psi	-0.3 psi	2	00:07:12	1	0
45560	99	Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	45.2 psi	53.7 psi	2	00:00:46	0	0
45560	360	Low Engine Oil Pressure	Engine	48.7 psi	-6.24 psi	3	00:00:45	0	0
45560	360	Low Engine Oil Pressure	Engine	50 psi	-5.87 psi	1	00:00:43	0	0
45560	360	Low Engine Oil Pressure	Communicati		Unavailable	2	00:00:21	0	0
45560	558	Snapshot Stored	Communicati		Unavailable	1	ACTIVE	0	0
45560	99	Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	14.5 psi	14.8 psi	2	00:00:15	0	0
45560		Right Steering Cylinder Position Sensor	Brake ECM	SYS EVT	116-2201-4	1	00:00:26	0	0
45560	360	Low Engine Oil Pressure	Engine	0 psi	0 psi	3	00:00:08	0	0
45560	360	Low Engine Oil Pressure	Communicati		Unavailable	2	00:00:11	0	0

Fuente: Sistema Módulo de control electrónico ECM

Posteriormente, los días 07 y 08 de octubre se tuvieron 14 eventos de restricción del filtro de aceite sin tener eventos de baja presión de aceite. Esto se debería a que la viscosidad del aceite ha estado alrededor de 15.5 cSt, lo cual dificulta el paso del aceite a través de las mallas del filtro SCF, aumentando la presión de restricción del filtro.

Tabla 4.5 Registro de eventos

Description(ID)	Event S	Limit	Worst	Ev	Duration
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	14.6 psi	16.2 psi	2	00:00:29
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	13.7 psi	13.7 psi	2	00:00:08
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	14.1 psi	18.3 psi	2	00:00:45
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	18.8 psi	19 psi	2	00:00:32
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	22.5 psi	23.2 psi	2	00:00:43
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	20.5 psi	20.5 psi	2	00:00:26
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	18.5 psi	18.5 psi	2	00:00:20
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	18 psi	18.1 psi	2	00:00:22
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	13.9 psi	15.9 psi	2	00:01:04
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	22 psi	22.1 psi	2	00:00:40
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	18.9 psi	19.8 psi	2	00:01:15
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	17.8 psi	19.3 psi	2	00:00:41
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	16.2 psi	16.2 psi	2	00:00:07
Engine Oil Filter Restriction Warning	Engine	17.6 psi	19.1 psi	2	00:00:31

Fuente: Sistema Módulo de control electrónico ECM

No hubo eventos de restricción de filtro al momento de la falla, por lo que se descarta que los escombros autogenerados durante la falla hayan saturado y abierto al filtro SCF. Por este motivo se descarta que las ralladuras encontradas en diversos metales sean consecuencia de la falla.

Tabla 4.6 Datos de fallos por hora

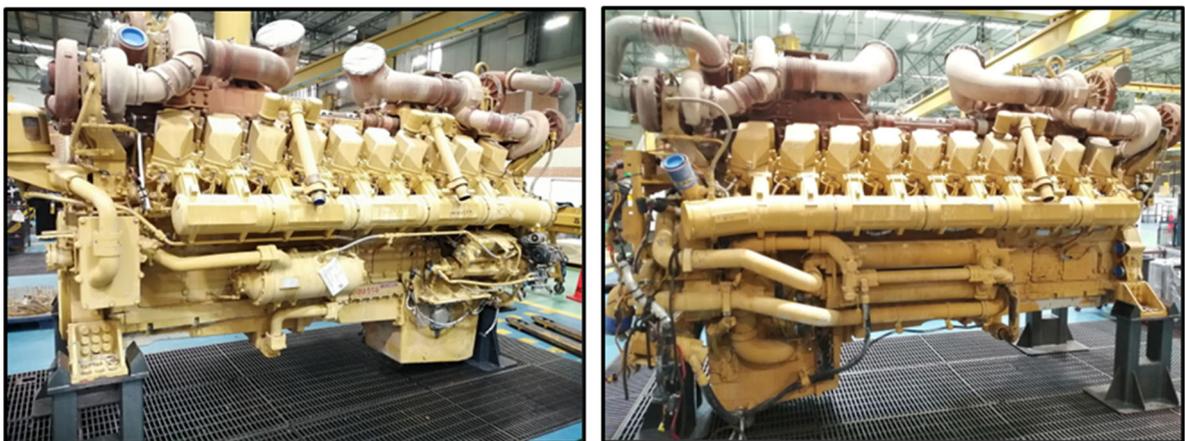
Logged Event Codes [Diagnostic Clock = 47386 hours] - C175 797 (4X401026)				
Code	Description	Occ.	First	Last
E072 (2)	Oil Level Low Mark	26	45194	47385
E360 (1)	Low Engine Oil Pressure	4	45494	47385
E360 (3)	Low Engine Oil Pressure	4	45494	47385
E278 (2)	High Exhaust Differential Temperature	126	44694	47380
E1459 (2)	High Turbocharger #1 Turbine Intake Temperature	126	44718	47378
E1681 (2)	High Turbocharger #3 Turbine Intake Temperature	126	44813	47361
E1682 (2)	High Turbocharger #4 Turbine Intake Temperature	126	44718	47353
E2112 (3)	Low Engine Coolant Pressure	1	47271	47271
E2143 (2)	Low Engine Coolant Level	9	46197	47271
E1460 (2)	High Turbocharger #2 Turbine Intake Temperature	126	44717	47206
E361 (1)	High Engine Coolant Temperature	1	47110	47110
E2143 (3)	Low Engine Coolant Level	1	46845	46845
E098 (1)	Engine Pre-Lube Override	10	44756	46778
E233 (2)	Low Engine Pre-Lube Pressure	3	45194	46714
E099 (2)	Engine Oil Filter Restriction Warning	23	45384	46181
E199 (1)	Low Coolant Temperature	29	46015	46170
E584 (1)	High Engine Air Filter #2 Differential Pressure	4	46110	46116
E583 (1)	High Engine Air Filter #1 Differential Pressure	1	46110	46110
E1569 (1)	Low Electric Fuel Transfer Pump Outlet Pressure	112	45230	46079
E1460 (3)	High Turbocharger #2 Turbine Intake Temperature	2	46061	46061
E1682 (3)	High Turbocharger #4 Turbine Intake Temperature	2	46061	46061
E1569 (2)	Low Electric Fuel Transfer Pump Outlet Pressure	111	45230	45751
E101 (1)	High Crankcase Pressure Warning	1	44691	44691

Fuente: Sistema Módulo de control electrónico ECM

### 3) Tercer paso: Observar y registrar los hechos

Recolectar los hechos y reunir las piezas importantes, marcarlas y empacarlas. Usted debe registrar en el sitio de trabajo los factores de operación, aplicación y mantenimiento y observar y registrar factores de desgaste y fractura de las piezas relacionadas con la falla. Estas tareas son fáciles si usted tiene un buen entendimiento de metalurgia, fracturas, desgastes y técnicas de examen visual.

Figura 4.3 Muestra de análisis para determinar la causa raíz del problema

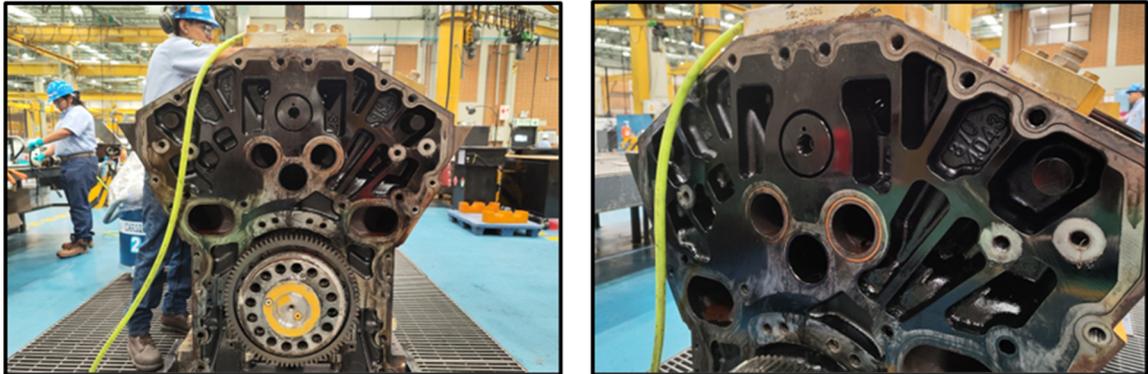


Fuente: Centro de reparación de componentes CRC

Al desmontar el cárter se encontraron partículas metálicas provenientes de

algunos metales que se han laminado.

Figura 4.4 Monoblock 797F

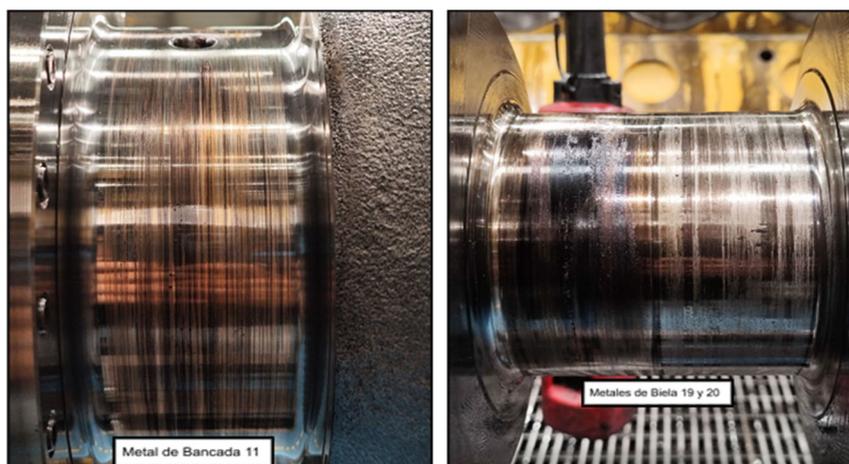


Fuente: Centro de reparación de componentes CRC

Al retirar el housing frontal del motor se observó que el aceite estaba adherido a la superficie del block, lo que evidenciaría que el aceite no ha estado en las condiciones normales de operación.

Al evaluar el cigüeñal se vio que el daño principalmente se enfocó en el muñón de bancada #11 y en el muñón que comprende a las bielas #19 y #20.

Figura 4.5 Cigüeñal de motor.



Fuente: Centro de reparación de componentes CRC

Al examinar el filtro SCF, se encontraron partículas de los metales laminados en sectores de las mallas.

Figura 4.6 Filtro centrifugo



Fuente: Centro de reparación de componentes CRC

El enfriador de aceite presentaba degradación del polímero, lo que indicaría que el aceite ha estado trabajando a temperaturas superiores a las normales de operación.

Figura 4.7 Enfriadores de aceite

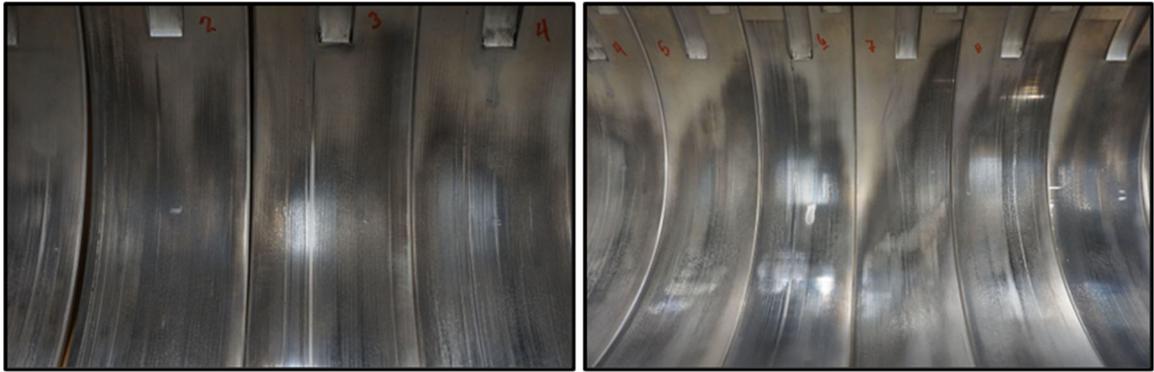


Fuente: Centro de reparación de componentes CRC

Se procedió a examinar los metales de bancada. El metal #11 inferior ya había perdido la totalidad de la capa de babbitt y se encontraba en la capa de bronce, la cual presentaba un segmento desprendido y exponía el alma de acero del cojinete.

En distintos metales de bancada se observó desgaste abrasivo.

Figura 4.8 Objeto de estudio, Cojinetes de Motor



Fuente: Centro de reparación de componentes CRC

Al inspeccionar los metales de biela, se encontró que los metales #19 y #20 habían perdido la totalidad de sus capas y se encontraban en su alma de acero. En el metal #19 se podían observar zonas azules producto de la alta temperatura alcanzada, mientras que en el metal #20, este ya presentaba laminación en uno de sus extremos.

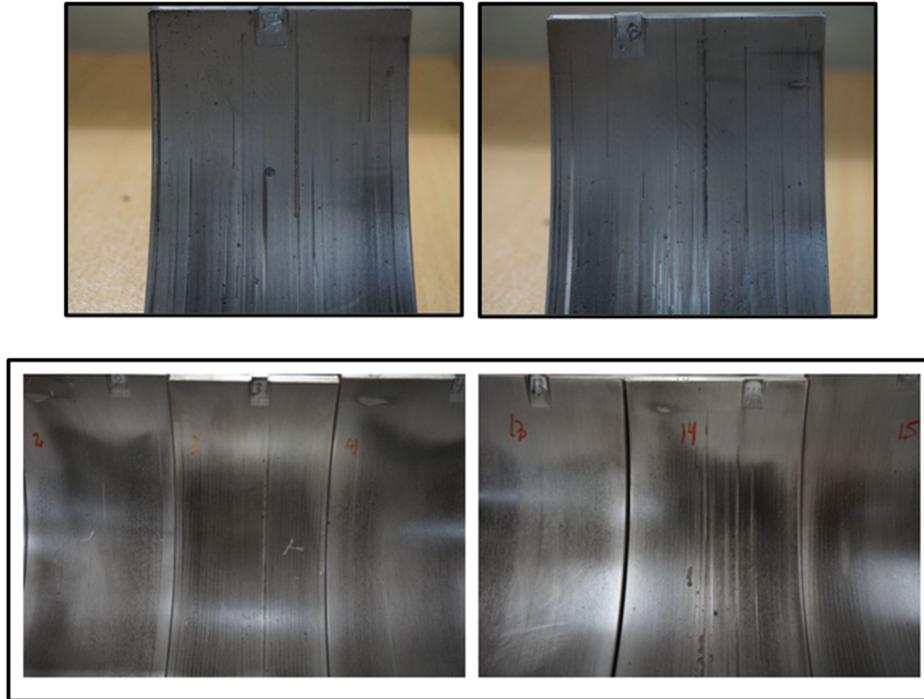
Figura 4.9 Metales de biela y bancada de muestra



Fuente: Centro de reparación de componentes CRC

En los metales se apreciaba el desgaste abrasivo que habían sufrido durante el trabajo del motor. En otros metales de biela, alejados de la zona del ingreso de aceite, también se observa desgaste abrasivo.

Figura 4.10 Desgaste excesivo en los cojinetes



Fuente: Centro de reparación de componentes CRC

Se procede a tomar una muestra de cojinete el de mejor estado con el fin de estudiar su caracterización.

Se realiza un registro fotográfico muy importante en un análisis de falla ya que permite obtener información visual sobre la superficie de los componentes, además de tener un historial sobre las zonas que se han analizado en el ensayo. Para eso se utilizará una cámara digital Canon EOST718-55IS.

Se realiza un ensayo metalográfico del cojinete en mención con el fin de apreciar cada una de las capas que componen los cojinetes y medir los espesores de cada capa. Este ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Materiales de la PUCP bajo las normas ASTM E3-11 Y ASTM E407-07 para que pueda ser observada con el microscopio óptico.

Para esta prueba cortar con un disco abrasivo un pequeño pedazo de cojinete de biela, cuya sección transversal será colocada en la probeta.

Se utiliza un microscopio marca Leica modelo DCF320 que posee cinco lentes para analizar la probeta a diferentes aumentos.

Tabla 4.7 Análisis de laboratorio de cojinetes

<b>MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO</b>									
<b>MAT-Lab-4.04 Rev.6</b>									
<b>INFORME DE LABORATORIO</b>									
<b>Número Total de Páginas: 8</b>									
<b>SOLICITADO POR</b>		<b>: FERREYROS S.A.</b>							
<b>DIRECCIÓN</b>		<b>: Jr. Cristobal de Peralta Nort No. 820 – Santiago de Surco</b>							
<b>REALIZADO POR</b>		<b>: Laboratorio de Materiales – Analista 05.</b>							
<b>MÉTODO</b>		<b>: Espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS).</b>							
<b>MUESTRA</b>		<b>: Metal de biela N°1.</b>							
<b>RESULTADOS:</b>									
<b>Tabla 1. Resultados del análisis químico – Metal de biela 1.</b>									
Elemento	Contenido (%)								
	Recubrimiento 1	Recubrimiento 2				Recubrimiento 3			
	Área 1	Int01	Int02	Área 2	Promedio	Int0A	Int0B	Int0C	Promedio
<b>Sn</b>	<b>4,04</b>	6,54	6,41	7,20	<b>6,72</b>	59,90	59,55	56,27	<b>58,57</b>
<b>Fe</b>	<b>2,50</b>	1,91	1,49	1,72	<b>1,71</b>	1,59	1,47	1,55	<b>1,54</b>
<b>Cu</b>	<b>78,34</b>	7,66	7,67	7,78	<b>7,70</b>	15,28	14,79	18,45	<b>16,17</b>
<b>Pb</b>	<b>15,12</b>	83,89	84,43	83,30	<b>83,87</b>	9,42	10,45	11,20	<b>10,36</b>
<b>Ni</b>	---	---	---	---	---	13,81	13,74	12,53	<b>13,36</b>

Fuente: Laboratorio de materiales PUCP

De acuerdo a los resultados obtenidos tenemos la siguiente data:

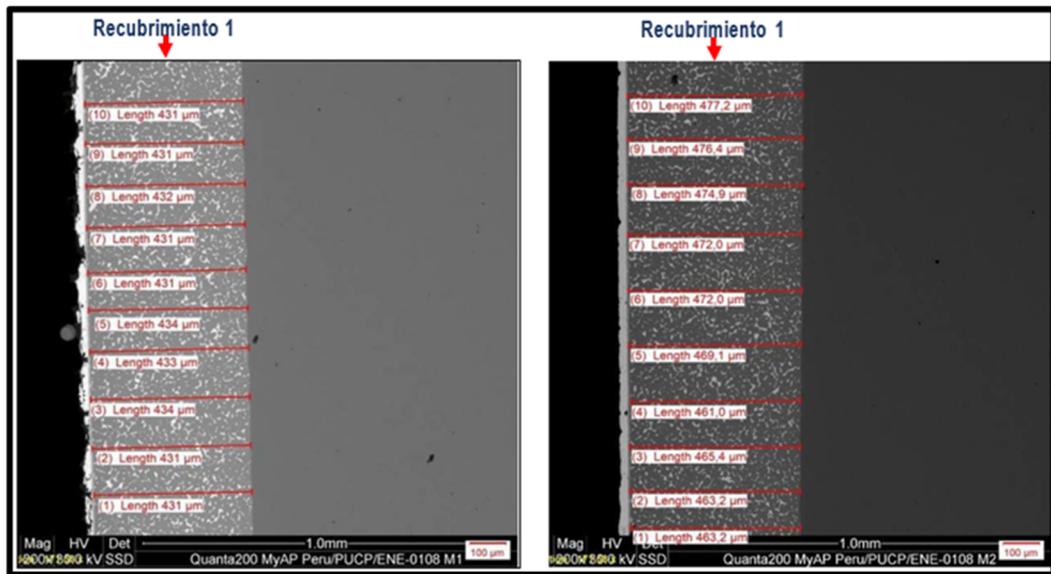
- Del primer recubrimiento se encontró en un mayor porcentaje un total de 78,34 % de cobre.
- Del segundo recubrimiento se encontró en un mayor porcentaje un total de 83,87 de plomo
- Del tercer recubrimiento se encontró en un mayor porcentaje un total 58,57 de estaño.

Figura 4.11 Secciones de los cojinetes analizados



Fuente: Laboratorio de materiales PUCP

Figura 4.12 .Medidas del espesor del recubrimiento 1 - Muestras 1 y 2



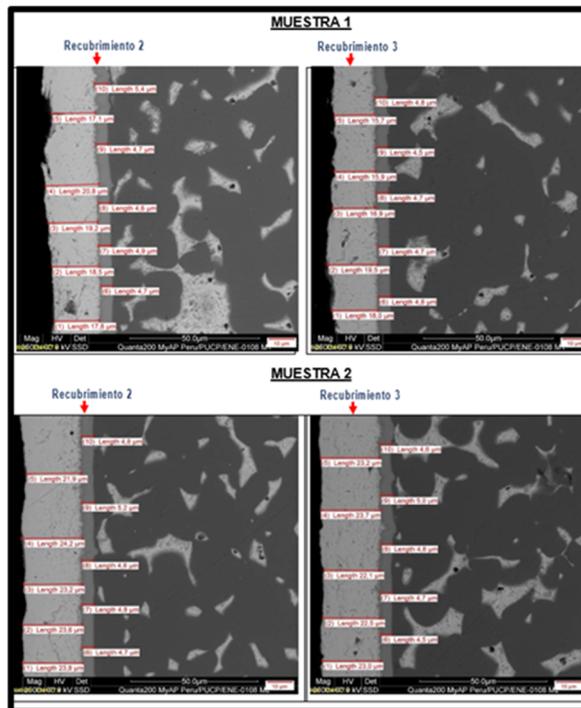
Muestra	Espesor de recubrimiento (µm)										Promedio
Recubrimiento 1 - Muestra 1	431	431	434	433	434	431	431	432	431	431	432
Recubrimiento 1 - Muestra 2	463	463	465	461	469	472	472	475	476	477	469

Fuente: Laboratorio de materiales PUCP

De la primera muestra tomada se obtuvo un espesor de capa un promedio de 432 (micras) de aluminio.

De la segunda muestra tomada se obtuvo un espesor de capa un promedio de 469 (micras) de aluminio.

Figura 4.13 .Medición de espesores-Recubrimientos 2 y 3 - Muestras 1 y 2,



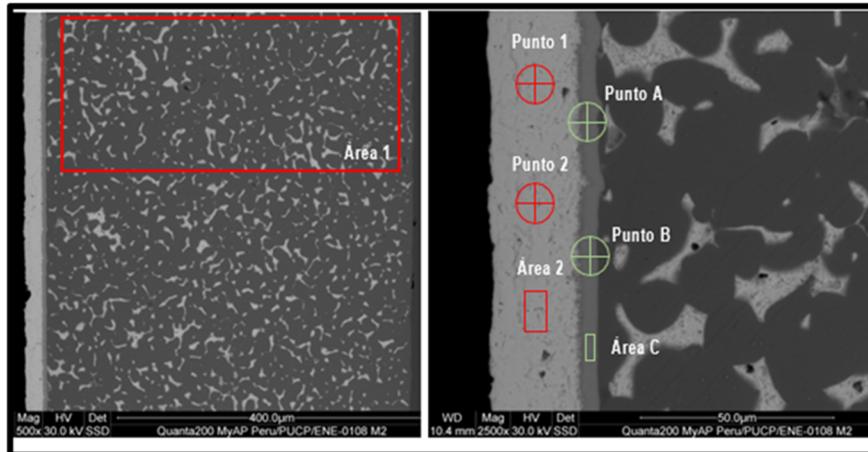
Muestra	Espesor de recubrimiento (um)										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Recubrimiento 2 - Muestra 1	4,7	4,9	4,6	4,7	5,4	4,8	4,7	4,7	4,5	4,8	4,8
Recubrimiento 3 - Muestra 1	17,8	18,5	19,2	20,8	17,1	18,0	19,5	16,9	15,9	15,7	17,9
Recubrimiento 2 - Muestra 2	4,7	4,8	4,8	5,2	4,8	4,5	4,7	4,8	5,0	4,6	4,8
Recubrimiento 3 - Muestra 2	23,8	23,6	23,2	24,2	21,9	23,0	22,5	22,1	23,7	23,2	23,1

Fuente: Laboratorio de materiales PUCP

De la primera muestra tomada se obtuvo un espesor de capa un promedio de 4,8 y 17,9 (micras) de plomo.

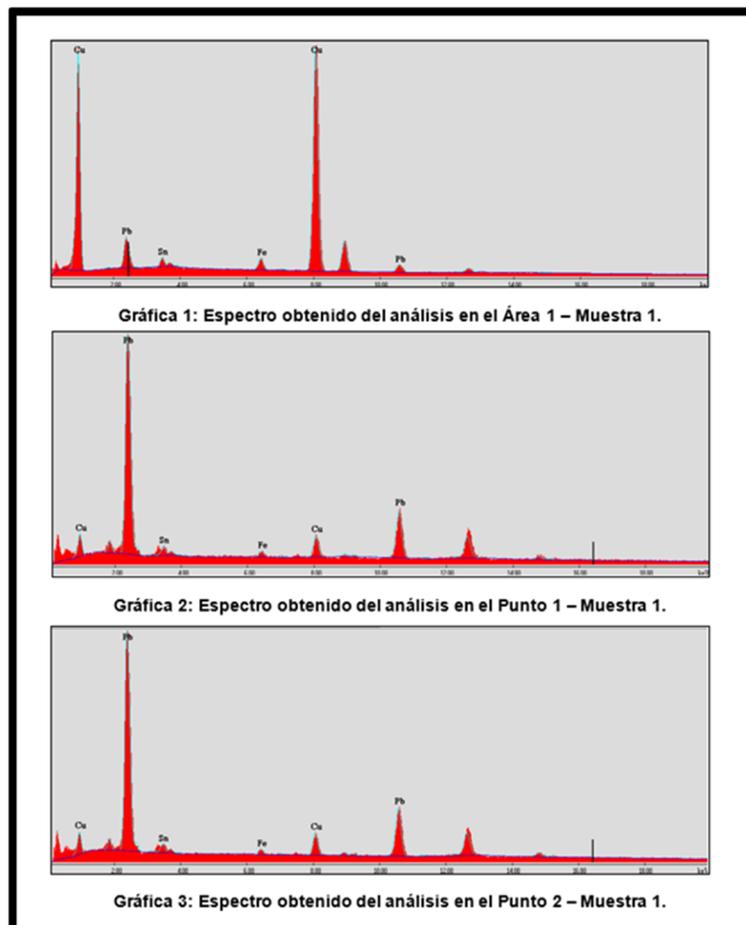
De la segunda muestra tomada se obtuvo un espesor de capa un promedio de 4,8 y 23,1 (micras) de plomo.

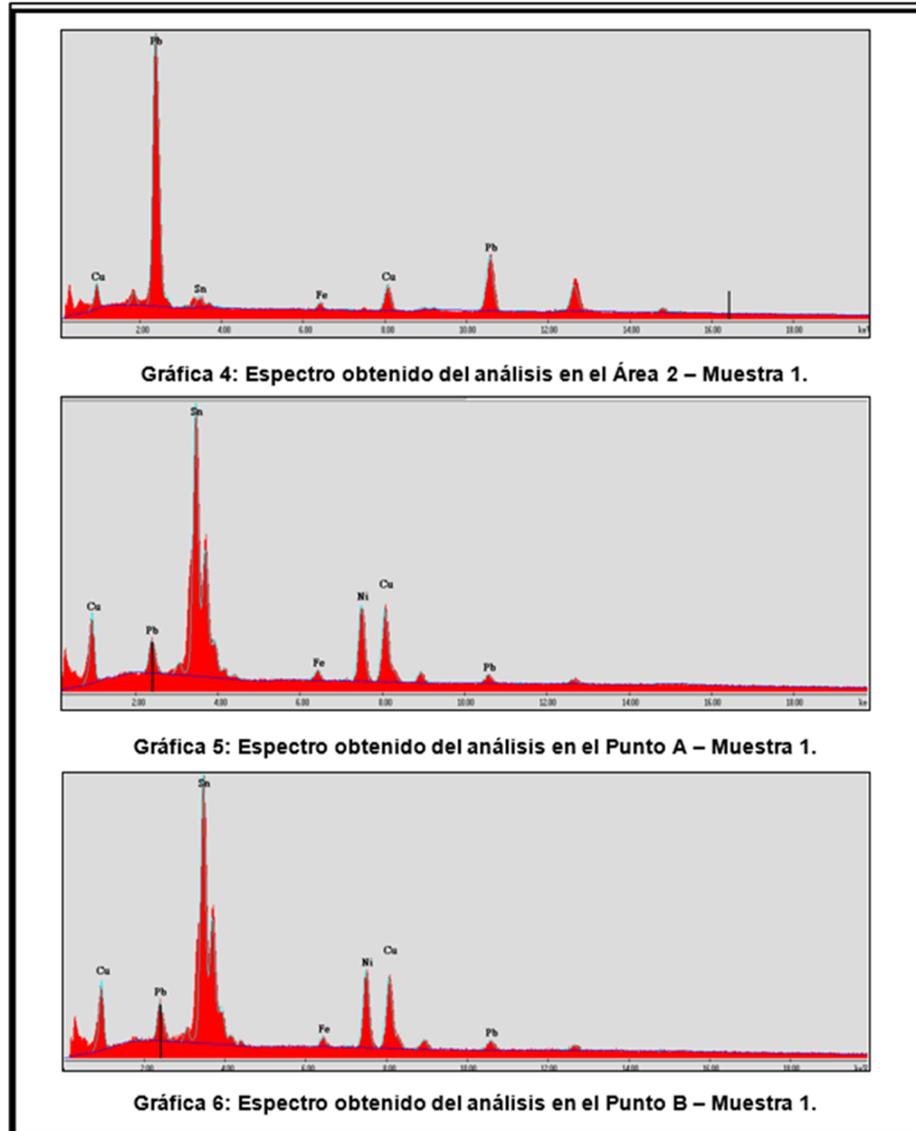
Figura 4.14 . Zonas de análisis químico -Muestra 1 , 500X y 2500X



Fuente: Laboratorio de materiales PUCP

Figura 4.15 Espectro obtenido de los diferentes análisis en área y punto





Fuente: Laboratorio de materiales PUCP

Mediante este ensayo de metalografía el laboratorio de la universidad católica determinó que los valores de los espesores de la capa de cojinete se encuentran dentro de los rangos recomendados y estos no afectan las propiedades de las capas de los cojinetes.

También se pueden observar diferentes tipos de desgaste en el cojinete como desgaste abrasivo, desgaste adhesivo y erosión por cavitación.

#### **Cuarto paso: Pensar lógicamente con los hechos**

Utilice los hechos obtenidos en el Paso 3, para pensar en los eventos que los

podieron causar. Por ejemplo, este pistón está rayado arriba de los anillos y la falda se agarró. Contacto deslizante genera calor y desgaste adhesivo. El evento que ocurrió fue desgaste adhesivo.

El desgaste adhesivo le dice a usted a donde ir a continuación para obtener más información. Usted debe preguntar, ¿por qué el rayado tiene este aspecto?. Esto lo guiará a descubrir más hechos. Los eventos son puestos en el orden que ellos ocurrieron, en una línea de tiempo. Los primeros eventos están estrechamente relacionados a la causa raíz de la falla: la condición específica que inició el problema.

El desgaste adhesivo visto en el muñón del cigüeñal correspondiente a los metales #19 y #20 tuvo su origen en el desgaste abrasivo el cual generó que haya crestas en la superficie de los metales, las cuales al tener menor área de contacto no pueden disipar el calor generado por el contacto con el cigüeñal, provocando que se vayan fundiendo y finalmente ocasionando así el desgaste adhesivo de los metales.

#### **Quinto paso: Determine la causa más probable**

Establecer una lista de posibles condiciones, que puedan explicar cómo ocurrió el primer evento en la línea de tiempo. Entonces esta lista es reducida al comparar cada condición posible con los hechos. Si una condición no puede explicar todos los hechos, es eliminada hasta que solo quede una. Cuando usted sabe cómo se inició, es fácil determinar quién es responsable. En este punto se escribe el enunciado de una causa raíz que explique lo que ocurrió, cómo ocurrió y quién es responsable. Para finalizar el paso 5, se hace un esbozo describiendo los resultados importantes de los pasos 1-5, mostrando la información obtenida y las acciones tomadas. Esta muestra como los hechos lo guiaron a usted a la causa raíz. Este informe es la base para efectuar los pasos 6, 7 y 8 y obtener la recompensa.

El evento de baja presión de aceite de motor se debió al giro de los metales de biela #19 y #20 con respecto a su alojamiento. Los metales de biela #3, #14, #16, #17

y #18 evidencian ralladuras profundas, lo que indica el paso de partículas contaminantes suspendidas en el aceite. Al no tener eventos de restricción de filtro de aceite al momento de la falla, se descarta la posibilidad que el filtro SCF se haya abierto y permitido el paso de partículas autogeneradas que expliquen el desgaste abrasivo de los metales.

De la información proporcionada, las partículas abrasivas habrían entrado al sistema durante los trabajos de mantenimiento realizados el 07.09.2020, los cuales involucraron al sensor de presión de aceite por problemas eléctricos.

#### **Sexto paso: Comunicar al grupo responsable de la falla**

Toma lugar la comunicación con aquellos involucrados en la falla. El resumen del paso 5 facilita la emisión de un informe conciso y completo en una reunión, por lo cual se le comunica a la parte responsable las siguientes recomendaciones:

Al momento de realizar trabajos de mantenimiento que involucren elementos del lado limpio del aceite, se debe tener consideración especial con la limpieza del área a fin de evitar el ingreso de contaminantes.

Controlar los niveles de hollín en el aceite, ya que cuando el aceite no sea capaz de mantenerlo en suspensión, el hollín incrementará la viscosidad del aceite y podría provocar daño en los metales.

#### **Séptimo paso: Hacer las reparaciones que decida el grupo responsable**

Hacer reparaciones necesarias del componente que fallo, esto de acuerdo a lo coordinado en el paso 6 con las partes responsables.

Se decide realizar la reparación general del motor debido a los daños severos que se encontraron durante la inspección del motor, el área de garantía se encargara de separar los costos de acuerdo a la garantía.

#### **Octavo paso: Hacer seguimiento del componente junto al cliente**

En este punto, la causa original ya ha sido identificada, la parte responsable,

informada, se han enviado las comunicaciones pertinentes para lograr un entendimiento, y llegado aún acuerdo sobre el tipo de reparación, los costos y quien va a pagarla. Ahora, las reparaciones tienen que hacerse en el momento y en la forma prometida y al precio convenido.

Se coordina con el cliente donde se acuerda una vez reparado hacer seguimiento y monitoreo del motor reparado.

#### **4.7 Aspectos Éticos en Investigación**

Room (2020, p.12). La presente investigación se basa en su totalidad de la información brindada por la empresa dejando claro que los datos son verídicos y confiables. Además, cabe resaltar que la información teórica fue debidamente citada y referenciada con el formato ISO 690 y 690-2. Si bien la ética de la investigación y la práctica ética se han examinado ampliamente en paradigmas amplios, los aspectos éticos examinan específicamente el papel de la ética en la investigación.

Por lo tanto, esta tesis se efectuó con la ética profesional y principios morales. Teniendo el cuidado al momento de usar información privada, normas y leyes en la divulgación. Los instrumentos para la recolección de información se emplearán respetando la confidencialidad y los acuerdos establecidos con la minera de tajo abierto, Moquegua ,2021.

## V. RESULTADOS

### 5.1 Resultados descriptivos.

#### Análisis de falla - Variable independiente

Para evaluar esta variable se procedió a tomar los datos del análisis de falla con los 8 pasos en un período de 12 meses, tiempo que implicó, tanto el diagnóstico, así como la implementación de la mejora planteada en la minera de tajo abierto, Moquegua, 2021.

Tabla 5.1 Nivel de análisis de falla (oct,2020 a set,2021)

Escenario	Mes	Severidad	Ocurrencia	Detección	Indice de los 8 pasos	Análisis de falla
Pre - test	Oct-20	9	7	8	504.0	529.3
	Nov-20	10	8	8	640.0	
	Dic-20	9	8	8	576.0	
	Ene-21	8	7	9	504.0	
	Feb-21	8	7	8	448.0	
	Mar-21	9	7	8	504.0	
Pos - test	Abr-21	6	6	7	252.0	205.0
	May-21	6	6	7	252.0	
	Jun-21	6	6	6	216.0	
	Jul-21	5	6	6	180.0	
	Ago-21	6	5	6	180.0	
	Set-21	5	6	5	150.0	

Mejora  
(% Variación) -61.3%

En la figura 5.1, se puede comparar el Índice de los 8 pasos antes y después de la mejora, lográndose visualizar una mejora de 61.3% el promedio del nivel de gestión análisis de falla a cojinetes de Biela de motor.

Figura 5.1 Nivel de análisis de falla (oct, 2020 a set, 2021)

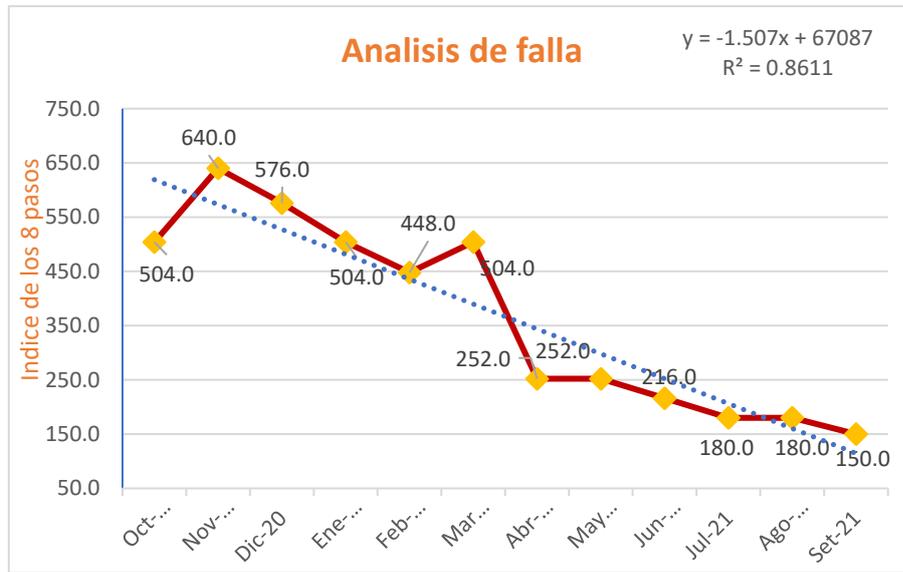


Tabla 5.2 Estadísticos descriptivos de la variable independiente

Descriptivos		Estadístico	Error estándar	
Índice de los 8 pasos - NPR pretest	Media	501.333	40.3011	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	397.736	
		Límite superior	604.931	
	Media recortada al 5%	499.704		
	Mediana	504.000		
	Varianza	9745.067		
	Desviación estándar	98.7171		
	Mínimo	392.0		
	Máximo	640.0		
	Rango	248.0		
Índice de los 8 pasos - NPR posttest	Media	193.000	16.4985	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	150.589	
		Límite superior	235.411	
	Media recortada al 5%	192.111		
	Mediana	195.000		
	Varianza	1633.200		
	Desviación estándar	40.4129		
	Mínimo	150.0		
	Máximo	252.0		
	Rango	102.0		

### Disponibilidad - Variable dependiente

Para medir esta variable se ha de tener en cuenta el Tiempo medio entre fallos (MTBF) y el Tiempo medio para reparar un fallo (MTTR), para ello se deberán mostrar información relevante y confiable del escenario antes y después de aplicar la implementación, para luego realizar un análisis descriptivo de los valores obtenidos.

Tabla 5.3 Nivel de disponibilidad (oct, 2020 a set, 2021)

Escenario	Mes	MTBF	MTBF + MTTR	% Tiempo útil del equipo	Disponibilidad
Pre - test	Oct-20	3,567.5	4,280	83.4	83.1
	Nov-20	3,466.0	4,187	82.8	
	Dic-20	3,609.0	4,340	83.2	
	Ene-21	3,630.0	4,365	83.2	
	Feb-21	3,541.5	4,253	83.3	
	Mar-21	3,551.5	4,273	83.1	
Pos - test	Abr-21	4,126.5	4,740	87.1	87.6
	May-21	4,290.5	4,897	87.6	
	Jun-21	4,301.5	4,917	87.5	
	Jul-21	4,212.0	4,797	87.8	
	Ago-21	4,216.5	4,812	87.6	
	Set-21	4,270.0	4,852	88.0	

Mejora  
(% Variación) 5.4%

En la Tabla 13, se puede comparar el % Tiempo útil del equipo antes y después de la mejora, lográndose visualizar una mejora de 5.4% en el promedio del nivel de disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, Moquegua, 2021.

Figura 5.2 Nivel de disponibilidad (oct, 2020 a set, 2021)

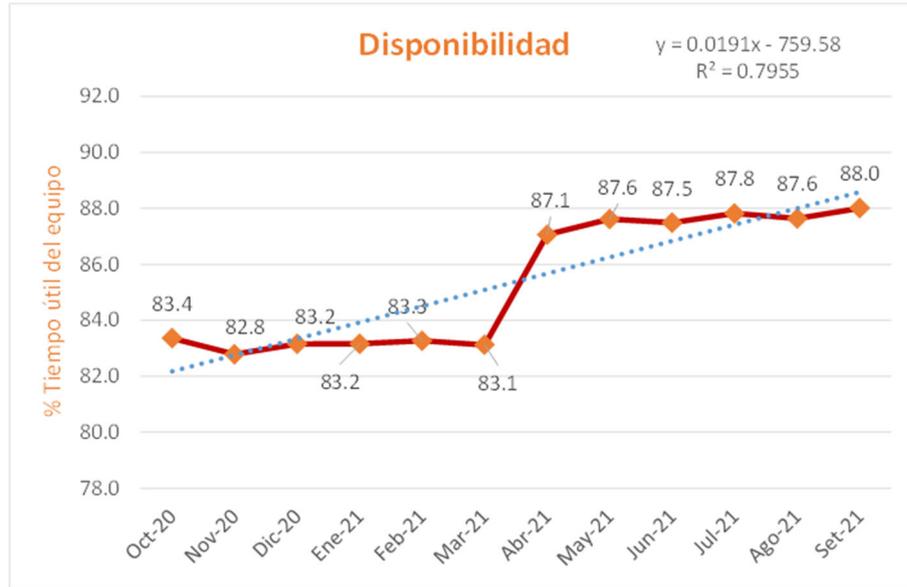


Tabla 5.4 Estadísticos descriptivos de la variable dependiente

Descriptivos		Estadístico	Error estándar	
% Tiempo útil del equipo pretest	Media	83.167	0.0843	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	82.950	
		Límite superior	83.383	
	Media recortada al 5%	83.174		
	Mediana	83.200		
	Varianza	0.043		
	Desviación estándar	0.2066		
	Mínimo	82.8		
	Máximo	83.4		
	Rango	0.6		
% Tiempo útil del equipo postest	Media	87.600	0.1238	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	87.282	
		Límite superior	87.918	
	Media recortada al 5%	87.606		
	Mediana	87.600		
	Varianza	0.092		
	Desviación estándar	0.3033		
	Mínimo	87.1		
	Máximo	88.0		
	Rango	0.9		

### Confiabilidad - Dimensión N°1 de la variable dependiente

Los datos que se aprecian a continuación representan el Tiempo medio entre fallo (MTBF) a través del cual se ha medido el nivel de confiabilidad. Esta información ha sido levantada en 2 escenarios: antes y después de la implementación de la mejora en la minera de tajo abierto, Moquegua, 2021.

Tabla 5.5 Nivel de Confiabilidad (oct, 2020 a set, 2021)

Escenario	Mes	Tiempo de operación de los equipos	Número de fallas/paradas	Tiempo medio entre fallos MTBF	Confiabilidad
Pre - test	Oct-20	7,135.0	2.0	3,567.5	3,560.9
	Nov-20	6,932.0	2.0	3,466.0	
	Dic-20	7,218.0	2.0	3,609.0	
	Ene-21	7,260.0	2.0	3,630.0	
	Feb-21	7,083.0	2.0	3,541.5	
	Mar-21	7,103.0	2.0	3,551.5	
Pos - test	Abr-21	8,253.0	2.0	4,126.5	4,236.2
	May-21	8,581.0	2.0	4,290.5	
	Jun-21	8,603.0	2.0	4,301.5	
	Jul-21	8,424.0	2.0	4,212.0	
	Ago-21	8,433.0	2.0	4,216.5	
	Set-21	8,540.0	2.0	4,270.0	

Mejora  
(% Variación) 19.0%

En la Tabla 15, se puede comparar el Tiempo medio entre fallos (MTBF) antes y después de la aplicación, lográndose visualizar una mejora de 19% en el nivel de confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, Moquegua, 2021.

Figura 5.3 Nivel de confiabilidad (oct, 2020 a set, 2021)

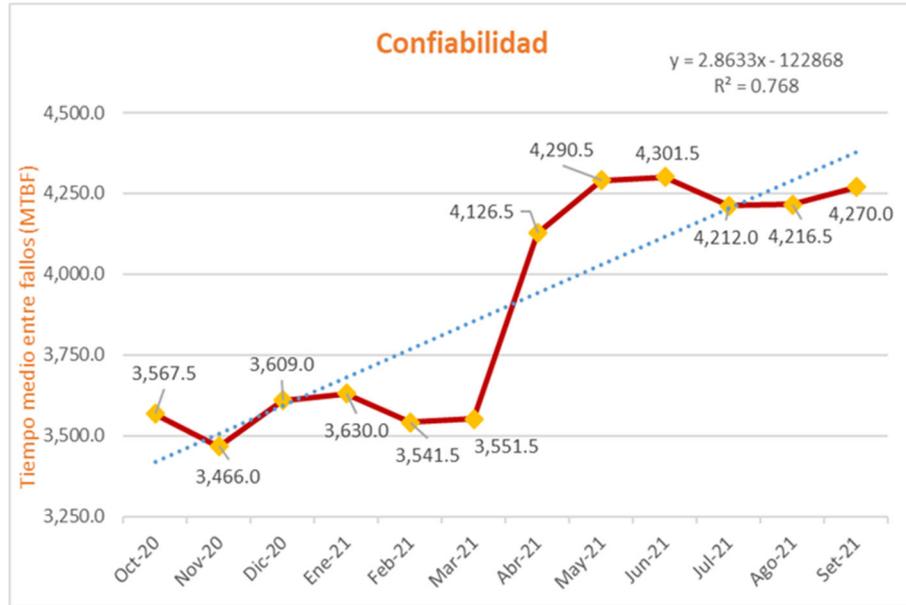


Tabla 5.6 Estadísticos descriptivos de la dimensión 1 de la variable dependiente

Descriptivos			Estadístico	Error estándar
Tiempo medio entre fallos - MTBF pretest	Media		3560.917	23.5250
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3500.444	
		Límite superior	3621.389	
	Media recortada al 5%		3562.352	
	Mediana		3559.500	
	Varianza		3320.542	
	Desviación estándar		57.6241	
	Mínimo		3466.0	
	Máximo		3630.0	
	Rango		164.0	
Tiempo medio entre fallos - MTBF postest	Media		4236.167	26.6851
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4167.570	
		Límite superior	4304.763	
	Media recortada al 5%		4238.630	
	Mediana		4243.250	
	Varianza		4272.567	
	Desviación estándar		65.3649	
	Mínimo		4126.5	
	Máximo		4301.5	
	Rango		175.0	

## Mantenibilidad - Dimensión N°2 de la variable dependiente

El Tiempo medio para reparar un fallo (MTTR) ha sido medido en base al tiempo empleado para las reparaciones respecto del número de fallas/paradas, al igual que en los anteriores análisis descriptivos, también fueron medidos en 2 escenarios distintos: antes y después de la implementación de la mejora en la minera de tajo abierto, Moquegua, 2021.

Tabla 5.7 Nivel de mantenibilidad (oct, 2020 a set, 2021)

Escenario	Mes	Tiempo empleado para las reparaciones	Número de fallas/paradas	Tiempo medio para reparar un fallo MTTR	Mantenibilidad
Pre - test	Oct-20	1,424.0	2.0	712.0	721.8
	Nov-20	1,441.0	2.0	720.5	
	Dic-20	1,462.0	2.0	731.0	
	Ene-21	1,470.0	2.0	735.0	
	Feb-21	1,423.0	2.0	711.5	
	Mar-21	1,442.0	2.0	721.0	
Pos - test	Abr-21	1,227.00	2.0	613.5	599.5
	May-21	1,213.00	2.0	606.5	
	Jun-21	1,231.00	2.0	615.5	
	Jul-21	1,169.00	2.0	584.5	
	Ago-21	1,190.00	2.0	595.0	
	Set-21	1,164.00	2.0	582.0	

Mejora  
(% Variación) -16.9%

En la Tabla 17, se puede comparar el Tiempo medio para reparar un fallo antes y después de la aplicación, lográndose visualizar una mejora del 16.9% en el promedio del nivel de mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, Moquegua, 2021.

Figura 5.4 Nivel de mantenibilidad (oct, 2020 a set, 2021)

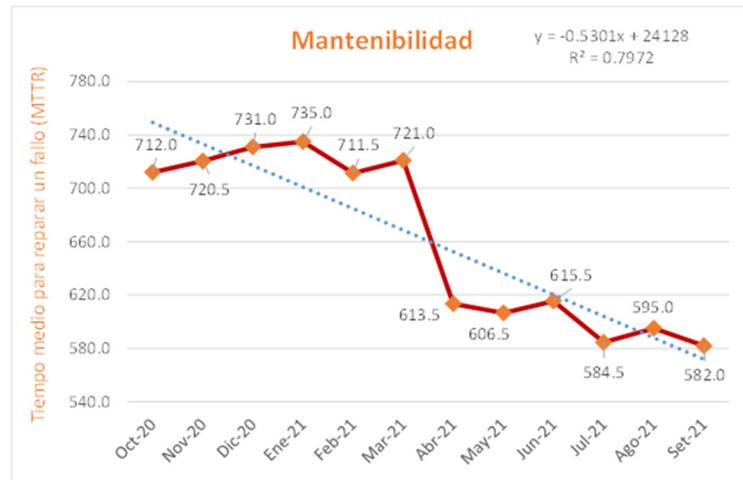


Tabla 5.8 Estadísticos descriptivos de la dimensión 2 de la variable dependiente

<b>Descriptivos</b>		Estadístico	Error estándar	
Tiempo medio para reparar un fallo - MTTR pretest	Media	721.833	3.9299	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	711.731	
		Límite superior	731.936	
	Media recortada al 5%	721.676		
	Mediana	720.750		
	Varianza	92.667		
	Desviación estándar	9.6264		
	Mínimo	711.5		
	Máximo	735.0		
	Rango	23.5		
Tiempo medio para reparar un fallo - MTTR postest	Media	599.500	5.9231	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	584.274	
		Límite superior	614.726	
	Media recortada al 5%	599.583		
	Mediana	600.750		
	Varianza	210.500		
	Desviación estándar	14.5086		
	Mínimo	582.0		
	Máximo	615.5		
	Rango	33.5		

## 5.2 Resultados inferenciales.

### Prueba de normalidad

#### a. Análisis de falla - Variable independiente

Tabla 5.9 Análisis de normalidad de la variable independiente

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia NPR	0.268	6	,200 <sup>*</sup>	0.866	6	0.211

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

H<sub>0</sub>: Los datos de la diferencia de Índice de los 8 pasos (NPR) NO difieren de la distribución normal.

H<sub>1</sub>: Los datos de la diferencia de Índice de los 8 pasos (NPR) difieren de la distribución normal.

Decisión.

Si la sig < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>)

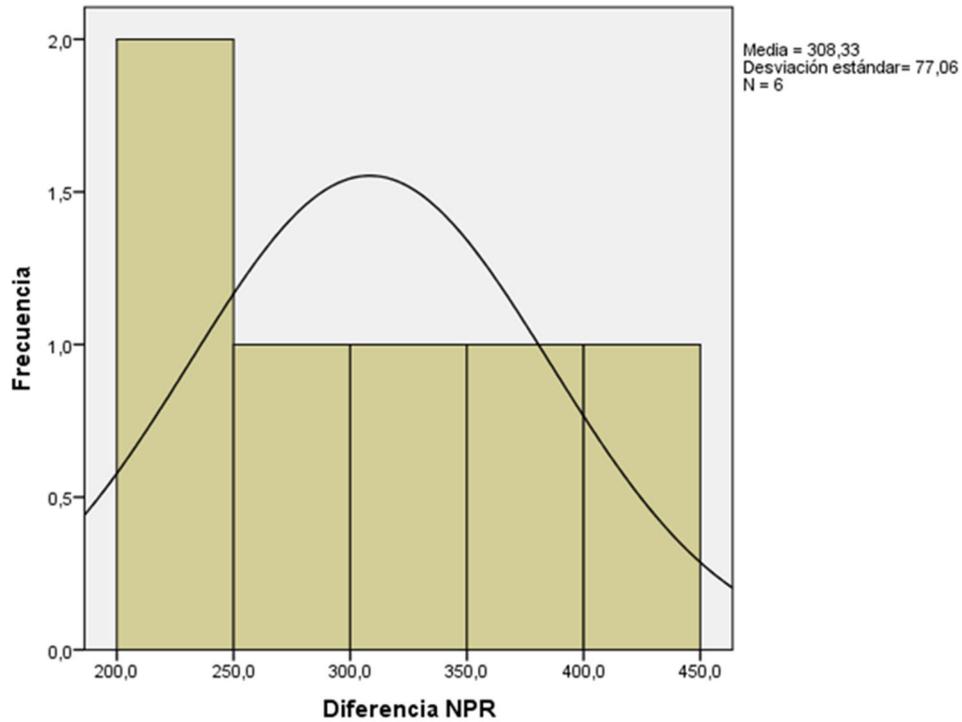
Debido a que la muestra de la diferencia está conformada por 20 datos será conveniente utilizar la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.

Se observa que la sig = 0.211 > 0.05, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, los datos tienen distribución normal.

En la Figura 33, se observa que la dispersión de los datos del histograma de la diferencia del Índice de los 8 pasos (NPR) se encuentra centrados.

Es decir, los datos del nivel de Análisis de falla tienen distribución normal.

Figura 5.5 Histograma de la diferencia del nivel de Análisis de falla



## b. Disponibilidad - Variable dependiente

Tabla 5.10 Análisis de normalidad de la variable dependiente

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia % Tiempo útil	0.213	6	,200 <sup>*</sup>	0.924	6	0.532

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

H<sub>0</sub>: Los datos de la diferencia de % Tiempo útil del equipo NO difieren de la distribución normal.

H<sub>1</sub>: Los datos de la diferencia de % Tiempo útil del equipo difieren de la distribución normal.

Decisión.

Si la sig < 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ )

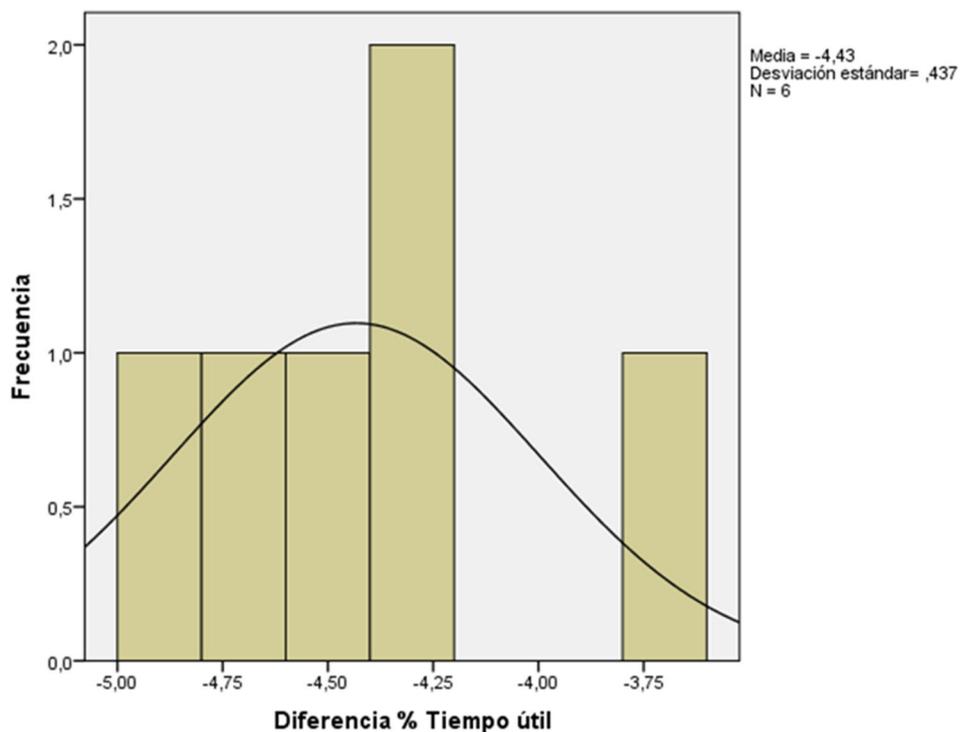
Debido a que la muestra de la diferencia está conformada por 20 datos será conveniente utilizar la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.

Se observa que la sig = 0.532 > 0.05, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, los datos tienen distribución normal.

En la Figura 26, se observa que la dispersión de los datos del histograma de la diferencia del % Tiempo útil del equipo se encuentra centrados.

Es decir, los datos del nivel de % Tiempo útil del equipo tienen distribución normal.

Figura 5.6 Histograma de la diferencia del nivel de % Tiempo útil del equipo



### c. Confiabilidad - Dimensión N°1 de la variable dependiente

Tabla 5.11 Análisis de normalidad de la dimensión 1 de la variable dependiente

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia MTBF	0.166	6	,200 <sup>*</sup>	0.950	6	0.744

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

H<sub>0</sub>: Los datos de la diferencia de la Confiabilidad (MTBF) NO difieren de la distribución normal.

H<sub>1</sub>: Los datos de la diferencia de la Confiabilidad (MTBF) difieren de la distribución normal.

Decisión.

Si la sig < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>)

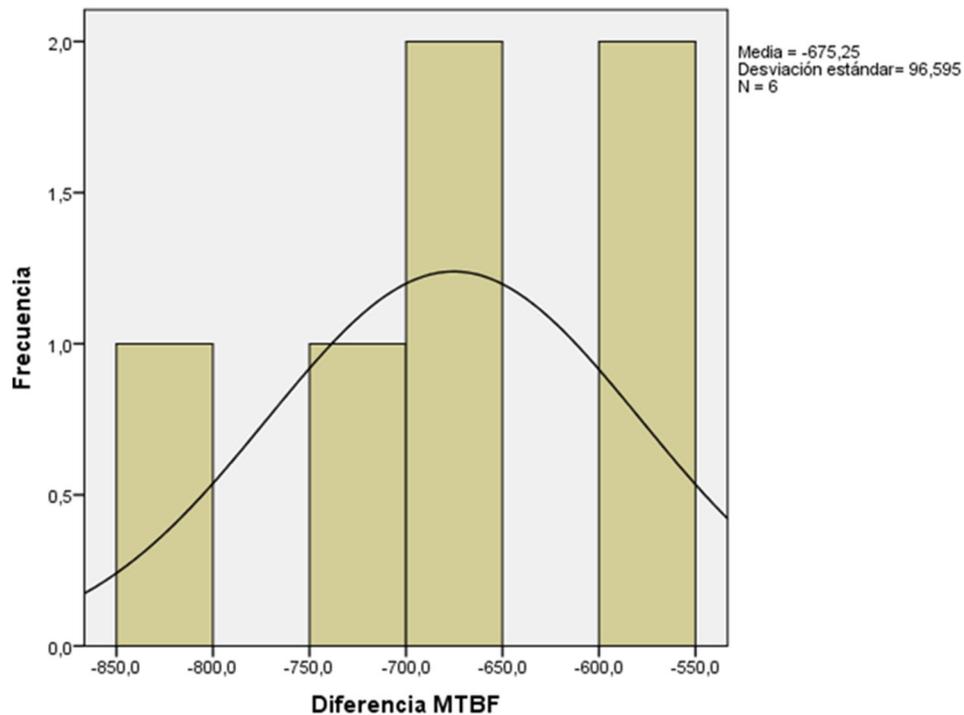
Debido a que la muestra de la diferencia está conformada por 20 datos será conveniente utilizar la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.

Se observa que la sig = 0.744 > 0.05, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, los datos tienen distribución normal.

En la Figura 5.6 se observa que la dispersión de los datos del histograma de la diferencia de la Confiabilidad (MTBF) se encuentra centrados.

Es decir, los datos del nivel de Confiabilidad (MTBF) tienen distribución normal

Tabla 5.12 Histograma de la diferencia del nivel de confiabilidad (MTBF)



#### d. Mantenibilidad - Dimensión N°2 de la variable dependiente

Tabla 5.13 Análisis de normalidad de la dimensión 2 de la variable dependiente

##### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia MTTR	0.288	6	0.132	0.919	6	0.495

a. Corrección de significación de Lilliefors

H<sub>0</sub>: Los datos de la diferencia de la Mantenibilidad (MTTR) NO difieren de la distribución normal.

H<sub>1</sub>: Los datos de la diferencia de la Mantenibilidad (MTTR) difieren de la distribución normal.

Decisión.

Si la sig < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>)

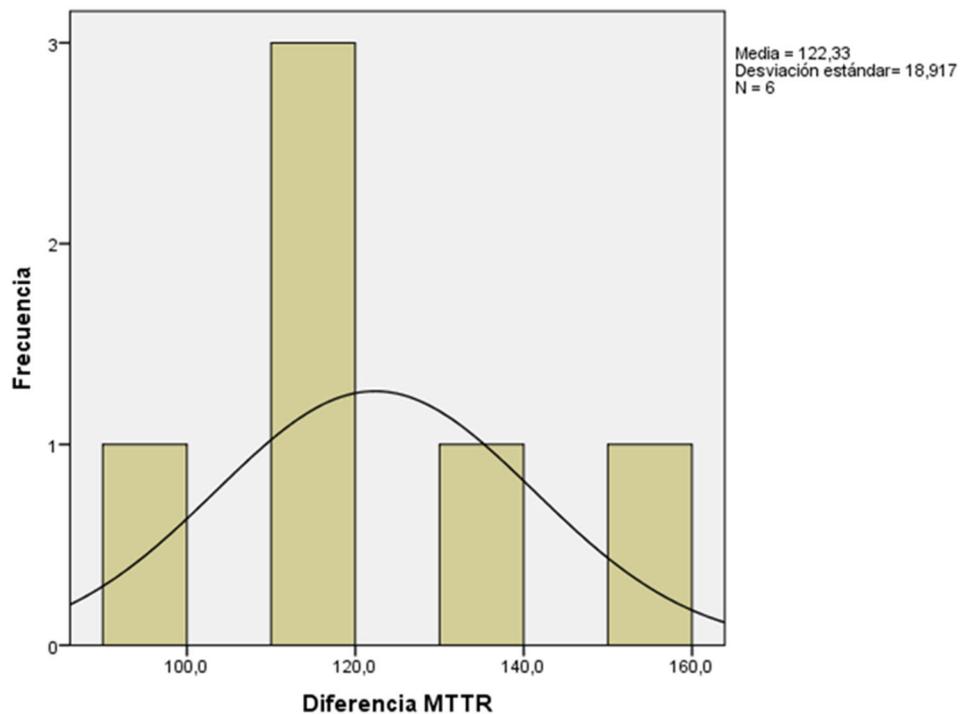
Debido a que la muestra de la diferencia está conformada por 20 datos será conveniente utilizar la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk.

Se observa que la sig = 0.495 > 0.05, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, los datos tienen distribución normal.

En la Figura 5.8, se observa que la dispersión de los datos del histograma de la diferencia de la Mantenibilidad (MTTR) se encuentra centrados.

Es decir, los datos del nivel de Mantenibilidad (MTTR) tienen distribución normal.

Figura 5.7 Histograma de la diferencia del nivel de Mantenibilidad (MTTR)



## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

#### Hipótesis general

Ho: El análisis de falla a cojinetes de biela de motor NO mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

Ha: El análisis de falla a cojinetes de biela de motor mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

Tabla 6.1 Estadísticas de muestras relacionadas de la hipótesis general

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	% Tiempo útil del equipo pretest	83.167	6	0.2066	0.0843
	% Tiempo útil del equipo posttest	87.600	6	0.3033	0.1238

Tabla 6.2 Correlaciones de muestras relacionadas de la hipótesis general

		N	Correlación	Sig.
Par 1	% Tiempo útil del equipo pretest & % Tiempo útil del equipo posttest	6	0.903	0.000

Tabla 6.3 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis general

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)	
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
Par 1	% Tiempo útil del equipo pretest - % Tiempo útil del equipo posttest	-4.4333	0.4367	0.1783	-4.8916	-3.9751	-24.870	5	0.000

Regla de decisión:

Ho:  $\mu$  disponibilidad antes  $\geq$   $\mu$  disponibilidad después

Ha:  $\mu$  disponibilidad antes  $<$   $\mu$  disponibilidad después

De la tabla 17, queda demostrado estadísticamente que la media del nivel de disponibilidad antes = 83.167 es menor que la media de la disponibilidad después = 87.600.

Por consiguiente, no se cumple  $H_0$ :  $\mu$  disponibilidad antes  $\geq$   $\mu$  disponibilidad después, en tal razón se rechaza la hipótesis nula que indica que el análisis de falla a cojinetes de biela NO mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, y se acepta la hipótesis de investigación o alterna, por lo cual el análisis de falla a cojinetes de biela mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

### Hipótesis específica N°1

$H_0$ : El análisis de falla a cojinetes de biela de motor NO mejora la Confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

Ha: El análisis de falla a cojinetes de biela de motor mejora la Confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

Tabla 6.4 Estadísticas de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°1

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Tiempo medio entre fallos - MTBF pretest	3560.917	6	57.6241	23.5250
	Tiempo medio entre fallos - MTBF posttest	4236.167	6	65.3649	26.6851

Tabla 6.5 Correlaciones de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°1

Correlaciones de muestras emparejadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Tiempo medio entre fallos - MTBF pretest & Tiempo medio entre fallos - MTBF posttest	6	0.901	0.000

Tabla 6.6 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°1

Prueba de muestras emparejadas									
	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)	
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
Par 1 Tiempo medio entre fallos - MTBF pretest - Tiempo medio entre fallos - MTBF postest	-675.2500	96.5954	39.4349	-776.6207	-573.8793	-17.123	5	0.000	

Regla de decisión:

Ho:  $\mu$  Confiabilidad antes  $\geq$   $\mu$  Confiabilidad después

Ha:  $\mu$  Confiabilidad antes  $<$   $\mu$  Confiabilidad después

De la tabla 20, queda demostrado estadísticamente que la media del Tiempo medio entre fallo (MTBF) antes = 3560.917 es menor que la media del Tiempo medio entre fallo (MTBF) después = 4236.167

Por consiguiente, no se cumple Ho:  $\mu$  Confiabilidad antes  $\geq$   $\mu$  Confiabilidad después, en tal razón se rechaza la hipótesis nula que indica que el análisis de falla a cojinetes de biela NO mejora la Confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, y se acepta la hipótesis de investigación o alterna, por lo cual el análisis de falla a cojinetes de biela mejora la Confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

### Hipótesis específica N°2

Ho: El análisis de falla a cojinetes de biela de motor NO mejora la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

Ha: El análisis de falla a cojinetes de biela de motor mejora la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

Tabla 6.7 Estadísticas de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°2

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Tiempo medio para reparar un fallo - MTTR pretest	721.833	6	9.6264	3.9299
	Tiempo medio para reparar un fallo - MTTR postest	599.500	6	14.5086	5.9231

Tabla 6.8 Correlaciones de muestras relacionadas de la hipótesis específica 2

Correlaciones de muestras emparejadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Tiempo medio para reparar un fallo - MTTR pretest & Tiempo medio para reparar un fallo - MTTR postest	6	0.902	0.000

Tabla 6.9 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°2

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	Tiempo medio para reparar un fallo - MTTR pretest - Tiempo medio para reparar un fallo - MTTR postest	122.3333	18.9174	7.7230	102.4808	142.1859	15.840	5	0.000

Regla de decisión:

**Ho:**  $\mu$  mantenibilidad antes  $\geq$   $\mu$  mantenibilidad después

**Ha:**  $\mu$  mantenibilidad antes  $<$   $\mu$  mantenibilidad después

De la tabla 23, queda demostrado estadísticamente que la media del Tiempo medio para reparar un fallo (MTTR) antes = 721.833 es menor que la media del Tiempo medio para reparar un fallo (MTTR) después = 599.500.

Por consiguiente, no se cumple  $\mu$  mantenibilidad antes  $\geq$   $\mu$  mantenibilidad después, en tal razón se rechaza la hipótesis nula que indica que el análisis de

falla a cojinetes de biela NO mejora la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, y se acepta la hipótesis de investigación o alterna, por lo cual el análisis de falla a cojinetes de biela mejora la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

## **6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares.**

Según Basurto, Saucedo y Pérez (2021) en su artículo titulado “Análisis de falla de encendido en motores de combustión utilizando señales de vibración basado en el cálculo y reducción de indicadores estadísticos”, nos permite reforzar el estudio realizado en la aplicación del análisis de falla en el deterioro prematuro de los cojinetes de biela de motor para mejorar la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F, el cual tuvieron el objetivo de aumentar su vida útil y minimizar los gastos de mantenimiento aplicando el análisis de falla en los encendidos de motores.

Según Llontop (2019) en su tesis de Maestro con el título “Gestión de mantenimiento y disponibilidad mecánica para el equipo LH307 - Cargador frontal de bajo perfil, aplicado en minería subterránea.” nos permite reforzar el estudio realizado en la aplicación del análisis de falla en el deterioro prematuro de los cojinetes de biela de motor para mejorar la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F, el cual tuvieron el objetivo de mejorar la disponibilidad de los equipos, poniendo énfasis en los indicadores de confiabilidad ,disponibilidad mecánica y la utilización.

## **6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.**

Los autores de la tesis final se responsabilizan por la información emitida en la investigación titulada “Aplicación del análisis de falla en el deterioro prematuro de los cojinetes de biela de motor para mejorar la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, Moquegua 2021”, donde se somete a las normas, reglamentos y directivas de la Universidad Nacional de Callao para la obtención del título profesional.

## VII. CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos en la investigación, se observa que la aplicación del análisis de falla a cojinetes de biela mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, en 4.5%, hallándose un valor calculado para  $p = 0,000$  a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación 0,903.

Los resultados estadísticos de la comparación de medias que se realizaron con la prueba t student para muestras relacionadas en el pretest y posttest, evaluadas en un promedio de tiempo de 12 meses ratificaron la aceptación de la hipótesis general, demostrando así que la aplicación del análisis de falla a cojinetes de biela mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, Moquegua, 2021 en 4.5% en el 2021.

Por lo tanto, se aprueba la hipótesis general: la aplicación del análisis de falla a cojinetes de biela mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

Descriptiva y estadísticamente queda demostrado que la aplicación del análisis de falla a cojinetes de biela mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

2. De los resultados obtenidos en la investigación, se observa que la aplicación del análisis de falla a cojinetes de biela mejora la Confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, en 19.0%, hallándose un valor calculado para  $p = 0,000$  a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación 0,901.

Los resultados estadísticos de la comparación de medias que se realizaron con la prueba t student para muestras relacionadas en el pretest y posttest, evaluadas en un promedio de tiempo de 12 meses ratificaron la aceptación de la hipótesis específica 1, demostrando así que la aplicación del análisis de falla de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

Por lo tanto, se aprueba la hipótesis específica 1: la aplicación del análisis de falla a cojinetes de biela mejora la Confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

Descriptiva y estadísticamente queda demostrado que la aplicación del análisis de falla a cojinetes de biela mejora la Confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

3. De los resultados obtenidos en la investigación, se observa que la aplicación del análisis de falla a cojinetes de biela mejora la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, en 16.9%, hallándose un valor calculado para  $p = 0,000$  a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación 0,902.

Los resultados estadísticos de la comparación de medias que se realizaron con la prueba t student para muestras relacionadas en el pretest y postest, evaluadas en un promedio de tiempo de 12 meses ratificaron la aceptación de la hipótesis específica 2.

Por lo tanto, se aprueba la hipótesis específica 2: la aplicación del análisis de falla a cojinetes de biela mejora la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

Descriptiva y estadísticamente queda demostrado que la aplicación del análisis de falla a cojinetes de biela mejora la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

1. Es fundamental que los colaboradores tengan mayor alcance sobre el análisis de falla de los 8 pasos en los camiones CAT 797F, a fin de que se pueda mejorar la disponibilidad de unidades. Al tener una mayor cantidad de vehículos varados por fallos imprevistos, los costos se incrementan ocasionando pérdidas en todas las áreas de la organización.

2. Es importante que el área de mantenimiento del proyecto minero este alineado a los procedimientos que se requiere en un análisis de falla, cuando falla un camión para que tome acción cuando falla el activo y no vaya a dañar las evidencias dejadas por la falla.

3. Una vez encontrado la causa raíz del problema es necesario hacer seguimiento del activo con eso comprobaremos que efectivamente hemos solucionado el problema y por ende tendremos más disponibilidad de los camiones reduciendo los costos por reparación temprana que se daban.

4. Una vez encontrado la causa raíz del problema y estos son atribuibles al producto deben ser informadas a Caterpillar y generar los SIMS correspondientes para que el fabricante pueda realizar las modificaciones necesarias de su producto y así alarga la vida de este activo.

5. Registrar todas las historias de mantenimiento, descargas de los módulos de control electrónico, fotos, informes que se obtuvieron durante el proceso del análisis de falla a fin de tener una data de estas fallas y puedan ser transmitidas a toda el área de mantenimiento para su conocimiento y puedan ser consideradas durante el monitoreo del camión 797F.

## **IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALDANA, C. (2019). Gestión del Mantenimiento Preventivo para mejorar la disponibilidad en los equipos mineros de transporte en la unidad Inmaculada-Ayacucho de la empresa Unión de Concreteras S.A. Lima.

ANDRADE, C., & HERRERA, M. (2021). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. 4(8).

Bernal, C. (2010). Metodología de la investigación. Colombia: Pearson Educación.

BUENAÑO, L., VILLAGRÁN, W., & SANTILLAN, C. (2019). Utilización de la auditoría de mantenimiento y el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) como herramientas para la identificación de problemas en la gestión de mantenimiento de locomotoras en empresas de ferrocarriles. 4(4).

DUARTE, J., RAMON, S., & VALENCIA, G. (2020). Análisis de fallas en motor Diésel monocilíndrico SK-MDF300 a través de las emisiones acústicas. (U. F. Santander, Ed.) 25(2).

FLORES, M., MEDINA, D., VARGAS, D., & VINUEZA, B. (2020). Asignación de modelos de mantenimiento basada en la criticidad y disponibilidad del equipo. 9(4).

GARCÍA, A., SAUCEDO, J., PEREZ, A., & OSORNIO, A. (2021). Análisis de falla de encendido en motores de combustión utilizando señales de vibración basado en el cálculo y reducción de indicadores estadísticos. 25(1).

GARCÍA, S., MENDOZA, N., MUÑOZ, B., & DOÑU, M. (2021). Análisis de falla sobre roles para cuerdas metálicas. 25(1).

GUERRA , Y., ORDONEZ, U., & GONZALEZ, V. (2019). Análisis de la falla de pernos de fijación de las zapatas polares de un motogenerador. 22(3).

GUTIERREZ, A., & TENA, E. (2019). Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos y máquinas del laboratorio de mecánica de fluidos y máquinas térmicas de la Fime-UNAC 2018. Lima.

GUTIERREZ, E., RODRIGUEZ, P., & LAVADO, C. (2020). Mejoras para elevar la disponibilidad de las unidades acuáticas livianas. 23(1).

LIZARRAGA, A. (2018). Gestión gerencial de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos en la empresa corporación petrolera S.A.C. Lima.

LLONTOP, R. (2018). Gestión de mantenimiento y disponibilidad mecánica para el equipo LH307 - Cargador frontal de bajo perfil, aplicado en minería subterránea. Lima.

PARRA, C. (2012). Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. España: Ingeman.

PARRA, C., & CRESPO, A. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos. España: Ingeman.

RASHUAMAN, R. (2019). *Modelo de gestión de mantenimiento para el incremento de disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrífugas*. Lima.

Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. Maira Gasca, Luis Camargo y Byron Medina. 4, Colombia : s.n., 2017, Información tecnológica, Vol. 28, págs.

La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. Mesa, Dairo. 30, 2006, Scientia et Technica .

Análisis de la fractura de una biela de compresor de refrigeración. Ernesto Germán, Sara Rodríguez ,Jhon Jairo. 1, Bogota : s.n., 2010, Ingeniería e investigación, Vol. 30, págs. 130-135.

Análisis de modos de falla, efectos y criticidad. Jose Aguilar, Rocío Torres , Diana Magaña. 1, México : s.n., 2010, Tecnología, Ciencia, Educación, Vol. 25, págs. 15-26. ISSN: 0186-6036.

Evaluación de la falla de una biela de automotor. Cravino, Cardús, Svoboda, De Rosa. 3, Argentina : s.n., 2003, Materia, Vol. 8, págs. 204-212.

GUTIERREZ, Esteban. Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos y máquinas del laboratorio de mecánica de fluidos y máquinas térmicas de la Fime-UNAC 2018. Callao : Universidad Nacional del Callao, 2018.

Rashuamá, Ricardo. Modelo de gestión de mantenimiento para el incremento de disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrífugas. Callao : Universidad Nacional del Callao, 2019.

LLONTOP, Ronny. Gestión de mantenimiento y disponibilidad mecánica para el equipo LH307 - Cargador frontal de bajo perfil, aplicado en minería subterránea. Callao : Universidad Nacional del Callao, 2019.

Análisis de falla sobre roles para cuerdas metálicas. Steven, García. 1, Mexico : Científica, 2021, Vol. 25, págs. 1-8.

Optimización del Análisis de Falla de. Ramos, Sergio. Mexico : s.n., 2019, Conciencia Tecnológica, págs. 46-58. ISSN-e 1405-5597.

Análisis de la falla del techo flotante de un tanque de almacenamiento de gasolina. Rivera, Beltrán. 1, La Habana : ISSN 2221-2442, 2021, CENIC Ciencias Químicas, Vol. 52, págs. 1-9.

Análisis de la falla de pernos de fijación de las zapatas polares de un motogenerador. Fernandez, Yamira. 3, La Habana : ISSN 1815-5944, 2019, Ingeniería mecánica , Vol. 22, págs. 156-160.

Gutierrez Verde, Rodriguez Ramos y Lavado. Mejoras para elevar la disponibilidad de las unidades acuáticas livianas. s.l. : Ingeniería Mecánica,

# ANEXO

## ANEXO 1: Matriz de consistencia

TITULO	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE 1	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	DEFINICIÓN DIMENSIONES SUBVARIABLES	INDICADORES	DEFINICIÓN INDICADOR	TÉCNICA INSTRUMENTOS							
APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FALLA EN EL DETERIORO PREMATURO COJINETES DE BIELA DE MOTOR PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS CAMIONES CATERPILLAR 797F EN UNA MINERA DE TAJO ABIERTO, MOQUEGUA, 2021	¿De que manera la aplicación del análisis de Falla, en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua, 2021?	Determinar como el Análisis de Falla, en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua, 2021.	El Análisis de Falla en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la disponibilidad de los camiones caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua, 2021.	Análisis de falla	El análisis de falla es una metodología utilizada por Caterpillar la cual divide esta metodología en 8 pasos buscando hacer un análisis del problema, una organización de datos, Observar y registrar los hechos, Pensar lógicamente los hechos, Causa raíz, Comunicar al responsable, Ejecutar reparaciones y de riesgo y confiabilidad, Ciencia Ed. (IMI) vol. 25 núm. 1: 2010	El análisis de falla es una metodología utilizada por Caterpillar la cual divide esta metodología en 8 pasos buscando hacer un análisis del problema, una organización de datos, Observar y registrar los hechos, Pensar lógicamente los hechos, Causa raíz, Comunicar al responsable, Ejecutar reparaciones y de riesgo y confiabilidad, Ciencia Ed. (IMI) vol. 25 núm. 1: 2010	Definir el problema	Ver la realidad del problema Escribir los detalles concisamente y con claridad	Registro de datos por rango de Severidad	Para estimar el grado de severidad, se debe de tomar en cuenta el efecto de la falla en el cliente. Se utiliza una escala del 1 al 10: el '1' indica una consecuencia sin efecto. El 10 indica una consecuencia grave.	Observación / Registros en Formatos de Recolección							
							Organizar la acumulación de datos	Recopilación de los datos Verificación de información recibida	Historial de fallas por mayor rango Severidad									
							Observar y registrar los hechos	Inspección visual de partes falladas Fotografiar y documentar evidencias	Check list de registro por Ocurrencia									
							Pensar lógicamente los hechos	Realizar filtraciones de la parte fallada. Determinar que paso y hacia dónde dirigen	Formatos de Ocurrencia									
							Causa raíz	Identificar la causa raíz del problema	Detección de fallas									
							Comunicar al responsable	Escribir los detalles concisamente y con claridad	Registros de conformidad									
							Ejecutar reparaciones	Realizar listado de las causas originales posibles	Formato de cumplimiento de reparaciones									
							Seguimiento	Determinar que paso y hacia dónde dirigen	Historial del seguimiento de la detección									
							PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICO			VARIABLE 1	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	DEFINICIÓN DIMENSIONES SUBVARIABLES	INDICADORES	DEFINICIÓN INDICADOR
							¿De que manera la aplicación del análisis de Falla, en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua, 2021?	Determinar como el Analisis de Falla, en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua, 2021.	El Análisis de Falla en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la confiabilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua, 2021			Disponibilidad	Es el porcentaje de tiempo que el sistema o equipo está útil o disponible para producción	La investigación se fundamenta en el estudio de la variable disponibilidad que será medida a través de la confiabilidad y mantenibilidad, de los camiones caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, Moquegua, 2021.	Confiabilidad	Probabilidad de buen funcionamiento (González, 2010, p.56).	$\% \text{ Tiempo útil del equipo} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$	Porcentaje de tiempo en el que se espera que el equipo alcance su máximo rendimiento
															Mantenibilidad	Probabilidad de duración de reparación/visión (González, 2010, p.56)	$\text{Tiempo medio para reparar un fallo (MTTR)} = \frac{\text{Tiempo empleado para las intervenciones (tiempo de reparación)}}{\text{Número de fallas (paradas)}}$	Se evidenció los datos necesarios como son las horas de proceso y el número de reparaciones para hallar la disponibilidad en los dos ámbitos inicial y final
							¿De que manera la aplicación del análisis de Falla, en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la Mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua, 2021?	Determinar como el Analisis de Falla, en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua, 2021.	El Análisis de Falla en el deterioro prematuro de cojinetes de biela de motor mejora la mantenibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una minera de tajo abierto de la ciudad de Moquegua, 2021.			Disponibilidad	Es el porcentaje de tiempo que el sistema o equipo está útil o disponible para producción	La investigación se fundamenta en el estudio de la variable disponibilidad que será medida a través de la confiabilidad y mantenibilidad, de los camiones caterpillar 797F en una minera de tajo abierto, Moquegua, 2021.	Confiabilidad	Probabilidad de buen funcionamiento (González, 2010, p.56).	$\% \text{ Tiempo útil del equipo} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$	Porcentaje de tiempo en el que se espera que el equipo alcance su máximo rendimiento
Mantenibilidad	Probabilidad de duración de reparación/visión (González, 2010, p.56)	$\text{Tiempo medio para reparar un fallo (MTTR)} = \frac{\text{Tiempo empleado para las intervenciones (tiempo de reparación)}}{\text{Número de fallas (paradas)}}$	Se obtuvieron los datos necesarios como son horas de reparación y el número de reparaciones para hallar la disponibilidad en los dos ámbitos inicial y final															

## ANEXO 2: Validación de instrumentos por juicio de experto 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
CALLAO

Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio

### VALIDACION DEL INSTRUMENTO

#### 1.DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y nombres del experto: *Moreno Zavala, Guillermo Alejandro*  
 1.2 Cargo e institución donde labora: *Analista de Fallas- Ferreyros*  
 1.3 Nombre del instrumento motivo de evaluación: *Ficha de recolección de datos.*  
 1.4 Autor del Instrumento: *Richard Jesús Marres Castillo – Jonathan Utrilla Fernández.*

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20 %	Regular 21-40 %	Bueno 41-60 %	Muy bueno 61-80 %	Excelente 81-100 %
1.CLARIDAD	Esta formulada con lenguaje apropiado				X	
2.OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables				X	
3.ACTUALIDAD	Adecuado el alcance de ciencia y tecnología					X
4.ORGANIZACION	Existe una organización lógica				X	
5.SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad					X
6.INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del sistema de evaluación y desarrollo de capacidades cognitivas				X	
7.CONCISTENCIA	Basados en aspectos teóricos científicos de la Tecnología Educativa				X	
8.COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones					X
9.METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				X	

#### 2.OPINION DE APLICABILIDAD:

*El análisis realizado en el documento proporciona puntos a tener en consideración por el área de monitoreo para mejorar la vida de los componentes.*

#### 3.PROMEDIO DE VALORACION:

Lima, 18 julio 2023



**VALIDACION DEL INSTRUMENTO**

ITEMS	PREGUNTA	APRECIACION		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	¿El instrumento responde al planteamiento del problema?	X		
2	¿El instrumento responde a los objetivos del problema?	X		
3	¿Las dimensiones que se han tomado en cuenta son adecuadas para la realización del instrumento?	X		
4	¿El instrumento responde a la operacionalización de las variables?	X		
5	¿La estructura que presenta el instrumento es de forma clara y precisa?	X		
6	¿Los ítems están redactados en forma clara y precisa?	X		
7	¿El número de ítems es el adecuado?	X		
8	¿Los ítems del instrumento son válidos?	X		
9	¿Se debe incrementar el número de ítems?		X	
10	¿Se debe eliminar algunos ítems?		X	

Aportes y/o sugerencias:

Para futuros trabajos se podrían considerar otras locaciones de tal manera que se incrementa la muestra.

  
Nombre y Firma

18, julio 2023



### VALIDACION DE EXPERTOS

#### 1.DATOS GENERALES:

Nombre: Guillermo Alejandro Moreno Zavala

Especialidad: Magister en Metalurgia

Fecha: 18/07/2023

#### 2.OBSERVACIONES A TENER EN CUENTA

- **FORMA**  
El desarrollo de los puntos está en el correcto orden de tal manera que permite plantear una solución a la problemática planteada.
- **CONTENIDO**  
Los puntos analizados son los necesarios para poder plantear soluciones con el fin de mejorar la disponibilidad de los equipos.
- **ESTRUCTURA**  
Está bien planteada ya que permite un correcto entendimiento del documento y cómo los puntos expuestos se relacionan entre sí.

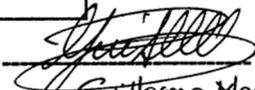
#### 3.APORTES Y/O SUGERENCIAS

Tomar en cuenta reportes de operación en los camiones cuyos motores cumplieron su tiempo de vida antes de su reparación general para buscar diferencias que puedan explicar, en algunos casos, el motivo de falla.

Luego, de revisado el documento procede a su aprobación.

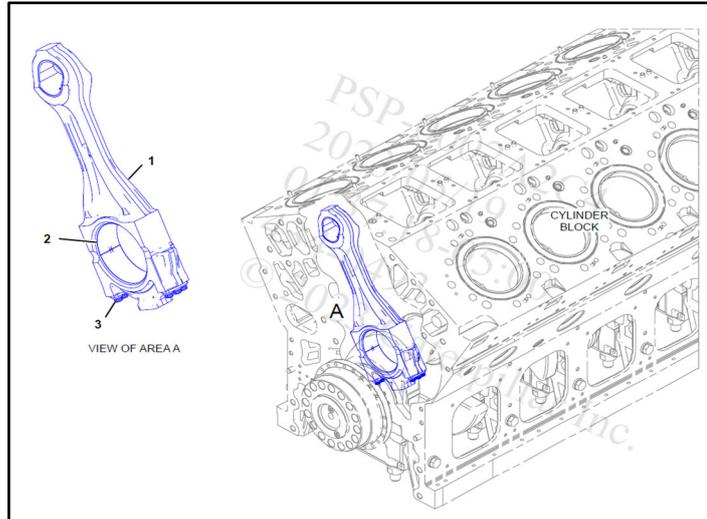
SI

NO

  
Guillermo Moreno  
Nombre y Firma

## ANEXO 6 : Otros anexos

### COJINETES DE MOTOR



18/5/23, 20:37

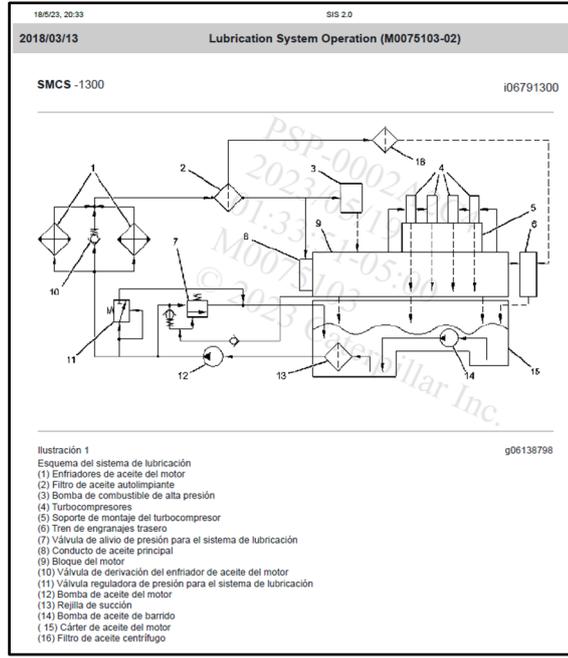
SIS 2.0

434-0493 CONNECTING ROD GP  
 S/N LLM1261-1400; LLM1441-1510  
 PART OF 289-6413, 459-4758 ENGINE AR-CORE  
 FOR USE WITH ODD CYLINDER  
 AN ATTACHMENT

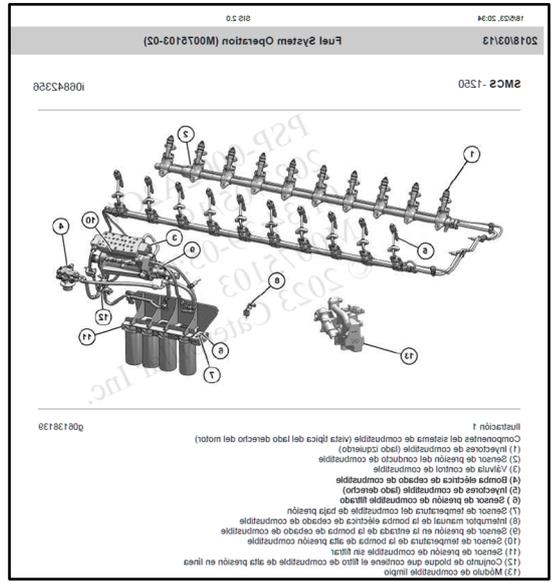
Image #	Callout #	Part Number	Part Name	Quantity
Group Part				
		434-0493	Connecting Rod GP	
Part List Items				
1	1	434-0487 Y	Connecting Rod GP	1
1	2 CCR	485-5615	Bearing-Connecting Rod	1
1	3 CCR	428-7386	Bolt AS	6

**R - Remanufactured Part May Be Available**  
**Y - Separate Illustration**

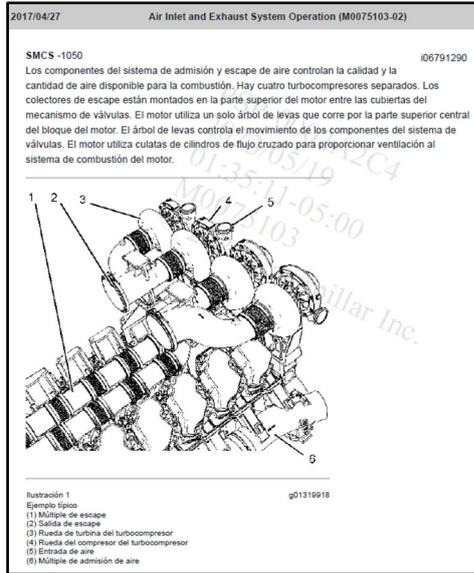
# SISTEMA DE LUBRICACION



# SISTEMA DE COMBUSTIBLE:



## SISTEMA DE ADMISION Y ESCAPE



## DECALOGO

Camión Minero  
**797F**

**CAT**

Motor		Peso: aproximado	
Modelo del motor	Cat® C175-20	Peso bruto de la máquina en orden de trabajo (SMW)	623.690 kg / 1.375.000 lb
Potencia bruta: SAE #1995	2.993 kW / 4.000 hp	<b>Especificaciones de operación</b>	
Potencia neta: SAE #1349	2.629 kW / 3.700 hp	Capacidad de carga útil nominal	363 toneladas métricas / 400 toneladas EE. UU.

## Tren de fuerza: motor

El motor Cat C175-20 suministra potencia, fiabilidad y eficiencia para las aplicaciones de minería más exigentes.

### Motor

El motor diesel Cat® C175-20 con poseñificador aire a aire y turbocompresor cuádruple que ha mejorado la capacidad de administración de potencia para máximo rendimiento de acarreo en las aplicaciones de minería más exigentes.

### Diseño

El Motor C175-20 tiene un diseño de 20 cilindros, un solo bloque y cuatro tiempos que usa cámaras de potencia largas y eficaces para lograr una óptima eficiencia.

### 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.

### Vida útil prolongada

El mayor desplazamiento, la clasificación de rpm bajas y las clasificaciones conservadoras de potencia equivalen a más tiempo en los caminos de acarreo y menos tiempo en el taller.

### Sistema de combustible de riel común Cat

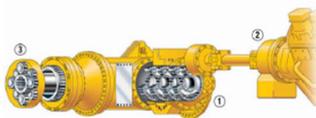
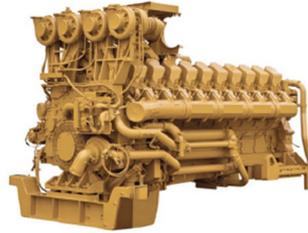
El sistema con control electrónico detecta las condiciones de operación y regula la entrega de combustible para alcanzar una eficiencia óptima de combustible. Este sistema de combustible preciso y flexible otorga al motor la capacidad de cumplir con las normativas de emisiones sin sacrificar el rendimiento, la fiabilidad o la durabilidad.

### Sistema de enfriamiento

El diseño de núcleo flexible del radiador MESABI permite más facilidad de servicio junto con una larga vida útil y alta durabilidad. El 797F tiene equipado de forma estándar el radiador MESABI.

### Motor de arranque

El tanque en el sistema de arranque neumático se encuentra a nivel del suelo para facilidad de servicio.



## Tren de fuerza: transmisión

Más potencia al suelo significa proporcionar mayor productividad.

### Tren de fuerza mecánico

El tren de fuerza de tracción mecánica y la servotransmisión Cat proporcionan eficiencia y control de operación inigualables en pendientes pronunciadas, en condiciones deficientes del terreno y en caminos de acarreo con alta resistencia a la laminación.

#### 1 – Transmisión

La servotransmisión planetaria de siete velocidades de Cat se acopla con el motor C175-20 para suministrar potencia constante en una amplia gama de velocidades de operación.

- **Diseño robusto:** diseñada para la más alta potencia del motor C175-20, la servotransmisión planetaria comprobada se fabrica para que sea resistente.
- **Larga vida útil:** circuito y tanque de aceite exclusivo que proporciona aceite más frío y más limpio para alcanzar el máximo rendimiento y vida útil más larga de los componentes.

#### Control electrónico de la presión del embrague

El ECPC proporciona máximo rendimiento, cambios más suaves, larga vida útil de los embragues y un andar más confortable.

#### 2 – Convertidor de par con sistema de traba

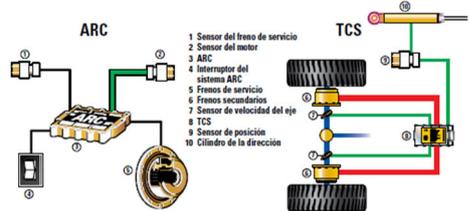
Combina la fuerza máxima de tracción y la suavidad en los cambios de marcha del mando del convertidor de par, con la eficiencia y el rendimiento del mando directo. El convertidor de par con sistema de traba se conecta a aproximadamente 8 km/h (5 mph) para proporcionar más potencia a las ruedas.

#### 3 – Mandos finales

Los mandos finales Cat funcionan como un solo sistema con la servotransmisión planetaria para aplicar la máxima potencia al suelo. Fabricados para resistir las fuerzas de par elevado y las cargas de impacto, los mandos finales de reducción doble multiplican el par alto para reducir aún más la tensión del tren de impulsión.

## Integración del motor y el tren de fuerza

Los componentes del tren de fuerza combinados electrónicamente optimizan el rendimiento.



### Enlace de datos Cat

Reduce los costos de operación al integrar electrónicamente los sistemas de computadora de la máquina 797. Esto optimiza el rendimiento total del tren de fuerza, al mismo tiempo que aumenta la fiabilidad y la vida útil de los componentes.

### Inhibidor de cambios de marcha con la caja levantada

Impide que la transmisión cambie por encima de una marcha preprogramada sin la caja completamente bajada. La máquina puede moverse hacia adelante pero tiene un límite de velocidad para evitar sacudidas excesivas al apartarse del sibo de descarga.

### Protección contra exceso de velocidad

El control de la transmisión detecta electrónicamente las condiciones del motor y hace automáticamente el cambio a una marcha superior para evitar el exceso de velocidad del motor.

### Marcha máxima programable

La marcha máxima de la transmisión se puede programar usando la herramienta de servicio Técnico Electrónico Cat para ayudar al operador a mantener los límites de velocidad.

### Inhibidor de cambios descendentes

Evita la sobrevelocidad del motor al no permitir que la transmisión haga un cambio descendente hasta que la velocidad del motor llegue al punto de cambio descendente.

### Cambio de marcha con aceleración controlada

Regula las rpm del motor durante los cambios de marcha para disminuir la tensión en el tren de fuerza y el desgaste de los embragues mediante el control de la velocidad del motor, el sistema de traba del convertidor de par y la conexión del embrague de la transmisión para proporcionar cambios de marcha más suaves y prolongar la vida útil de los componentes.

### Inhibidor de velocidad en marcha hacia atrás

Evita los cambios marcha atrás mientras la velocidad de desplazamiento hacia delante sea superior a 4,8 km/h (3 mph).



## Sistema de frenado Cat

El control de frenado superior permite a los operadores enfocarse en la productividad.

### Sistema de frenado integrado

El sistema de frenos Cat enfriados por aceite proporciona rendimiento fiable y control en los caminos de acarreo en condiciones exigentes. El sistema integrado combina las funciones de retardo, frenos de servicio, secundario y de estacionamiento en el mismo sistema para ofrecer eficiencia de frenado óptima que no consuma combustible durante el retardo.

### Frenos de discos múltiples enfriados por aceite

Los frenos de discos múltiples Cat, en las cuatro ruedas, enfriados con aceite a presión se enfrían continuamente con intercambiador de calor de agua a aceite para un rendimiento excepcional sin pérdida de capacidad de frenado y retardo.

### Diseño de los frenos

Los frenos Cat enfriados por aceite están diseñados con discos y placas grandes, para entregar operación fiable y sin necesidad de ajustes. Los frenos son completamente herméticos y están sellados para evitar la contaminación y reducir el mantenimiento.

### Vida útil prolongada

Una película de aceite evita el contacto directo entre los discos. El diseño absorbe las fuerzas de frenado mediante el cizallamiento de las moléculas de aceite y la eliminación del calor para extender la vida útil del freno.

### Freno de estacionamiento

El freno de estacionamiento enfriado por aceite que se conecta por resortes y se desconecta hidráulicamente se aplica a las cuatro ruedas para ofrecer capacidad superior de frenado en todas las pendientes hasta el 15 por ciento.

### Control automático del retardador hidráulico (ARC)

El sistema de control del retardador automático activado hidráulicamente controla en forma electrónica el retardo en la pendiente para un óptimo mantenimiento de las rpm del motor y el rendimiento del sistema de frenado.

## Estructuras

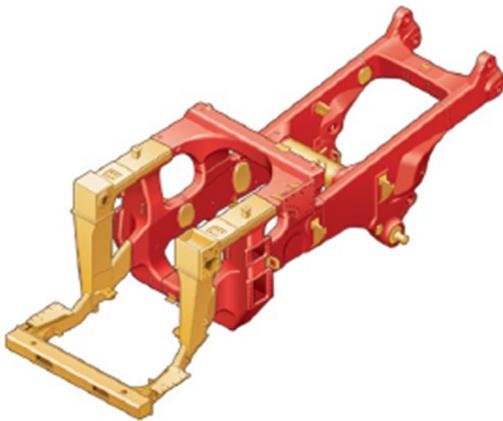
Las estructuras superiores Cat en el modelo 797F entregan durabilidad y vida útil prolongada.



### Diseño de sección de caja

El bastidor 797F usa un diseño de sección en caja, que incorpora dos secciones forjadas y 14 secciones fundidas en las áreas de alta tensión, con soldaduras continuas, profundas y envolventes para resistir los daños por cargas de torsión sin necesidad de añadir peso adicional.

- **Estructuras de acero:** el acero dulce utilizado en todo el bastidor proporciona flexibilidad, durabilidad y resistencia a las cargas de impacto, incluso en climas fríos, y facilita las reparaciones en terreno.
- **Piezas de fundición:** las piezas de fundición representan el 80 por ciento del peso del bastidor y son clave para lograr la durabilidad en las condiciones más exigentes en cualquier parte del mundo. Las piezas fundidas de gran radio tienen elasticidad a la flexión del bastidor y garantizan una larga vida útil.



Amarillo: fabricaciones; rojo: piezas de fundición

### Cabina integral con cuatro postes

Montada con elasticidad al bastidor principal para reducir la vibración y el ruido, la ROPS integral está diseñada como una extensión del bastidor del camión.

### Sistema de suspensión

Diseñado para disipar los impactos de los caminos de acarreo y de las cargas a fin de proporcionar una vida útil del bastidor más prolongada y una conducción más cómoda.

- **Diseño duradero:** los cilindros robustos utilizan perforación de gran diámetro y diseño de baja presión de nitrógeno/aceite para ofrecer vida útil prolongada con mantenimiento mínimo.
- **Delanteros:** los cilindros delanteros con ruedillas y combadura preestablecidas están montados en el bastidor y funcionan como pasadores maestros de dirección para los radios de giro cerrados, con excelente maniobrabilidad y bajo mantenimiento.
- **Traseros:** los cilindros traseros permiten la oscilación y absorben los esfuerzos de doblamiento y torsión causados por los caminos de acarreo irregulares y duros, en lugar de transmitirlos al bastidor principal.

### Suspensión trasera con varillaje de cuatro barras

La suspensión con varillaje de cuatro barras transfiere y soporta las cargas del bastidor de manera más eficiente que el diseño de bastidor A, y permite una mayor área de servicio alrededor de la transmisión.

### Sistema de dirección

El sistema de control de la dirección hidráulica está diseñado para proporcionar una amortiguación excepcional y un control preciso. Un circuito independiente evita la contaminación cruzada para prolongar la vida útil.

### Sistema Monitor VIMS™ 3G

Proporciona información fundamental del estado de la máquina y de la carga útil en tiempo real, para mantener el funcionamiento del 797F en niveles óptimos. El VIMS tiene la capacidad de controlar la información desde todos los sistemas del vehículo. Se pueden visualizar diez parámetros diferentes de la máquina de una sola vez. Los técnicos de servicio pueden descargar los datos fácilmente, para la solución de problemas, la planificación y la reducción de costos.

### Administración de producción y carga útil

La información está disponible para administrar la carga útil y mejorar la efectividad de la flota y la herramienta de carga apropiada, así como también, para evitar la sobrecarga y ayudar a prolongar la vida útil del componente y reducir los costos de operación y mantenimiento.



## Sistema Monitor

Que mantiene la producción a los niveles máximos.

### Indicadores exteriores de carga útil

Luces exteriores externas o pantalla digital optativa para ayudar a que el operador de la herramienta de carga alcance el objetivo de carga útil y minimice la sobrecarga.

### Control del análisis de los caminos

Sistema optativo que mide la cremallera, la desviación y la inclinación, para ayudar a identificar los problemas de los caminos de acarreo y repararlos. Esto lleva a una mejora en el tiempo de ciclo, en la vida útil del componente y en la eficiencia del combustible.

### VIMSpC

El programa de software de informes remoto, permite que el personal de servicio descargue un registro completo de los datos del estado de la máquina y de la productividad. Pueden generarse informes de estado de la máquina y de la productividad para una administración más eficiente de la máquina, lo que reduce el tiempo de inactividad y reduce los costos de operación.

### Pantalla del Advisor

La pantalla del Advisor proporciona los datos del rendimiento, el mantenimiento y de diagnóstico en tiempo real para el operador o el técnico de servicio. Se puede visualizar gran cantidad de parámetros de la máquina, lo que incluye la temperatura, la presión, la velocidad y la carga útil.

## Especificaciones del Camión Minero 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 <sup>3</sup>

- 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 (88 °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 <sup>3</sup>	314-350 yd <sup>3</sup>
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/pulg <sup>2</sup>
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 cm <sup>2</sup>	51.243 pulg <sup>2</sup>
Normas	J-ISO 3450 JAN88, ISO 3450-1996	

## Especificaciones del Camión Minero 797F

### Pesos aproximados: MSD II

Eje delantero vacío	47,2 %
Eje delantero cargado	33,3 %
Eje trasero vacío	52,8 %
Eje trasero cargado	66,7 %

### Distribuciones aproximadas del peso

Eje delantero vacío	47,2 %
Eje trasero vacío	52,8 %
Eje delantero cargado	33,3 %
Eje trasero cargado	66,7 %

### Capacidad – MSD II – factor de llenado del 100 %

A ras	188-213 m <sup>3</sup>	246-290 yd <sup>3</sup>
Colmada (SAE 2:1)	240-267 m <sup>3</sup>	314-350 yd <sup>3</sup>

- Consulte con su distribuidor Cat local para obtener recomendaciones acerca de la caja del camión.

### Capacidades de llenado de servicio

Tanque de combustible	3.785 L	1.000 gal EE.UU.
Sistema de enfriamiento	1.160 L	306 gal EE.UU.
Cárter	319 L	84 gal EE.UU.
Ruedas delanteras, cada una	61 L	16 gal EE.UU.
Mandos finales, cada una	185 L	49 gal EE.UU.
Diferenciales	1.176 L	311 gal EE.UU.
Tanque de dirección	254 L	67 gal EE.UU.
Sistema de dirección (incluye tanque)	355 L	94 gal EE.UU.
Tuberías hidráulicas de frenos/ dispositivo de levantamiento	830 L	219 gal EE.UU.
Sistema de frenos/dispositivo de levantamiento (incluye tanque)	1.600 L	441 gal EE.UU.
Tanque con frenos/dispositivo de levantamiento	770 L	203 gal EE.UU.
Sumidero del convertidor de par	303 L	80 gal EE.UU.
Convertidor de par/sistema de transmisión (incluye sumidero)	629 L	166 gal EE.UU.

### Neumáticos

Neumático 59/80R63: Michelin o Bridgestone

- La capacidad de producción del 797F es tal que, en determinadas condiciones de trabajo, podría exceder la capacidad de los neumáticos estándar u optativos en TKPH (TMPH) y, por lo tanto, limitaría la producción.

### ROPS

Normas de ROPS

- La Estructura de Protección en Caso de Vuelcos (ROPS) para la cabina que ofrece Caterpillar cumple con los criterios la norma ISO 3471:2008 de la ROPS.
- La FOPS (Estructura de Protección Contra la Caída de Objetos) cumple con las normas ISO 3449:1992 Nivel II FOPS.

### Sonido

Normas de sonido

- El nivel de presión de sonido del operador medido de acuerdo con los procedimientos del ciclo de trabajo especificados en las normas ISO 6394 y 6396 es de 76 dB(A) para la cabina que ofrece Caterpillar, cuando esta se instala y mantiene correctamente, y se prueba con puertas y ventanas cerradas.
- Es posible que se necesite protección auditiva cuando se trabaje durante mucho tiempo en una estación del operador y una cabina abierta (si no cuentan con el mantenimiento correcto o tienen las puertas/ventanas abiertas), o en un entorno ruidoso.

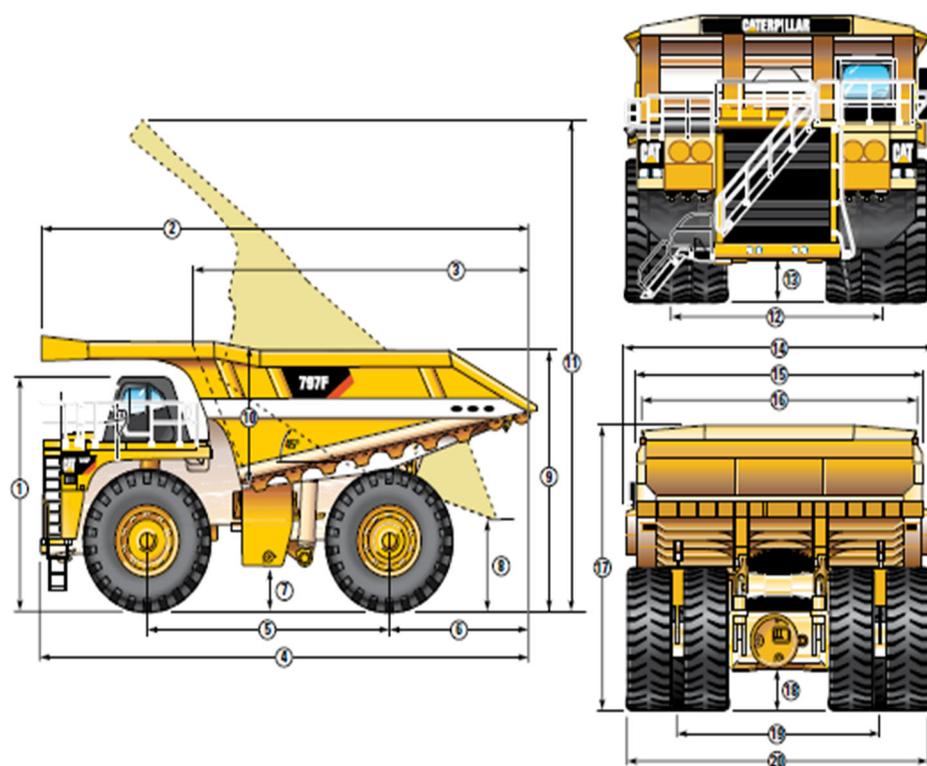
### Dirección

Normas de dirección SAE J1511 OCT90, ISO 5010:1992

## Dimensiones

Todas las dimensiones son aproximadas.

Las dimensiones corresponden a la caja estándar 290-6420.



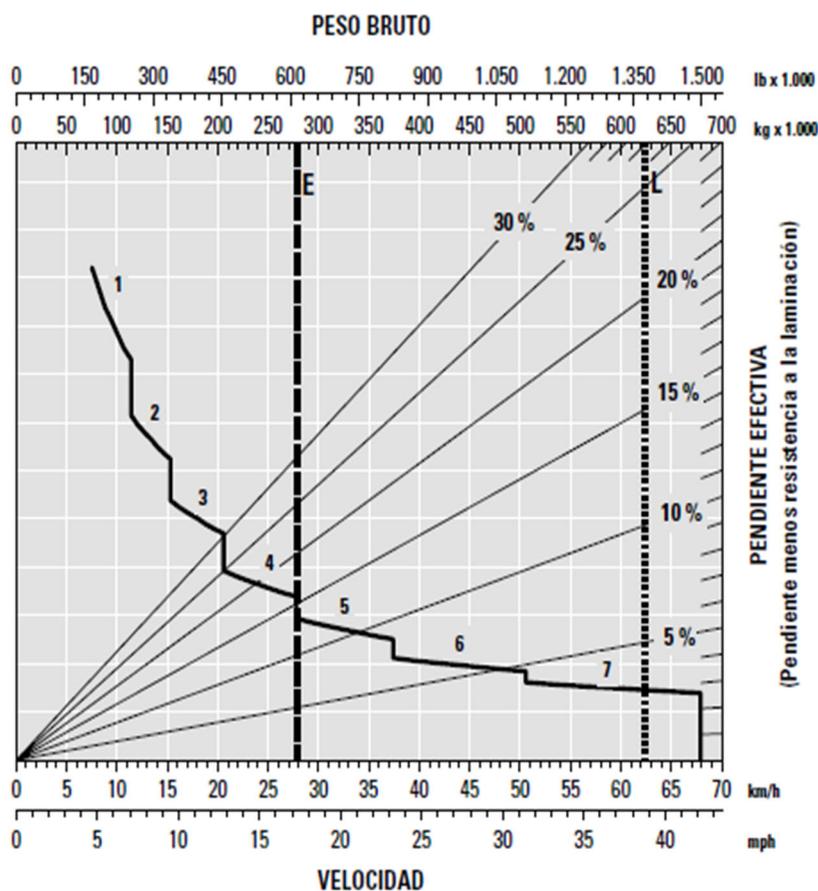
1	Altura hasta la parte superior de la ROPS: vacío	6.526 mm	21' 5"
2	Longitud total de la caja	14.802 mm	48' 7"
3	Longitud interior de la caja	9.976 mm	32' 9"
4	Longitud total	15.080 mm	49' 6"
5	Distancia entre ejes	7.195 mm	23' 7"
6	Eje trasero a la cola	3.944 mm	12' 11"
7	Espacio libre sobre el suelo con carga	786 mm	2' 7"
8	Espacio libre de descarga	2.017 mm	6' 7"
9	Altura de carga: vacío	6.998 mm	23' 0"
10	Profundidad interior de la caja: máxima	3.363 mm	11' 0"
11	Altura total: caja levantada	15.701 mm	51' 6"
12	Ancho del neumático delantero de la línea de centro	6.534 mm	21' 5"
13	Espacio libre del protector del motor: cargado	1.025 mm	3' 4"
14	Ancho exterior de la caja	9.755 mm	32' 0"
15	Ancho total del techo	9.116 mm	29' 11"
16	Ancho interior de la caja	8.513 mm	27' 11"
17	Altura del techo delantero: vacío	7.709 mm	25' 4"
18	Espacio libre del eje trasero: cargado	947 mm	3' 1"
19	Ancho del neumático doble trasero de la línea de centro	6.233 mm	20' 5"
20	Ancho total entre neumáticos	9.529 mm	31' 3"

### Retardo de 797F – continuo\*

Para determinar el rendimiento del retardo: añada las longitudes de todos los segmentos en pendientes cuesta abajo y, utilizando este total, consulte la tabla de retardo correspondiente. Lea desde el peso bruto hacia abajo hasta el porcentaje de la pendiente efectiva. La pendiente efectiva es igual al porcentaje real de la pendiente menos el 1 % por cada 10 kg/t (20 lb/ton EE.UU.) de resistencia a la laminación. A partir de este punto de la pendiente efectiva de peso, lea horizontalmente hasta la curva con la marcha más elevada que se pueda obtener, luego hacia abajo hasta el descenso máximo que los frenos de velocidad puedan manejar correctamente sin exceder la capacidad de enfriamiento. Las tablas siguientes se basan en estas condiciones: temperatura ambiente de 32 °C (80 °F), al nivel del mar, con neumáticos 59/80R63.

**NOTA:** seleccione la marcha adecuada para mantener las rpm del motor al máximo nivel posible, sin provocar exceso de velocidad al motor. Si se recalienta el aceite de enfriamiento, reduzca la velocidad de desplazamiento para permitir que la transmisión cambie a la siguiente gama de velocidades más baja.

- Peso vacío típico en la obra
- Peso bruto de la máquina en orden de trabajo  
623.690 kg (1.375.000 lb)



- 1 – 1ª marcha
- 2 – 2ª marcha
- 3 – 3ª marcha
- 4 – 4ª marcha
- 5 – 5ª marcha
- 6 – 6ª marcha

- E: vacío
- L: cargado
- \* A nivel del mar

## Document Information

Analyzed document	2. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION UTRILLA MARRES.pdf (D174124395)
Submitted	2023-09-18 21:38:00
Submitted by	UNIDAD DE POSGRADO FIME 2023
Submitter email	fime.posgrado@unac.edu.pe
Similarity	15%
Analysis address	fime.posgrado.unac@analysis.urkund.com

## Sources included in the report

SA	<b>Universidad Nacional del Callao / 1A-AZUL Y CASTRO -MGM-2023.docx</b> Document 1A-AZUL Y CASTRO -MGM-2023.docx (D171791261) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.urkund.com	2
SA	<b>Universidad Nacional del Callao / 5. TESIS - CACERES SANCHEZ CHRISTIAN KEVIN.pdf</b> Document 5. TESIS - CACERES SANCHEZ CHRISTIAN KEVIN.pdf (D142844846) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.urkund.com	22
SA	<b>Universidad Nacional del Callao / 3. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION TERRONES CABANILLAS.pdf</b> Document 3. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION TERRONES CABANILLAS.pdf (D174124396) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.urkund.com	6
SA	<b>Universidad Nacional del Callao / 12. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION PEDRO COCANEGRA.pdf</b> Document 12. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION PEDRO COCANEGRA.pdf (D174124406) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.urkund.com	1
SA	<b>NRC 4260 - Najarro Najarro.docx</b> Document NRC 4260 - Najarro Najarro.docx (D150886797)	3
SA	<b>NRC 4260 - NAJARRO NAJARRO.docx</b> Document NRC 4260 - NAJARRO NAJARRO.docx (D148487506)	1
SA	<b>Universidad Nacional del Callao / 17. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION (MANUEL BOZZO).pdf</b> Document 17. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION (MANUEL BOZZO).pdf (D174124411) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.urkund.com	3
SA	<b>Universidad Nacional del Callao / 2. TESIS - SANTIAGO QUISPE VELEZ.pdf</b> Document 2. TESIS - SANTIAGO QUISPE VELEZ.pdf (D142844773) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.urkund.com	



<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 14. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION FARFAN ENCISO.pdf</b> Document 14. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION FARFAN ENCISO.pdf (D174124408) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.orkund.com	 6
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 1. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION_JORGE_NICHO_RAMOS.pdf</b> Document 1. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION_JORGE_NICHO_RAMOS.pdf (D174124394) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.orkund.com	 5
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / Rabanal_Omar Quispe_Carlos_final.docx</b> Document Rabanal_Omar Quispe_Carlos_final.docx (D171218598) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.orkund.com	 1
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / TESIS DE JOSEPH OROPEZA.pdf</b> Document TESIS DE JOSEPH OROPEZA.pdf (D166383455) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.orkund.com	 1
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / BERINSSON HERNÁNDEZ SUCSO.docx</b> Document BERINSSON HERNÁNDEZ SUCSO.docx (D171215652) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.orkund.com	 1

#### Entire Document

1

**90%** **MATCHING BLOCK 1/55** **SA** 1A-AZUL Y CASTRO -MGM-2023.docx (D171791261)

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO ESCUELA DE POSGRADO UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA "APLICACIÓN DEL

ANÁLISIS DE FALLA EN EL DETERIORO PREMATURO DE LOS COJINETES DE BIELA DE MOTOR PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS CAMIONES CATERPILLAR 797F EN UNA MINERA DE TAJO ABIERTO, MOQUEGUA 2021"

**52%** **MATCHING BLOCK 2/55** **SA** 1A-AZUL Y CASTRO -MGM-2023.docx (D171791261)

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO GERENCIA DEL MANTENIMIENTO AUTOR: RICHARD JESÚS MARRÉS CASTILLO AUTOR: JONATHAN UTRILLA FERNÁNDEZ ASESOR: JUAN CARLOS HUAMÁN ALFARO LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Callao, 2023 PERÚ 2 3 INFORMACIÓN BÁSICA FACULTAD FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ENERGÍA.

TÍTULO:

APLICACIÓN DEL

ANÁLISIS DE FALLA EN EL DETERIORO PREMATURO DE LOS COJINETES DE BIELA DE MOTOR PARA MEJORAR LA

DISPONIBILIDAD DE LOS CAMIONES CATERPILLAR 797F EN UNA MINERA

DE TAJO ABIERTO, MOQUEGUA 2021. AUTOR/ CÓDIGO ORCID / DNI: RICHARD JESÚS MARRÉS CASTILLO / 0000-0001-7984-

9973 / 40930438 JONATHAN UTRILLA FERNÁNDEZ / 0000-0003-1052-0301 / 43652456 ASESOR / CÓDIGO ORCID / DNI: JUAN

CARLOS HUAMÁN ALFARO / 0000-0001-8492-3379 / 40607588 LUGAR DE EJECUCIÓN: LA INGENIERÍA FUE REALIZADA EN LAS

INMEDIACIONES DEL TALLER CENTRO DE REPARACIÓN DE COMPONENTES, UBICADO EN AVENIDA INDUSTRIAL 675,

CERCADO DE LIMA.

