



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## **Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional**

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



Recibo de pago N° 168848

Visto el Informe N° 010-2025-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

N° 010-2025

## CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud del Trabajo de Suficiencia Profesional cuyo título es:

**“PLAN DE MEJORAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE VOLQUETE DE LA EMPRESA MINERA SHOUGANG HIERRO PERÚ S.A.A.”**

Presentado por:

**MISSA LEVANO, RICHARD GIANCARLO**

**BACHILLER** de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA. El resultado obtenido es un porcentaje de CUATRO POR CIENTO (4%), por el cual se le otorga el calificativo de:

**APROBADO**

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 22 de Enero del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
  
Dr. José Luis Donayre Pasache  
DIRECTOR DE UNIDAD

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS  
GONZAGA” VICERRECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN**

Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica



Título:

Plan de Mejoramiento de la disponibilidad de la Flota de Volquete  
de la empresa minera Shougang Hierro Perú S.A.A.

Línea de investigación:

Ciencias Naturales, Ingeniería y tecnologías sostenibles

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE SUFICIENCIA  
PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO ELECTRICISTA.**

Autor:

MISSA LEVANO RICHARD GIANCARLO

## DEDICATORIA

Este trabajo va de dedicado a mi familia, amigos, personas que de una u otra forma intervinieron de buena manera en mi vida, que estuvieron hay ayudándome con palabras de aliento para poder esforzarme en mi sendero académico y poder llegar a la cúspide de mi carrera y realizar este trabajo, pero ante todo a Dios, quien me dio la capacidad y la inteligencia para superar cada obstáculo.

## AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios, a mis padres, que me dan la fuerzas y el aliento, a mi asesor que con sus enseñanzas nos dio las pautas para elaborar este trabajo.

## ÍNDICE

Portada.	1
Dedicatoria.	2
Agradecimientos	3
Índice.	4
- Índice de contenidos.	5
- Índice de tablas.	7
- Índice de figuras.	9
Resumen	10
Abstract.	11

### **CUERPO DEL INFORME FINAL**

Introducción	12
I. Contexto en que se desarrolló la experiencia	14
II. Trayectoria Profesional.	20
III. Aplicación profesional	22
IV. Discusión crítica de la experiencia	67
V. Conclusiones.	69
VI. Recomendaciones.	70
VII. Referencias bibliográficas.	71
VIII. Anexos.	72

## RESUMEN

Las empresas mineras de todo el mundo están constantemente mejorando los procesos y la tecnología de sus equipos para producir más minerales, lo que aumenta sus ingresos y aumenta las ventas. El trabajo de suficiencia profesional actual se enfoca en mejorar la disponibilidad de la flota de volquetes de una empresa minera ubicada al sur del Perú. El objetivo es aumentar los indicadores de producción a través de la disponibilidad y generar mayores ganancias a través de la reducción de costos.

. Se utilizarán herramientas de ingeniería industrial para encontrar el problema, identificar las causas y proponer soluciones. Los capítulos de marco teórico, análisis y diagnóstico de la situación actual, propuesta de solución, validación técnica y económica, conclusiones y recomendaciones se desarrollarán en el presente trabajo.

**Palabras clave:** disponibilidad, mantenimiento, mejora continua, método de solución de problemas, ingeniería industrial, ,.

.

## **ABSTRACT**

Mining companies worldwide are constantly innovating the processes and technology of the equipment they use with the determination to obtain a greater number of mineral production and therefore to increase their income through higher sales. This professional proficiency work is based on improving the availability of the Tipper Fleet of a mining company located in southern Peru with the request to obtain higher production indicators due to availability and higher profits as a result of the cost reduction. Industrial engineering tools will be used to identify the problem, diagnose the causes and propose alternative solutions. In this work, the chapters of theoretical framework, analysis and diagnosis of the current situation, the proposed solution, the technical and economic validation of the proposed solution, and the conclusions and recommendations will be developed.

**Keywords:** continuous improvement; problem solving method; industrial engineering; maintenance; availability.

# INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes de la Investigación

La minería en Perú se remonta a los años 1950, cuando se estableció el proyecto minero de Toquepala en el departamento de Tacna, al sur del país. Hasta ahora, se ha hablado de la minería como el principal impulsor del crecimiento del país debido a su significativa contribución al PBI a través de las exportaciones de minerales y la inversión en la creación de nuevos proyectos de exploración. De acuerdo con la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía SNMPE (2012), la minería juega un papel importante en la economía peruana al generar valor agregado, divisas, impuestos, inversión y empleo. En 2023, será el mayor sector exportador del país, con un 59% de las exportaciones totales, y representa el 15% de los recursos tributarios recaudados y el 21% de la inversión privada en el país. Esto convierte a la minería en el mayor sector exportador.

Después de la década del terrorismo en los años 80, a partir de los años 1990, la minería metálica aumentó el Producto Bruto Interno (PBI) de una tasa promedio del 7.1% a dos dígitos, es decir, al 16% en 1999. Con esta expansión, la minería comienza a tener un papel importante en la economía nacional, aportando alrededor del 6% del PBI entre 1995 y 2009, según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. El tema de la inversión ha sido afectado en los últimos años por los conflictos sociales.

De acuerdo con Glave (2007), el aumento de la insatisfacción de los pueblos cercanos a las operaciones mineras resulta incomprensible, ya que si la minería genera beneficios porque se oponen a ella, la respuesta es sencilla: a pesar de la minería, ellos siguen siendo pobres y se desarrollan las diferencias sociales. De acuerdo con el Instituto Peruano de Economía (2015), los conflictos socioambientales han causado retrasos en las inversiones mineras en el Perú de más de US\$ 21,500 millones entre 2010 y 2014. Es bien sabido que aunque se obtienen beneficios y se distribuye el canon minero a los gobiernos regionales donde se lleva a cabo la extracción, los habitantes de los sitios mineros sienten una disparidad en el progreso de sus actividades, que no están relacionadas con la minería, como la pesca y la agricultura. El Código de Minería de 1950 marcó un hito en la industria minera nacional, según Glave (2007). Los beneficios económicos ofrecidos atrajeron la inversión extranjera y se llevó a cabo el desarrollo de la mina de Toquepala, que en ese momento era considerada como una de las más grandes del mundo. No obstante, en 1967, el Congreso de la República emitió un informe en el que cuestionaba a la compañía Southern Perú por sus elevados ingresos y su falta de inversión en el país.

De acuerdo con Glave (2007), luego de una encuesta realizada en Lima en 1967 en la que el 75% de los encuestados estaba a favor de la nacionalización de empresas extranjeras, en 1968, con el golpe militar que derrocó al presidente Fernando Belaúnde, comenzó un proceso

de nacionalización de empresas mineras y petroleras. En 1973, las empresas que no pudieron presentar nuevos proyectos de inversión fueron expropiadas y solo la empresa Southern Perú fue la única de gran envergadura en desarrollar el proyecto Cuajone un año después, en 1974. En los últimos años, las inversiones en minería han tenido problemas para comenzar sus operaciones debido a la falta de acuerdo con la población cercana al lugar de explotación, lo que ha llevado al Gobierno a actuar únicamente en caso de conflictos sociales. Por lo tanto, según Glave (2007), el gobierno debe desarrollar e implementar políticas mineras que fomenten la diversificación económica en las zonas de influencia, ya que aún hay grandes desconocimientos sobre su funcionamiento e impactos.

Según Baca (2013) en su estudio sobre el marco normativo minero en el Perú, la problemática de la actividad minera debe seguir el orden de la cadena de valor, con los siguientes aspectos a) el crecimiento de concesiones mineras que se han entregado y se han convertido en un iniciador de conflictos sociales, el cual requiere ser reformado; b) las licencias sociales que son requeridos para el desarrollo de los proyectos mineros para la llamada “nueva minería” en el Perú, sin embargo, las cuales se han convertido en obstaculizaciones por diversos grupos económicos y políticos del sector; c) la debilidad en el marco normativo ambiental con la creación del SENACE (Servicio Nacional de Certificación Ambiental ) y la OEFA (Oficina de Evaluación y Fiscalización Ambiental) en medio de escasos recursos para el desarrollo de su actividad; d) La ausencia de normatividad del gasto social directo de las empresas que se desarrolla tanto en las zonas de influencia como el país.

Baca (2013) afirma que los ingresos fiscales de la industria minera en nuestro país aumentaron de 24,000 millones de rupias en 2004 a 74,475 millones de rupias en 2012. No obstante, la expansión rápida de las concesiones mineras ha resultado en la concesión de 25.8 millones de hectáreas en 2012, aumentando de 9.3 millones de hectáreas en 2004, lo que ha llevado a la superposición de las concesiones mineras con otros usos como áreas naturales protegidas y áreas de agricultura comercial.

En los años 90, se llevó a cabo una modificación en la regulación de la minería en Perú con el objetivo de atraer y aumentar la participación de inversión extranjera. Según Baca (2013), en su estudio sobre el marco normativo minero en Perú, hay varias normas importantes que regulan el sector, como el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería aprobado por el Decreto Supremo N° 014-92-EM; el Decreto Legislativo No 708 que regula la Promoción de Inversiones en el Sector Minero; la Ley No 27343 que regula los contratos de estabilidad jurídica con el Estado al amparo de las leyes sectoriales; el Decreto Supremo N° 162-92- EF (Reglamento de los Regímenes de Estabilidad Jurídica; el Decreto Legislativo N° 662 Aprobación del régimen de estabilidad a la inversión extranjera; la Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (Ley N° 26821).

## **1.2 Objetivo General**

El objetivo general del presente trabajo de suficiencia profesional es crear una propuesta de solución para mejorar la disponibilidad de la flota de volquetes de una empresa minera utilizando herramientas de ingeniería industrial.

### **1.2.1 Objetivos Específicos**

- Tiene como objetivo crear un marco teórico para desarrollar propuestas de mejora en el proceso actual de gestión del mantenimiento, utilizando artículos y textos recientes.
- Tiene como objetivo identificar los problemas y sus causas, así como realizar un diagnóstico del proceso actual de gestión del mantenimiento de flotas de volquetes. Después de esto, se pueden desarrollar propuestas de mejora basadas en el marco teórico.
- Tiene como objetivo presentar una solución alternativa a la gestión de mantenimiento actual de la empresa minera con el objetivo de aumentar la disponibilidad de la flota de volquetes y, como resultado, reducir los costos de mantenimiento.
- Finalmente, presentar las conclusiones del proyecto de suficiencia profesional y hacer sugerencias.

## CAPITULO I

### CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA

#### 1.1. Reseña histórica de la empresa

**Nombre de la empresa:**

Shougang Hierro Perú (SHP) es una compañía minera con sede en Perú, parte del grupo Shougang Corporation.

**Actividad:**

SHP se dedica a la extracción y procesamiento de mineral de hierro en la región de Ica, en la costa sur de Perú.

**Fecha de creación:**

El 24 de julio de 1975 se constituye la empresa Minera del Hierro del Perú. El 30 de Diciembre de 1992 Shougang Corporation (hoy Shougang Group) una de las más grandes empresas de la República Popular China, adquiere la Empresa Minera del Hierro del Perú – HIERRO PERU y se constituye la empresa Shougang Hierro Perú S.A. Ser parte de este conglomerado significó un cambio importante en el sistema administrativo de la empresa, se modificó la estructura organizacional consolidando áreas y optimizando procesos, se recuperó la capacidad productiva de las plantas y se incrementaron la producción y las ventas. Hasta 1992 nuestras ventas se efectuaban a mercados tradicionales y a raíz del cambio se abrió el mercado chino habiendo alcanzado en 1993 ventas por 5.09 millones de toneladas. Posteriormente, nuestras ventas fueron disminuyendo por las dificultades en la colocación del sinter. Entre los años 1999 y 2000, en los que se sintió más pronunciadamente la crisis internacional, nuestras ventas alcanzaron su nivel más bajo, del orden de 4 millones de toneladas. Sin embargo, a partir del año 2003 las mismas se incrementaron debido a la gran demanda china, llegando en el año 2008 a un nivel de 7.49 millones de las toneladas. En el año 2009, como consecuencia de la crisis internacional las ventas se redujeron a 6.86 millones de toneladas, en el año 2010 alcanzaron 8.22 millones de toneladas, y en el 2012 fueron 9.90 millones de toneladas. En el año 2014 fueron 10.69 millones de toneladas y en el año 2015 ascendieron a 11.12 millones de toneladas. En el año 2016 las toneladas vendidas alcanzaron 11.67 millones, en el año 2017 se colocaron en el mercado 12.88 millones de toneladas, en el año 2018 esta colocación ascendió a 14.66 millones de toneladas y en el año 2019 fueron 16.10 millones. En el año 2020 las toneladas colocadas en el mercado han sido de 13.80 millones. En el año 2021 fueron de 17.54 millones y en el año 2022 de 18.59 millones. En el año 2023 se colocaron en el mercado 18.58 millones de toneladas. Entre 1993 y 2023 se han efectuado inversiones en sustitución de equipos, mejoramiento de procesos productivos, repotenciamiento de las plantas, desarrollo de mina, proyectos medio ambientales, y Proyecto de Ampliación de Operaciones por un monto que asciende a US\$

2,876,401 mil. El 2 de mayo de 1997 se escindieron los equipos correspondientes a la planta térmica y se constituyó la empresa Shougang Generación Eléctrica S.A.A. Con fecha 20 de mayo de 1999 se constituye como Sociedad Anónima Abierta y el 13 de Setiembre de 1999 se inscribieron las acciones en la Bolsa de Valores de Lima.

### **Desarrollo Histórico**

Década de los 90:

#### Expansión e Internacionalización:

Durante esta época, Shougang diversificó su expansión e internacionalización. Ganaron la licitación internacional para la empresa peruana de mineral de hierro, lo que les permitió establecerse en Sudamérica y contribuir al desarrollo económico de la región.

#### Impacto en la Economía Peruana:

La inversión de Shougang en Hierro Perú tuvo un impacto significativo en la economía peruana. Generó empleos, impulsó la infraestructura y fortaleció las relaciones comerciales entre China y Perú.

#### Relaciones Sindicales y Crisis Financiera:

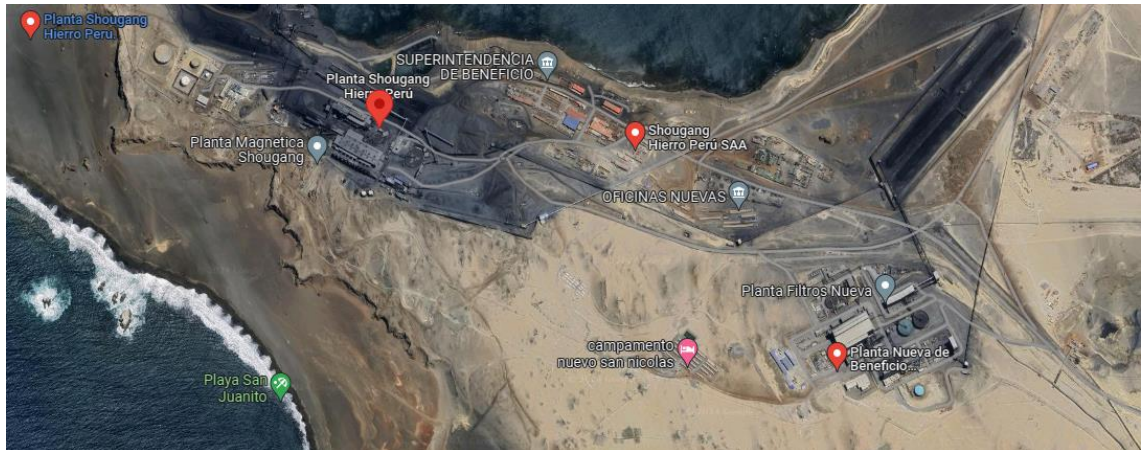
Aunque las relaciones sindicales se mantuvieron positivas durante años, en 1995, Shougang enfrentó problemas financieros debido a una crisis en su matriz china. Para reducir costos, la empresa tomó medidas que afectaron las relaciones laborales y generaron conflictos huelguísticos.

A pesar de estos desafíos, Shougang Hierro Perú continuó operando y contribuyendo al desarrollo de la industria minera en Perú.

En resumen, Shougang Hierro Perú tiene una historia interesante que abarca adquisiciones, expansión y desafíos financieros. Su presencia en Sudamérica ha dejado una huella significativa en la industria minera y en la economía peruana.

## **1.2 Ubicación de la compañía**

La mina Marcona, propiedad de Shougang Hierro Perú, se encuentra en la provincia de Nazca, en la Región Ica. Esta ubicación costera es estratégica para el transporte y la exportación del mineral de hierro. Marcona es conocida por tener una de las mayores reservas de mineral de hierro en el Perú.



### 1.3 Infraestructura

Mina: La mina Marcona abarca una extensa área de explotación. Se utilizan equipos de perforación, voladura y carga para extraer el mineral de hierro.

-Planta de beneficio: Shougang Hierro Perú opera una planta de beneficio donde se procesa el mineral extraído. Esto incluye trituración, molienda y separación magnética para obtener concentrados de hierro de alta calidad.

Puerto: La empresa cuenta con un puerto propio en la bahía de San Nicolás, cerca de Marcona. Aquí se carga el mineral de hierro en barcos para su exportación a mercados internacionales.

### 1.4 Misión y visión corporativa

#### **Misión:**

Lograr niveles óptimos de calidad, seguridad y preservación del medio ambiente en todos nuestros sistemas, procesos y productos; para ser reconocida como un de las empresas mineras más competitivas en el mercado internacional del hierro; que crezca en paralelo con el factor humano, cumpliendo con la legislación vigente y estándares internacionales.

#### **Visión:**

Ser una empresa proveedora de hierro que promueve mejora continua a través de prácticas seguras, confiables y de cuidado del medio ambiente, en todos sus sistemas y procesos para elevar el nivel de competitividad de toda la organización, logrando los objetivos institucionales, y la contribución al desarrollo socioeconómico de la región y el país.

#### **Valores**

La empresa tendrá en cuenta lo siguiente:

Seguridad: cuidar la integridad física de todos los trabajadores, visitantes y proveedores.

Honestidad: comprometidos a decir la verdad no engañar demostrar la verdad si mentir.

Laboriosidad: mantener siempre la pasión por lo que hacemos en el trabajo realizar trabajos con seguridad y responsabilidad.

Lealtad: mantener un compromiso con la empresa respetando los estándares y procedimientos de su visión, misión, y valores respetando las relaciones con el entorno para integrarlo proactivamente a las actividades de la institución.

Respeto: respetar a nuestros compañeros de trabajo sus culturas y religiones respetar las comunidades, usos y costumbres.

#### **1.4 Organigrama**

Organigrama de Shougang Hierro Perú S.A.A.:

Junta Directiva:

Yao Shun: Presidente del Directorio. Ver Perfil

Meng Xiangchun: Vicepresidente del Directorio. Ver Perfil

Wu Yimin: Director. Ver Perfil

Ye Baolin: Director. Ver Perfil

Ma Weimin: Director. Ver Perfil

Gerencia General:

Zhang Jiankang: Gerente General. Ver Perfil

Gerencias y Departamentos:

Gerencia de Operaciones: Encargada de la operación de la mina Marcona y la producción de mineral de hierro.

Gerencia de Finanzas y Administración: Responsable de las finanzas, recursos humanos y administración general.

Gerencia de Comercialización y Ventas: Encargada de la comercialización y venta del mineral de hierro.

Gerencia de Medio Ambiente y Seguridad: Asegura el cumplimiento de normas ambientales y la seguridad en la operación.

Gerencia de Mantenimiento y Proyectos: Se ocupa del mantenimiento de equipos y proyectos de expansión.

## CAPITULO II

### TRAYECTORIA PROFESIONAL

#### 2.1. Puesto de trabajo

Mi puesto de trabajo es en el área de Planeamiento y Programación de Mantenimiento. Mi función principal es asegurar que los equipos y maquinarias de la Planta Beneficio funcionen de manera eficiente.

#### 2.2. Objetivo

Mi objetivo es contribuir al éxito de la Planta Beneficio mediante la planificación y programación adecuada del mantenimiento. Esto implica asegurar que los equipos estén disponibles cuando se necesiten y que se realicen las tareas de mantenimiento de manera oportuna.

#### 2.3. Funciones en el área de trabajo

**Realizo las siguientes funciones:**

- Hago seguimiento y control de las órdenes de trabajo para ejecutar el Programa de Mantenimiento.
- Gestiono repuestos, materiales y servicios relacionados con el mantenimiento.
- Mantengo actualizada la base de datos de los equipos.
- Registro y controlo las horas de funcionamiento de los equipos en el Área Beneficio.
- Apoyo en la toma de muestras predictivas.
- Coordinamos la disponibilidad de catálogos, planos y especificaciones técnicas de repuestos.
- Planifico paradas de planta y mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos.

#### 2.4. Perfil del cargo

**Perfil del Puesto: Técnico Analista de Mantenimiento**

**Requisitos Intelectuales y Técnicos:**

- **Educación:** Se requiere una formación técnica a nivel universitario en Ingeniería o carreras afines.
- **Experiencia:** Mínimo 2 años de experiencia en funciones relacionadas con el mantenimiento.
- **Responsabilidades Adquiridas:**
  - **Puntualidad:** Cumplir con los horarios establecidos para las tareas de mantenimiento.
  - **Organización:** Planificar y ejecutar las actividades de mantenimiento de manera eficiente.
  - **Innovación:** Buscar soluciones creativas para resolver problemas técnicos.
  - **Disciplina:** Seguir los procedimientos y normas de seguridad establecidos.
  - **Comunicación:** Coordinar con otros equipos y proveedores para mantener la infraestructura en óptimas condiciones.

### **Perfil Profesional y Competencias:**

- **Conocimientos Técnicos:**
  - Sólidos conocimientos en sistemas eléctricos, fontanería y climatización.
  - Capacidad para diagnosticar y resolver problemas técnicos en equipos e instalaciones.
- **Habilidades Blandas:**
  - **Comunicación:** Capacidad para expresarse de manera clara y efectiva.
  - **Trabajo en Equipo:** Colaborar con otros departamentos y compañeros de trabajo.
  - **Adaptabilidad:** Ser flexible ante cambios y situaciones imprevistas.
  - **Orientación al Detalle:** Realizar inspecciones minuciosas y seguir protocolos de mantenimiento.

### 2.5. Flujograma de procesos y funciones

#### **Descripción de cada paso:**

##### **1. Recepción de solicitud de mantenimiento:**

- Se recibe una solicitud de mantenimiento de parte de un usuario o departamento.
- Se registra la solicitud y se asigna al técnico analista.

##### **2. Asignación de tarea:**

- El técnico recibe la tarea asignada.
- Se comunica con el solicitante para coordinar la visita.

##### **3. Inspección y diagnóstico:**

- El técnico inspecciona el equipo o instalación.
- Diagnostica cualquier problema o falla.

##### **4. Reparación o mantenimiento preventivo:**

- Realiza las reparaciones necesarias o el mantenimiento preventivo.
- Sustituye piezas defectuosas si es necesario.

##### **5. Verificación de funcionamiento:**

- Verifica que el equipo funcione correctamente después de las reparaciones o el mantenimiento.
- Realiza pruebas y ajustes.

##### **6. Registro de actividades:**

- Registra todas las acciones realizadas durante el proceso.
- Documenta los materiales utilizados.

##### **7. Finalización de tarea:**

- Informa al solicitante que la tarea ha sido completada.
- Se retira del lugar de trabajo.

**8. Informe de mantenimiento:**

- El técnico genera un informe detallado de las acciones realizadas.
- Incluye recomendaciones para futuras mejoras.

**9. Actualización de registros:**

- Los registros de mantenimiento se actualizan con la información relevante.
- Se archiva el informe.

**10. Fin del proceso:**

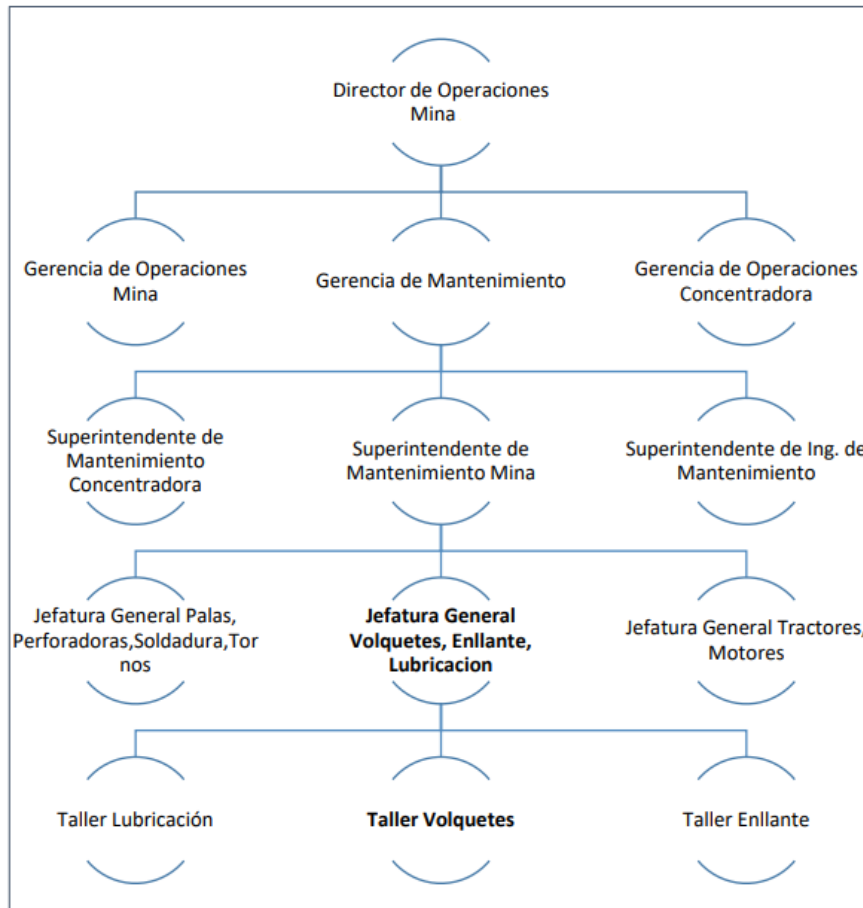
- El flujo de trabajo concluye hasta la próxima solicitud.

## CAPÍTULO III

### APLICACIÓN PROFESIONAL

#### 3.1 Mantenimiento

La Gerencia de Operaciones Mina, la Gerencia de Operaciones Concentradora y la Gerencia de Mantenimiento están a cargo de la Dirección de Operaciones. La Figura siguiente muestra el organigrama de la Dirección de Operaciones de la mina.



*Fig. 1* Organigrama de la Dirección de Operaciones Mina

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se enumeran las funciones de la Gerencia de Mantenimiento y sus objetivos: Garantizar la operación de los activos, el trabajo proactivo, la seguridad del personal, la responsabilidad social y ambiental y la creación de valor para sus accionistas.

#### 3.1.1 Ingeniería de Mantenimiento

Tiene a su cargo la administración de los activos de la mina, la concentradora y la lixiviación, así como el seguimiento y control del presupuesto de mantenimiento. Se enfoca en optimizar los equipos para mejorar la disponibilidad, la confiabilidad y la mantenibilidad.

Por lo tanto, es un componente esencial de la gestión, supervisión y control de los gastos de capital y operativos (CAPEX) de mantenimiento.

El departamento de mantenimiento predictivo ayuda al taller y al plan con la inspección de equipos críticos utilizando métodos como el análisis de vibraciones, el análisis de aceite y el ultrasonido, entre otros.

El departamento de Confiabilidad organiza reuniones de revisión y colabora con talleres para desarrollar planes de mejora en conjunto; también realiza análisis de criticidad de equipos y análisis causa-raíz de eventos principales no programados.

#### **3.1.1.1 Planeamiento de Mantenimiento Mina**

Planificar y programar las actividades de mantenimiento semanal, mensual y anual de los equipos de mina para mantener la funcionabilidad de los equipos para aumentar el tiempo promedio entre fallas y aumentar la disponibilidad de los equipos, cumplir con las metas de producción, las normas de seguridad y protección ambiental.

#### **3.1.1.2 Planeamiento de Mantenimiento Concentradora**

Planificar y programar las actividades de mantenimiento semanal, mensual y anual de los equipos de la planta concentradora para mantener la funcionabilidad de los equipos para aumentar el tiempo promedio entre fallas y aumentar la disponibilidad de los equipos, cumplir con las metas de producción, las normas de seguridad y protección ambiental.

### **3.1.2 Mantenimiento Mina**

#### **3.1.2.1 Talleres de Palas, Perforadoras, Volquetes y Tractores**

cumpliendo con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección del medio ambiente; realizar mantenimiento preventivo semanal, mensual y anual de los equipos de mina, así como cambios de componentes programados y reparaciones correctivas. Además, mantener la capacidad del equipo para realizar las tareas de manera eficiente y de alta calidad..

#### **3.1.2.2 Taller de Enllante**

Realizar el programa de rotación de neumáticos de los volquetes, los tanques de agua, los equipos auxiliares y los equipos livianos de la mina, así como brindar atención a los cambios de neumáticos no programados; cumplir con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección del medio ambiente.

### **3.1.2.3 Taller de Tornos y Soldadura**

Realizar el mantenimiento preventivo semanal, mensual y anual de volquetes, palas, perforadoras y equipo auxiliar de mina, y reparar las tolvas de volquetes y cucharones, cumpliendo con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección ambiental.

### **3.1.2.4 Taller de Reparación Motores**

Realizar el mantenimiento preventivo semanal, mensual y anual de componentes mecánicos como motores diésel Caterpillar 793C, motores de tracción Komatsu 830E y 930E, mandos finales Caterpillar 793C, ruedas y cilindros hidráulicos de volquetes y equipo auxiliar de minería; cumplir con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección del medio ambiente. Además, mantener la capacidad del equipo para realizar las tareas de manera eficiente y de alta calidad.

### **3.1.2.5 Taller de Electricidad Palas, Perforadoras y Volquetes**

Realizar el mantenimiento preventivo semanal, mensual y anual de la parte eléctrica de la mina, así como los cambios de componentes eléctricos como motores eléctricos de giro, avance y empuje de pala Bucyrus 495HR y alternadores de potencia de volquete Komatsu 830E y 930E programados, así como reparaciones correctivas de la parte eléctrica; seguir los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad y los estándares de seguridad. Además, mantener la capacidad del equipo para realizar las tareas de manera eficiente y de alta calidad.

### **3.1.2.6 Taller de Alta Tensión**

Asegurar la línea de transmisión eléctrica para los siguientes equipos: palas eléctricas, perforadoras eléctricas, bombas, chancadoras y equipos de tierra. Realizar el levantamiento de lecturas mensual y el reporte de energía. Además, se construyen líneas de transmisión de 69 kV, 34 kV, 13.8 kV y 7.2 kV, se realizan pruebas eléctricas de protección eléctrica de los relés de las subestaciones y la casa de enlace, se cumplen con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección ambiental. Además, mantener la capacidad del equipo para realizar las tareas de manera eficiente y de alta calidad..

### **3.1.2.7 Taller de Electricidad Mina**

cumpliendo con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección del medio ambiente; realizar el mantenimiento preventivo semanal, mensual y anual de los motores principales de palas, perforadoras, volquetes y cargadores de mina, así como el mantenimiento eléctrico de los talleres de baja

tensión. Además, mantener la capacidad del equipo para realizar las tareas de manera eficiente y de alta calidad.

Equipos principales de Mina:

Los equipos a los cuales se realiza el mantenimiento en Mina son:

- TALLER PALAS Y PERFORADORAS: Palas modelos: Bucyrus 495HR, 495BII, P&H 2800XPB, 4100A+ y 4100XPC, Perforadoras modelos: P&H 120A, 320XPC, Bucyrus 49HR, 49RIII y Caterpillar MD6640.
- TALLER DE VOLQUETES: Volquetes modelos: Komatsu 830E, 930E-3, 930E-4, 930E-4SE, 980E-4; Caterpillar 793C, 793D y 797F; Cargadores Frontales Letourneau 2350II y 1800; y Tanques de Agua modelo Caterpillar 785C y 785D.
- TALLER DE TRACTORES: Tractores de ruedas Caterpillar 824H, 824K, 834H Y 834K, tractores de orugas Caterpillar D10R, D10T Y D11T, motoniveladoras Caterpillar 16M, 24H Y 24M; y cargadores frontales Caterpillar 966F, 966G, 966H, 988F, 988G, 988H, 988K Y 992K.

### **3.1.3 Superintendencia de Mantenimiento Concentradora**

#### **3.1.3.1 Taller Mecánico Concentradora**

Reparar componentes como cuchillas de molino, bombas de concentración, cajas reductoras, ciclones y preparativos de fajas transportadoras para su cambio y uso en la planta de concentración según un programa semanal, mensual o anual. Por lo tanto, cumple con las tareas de mantenimiento de la planta de lixiviación y, según sea necesario, apoya en las tareas de mantenimiento semanal en chancadoras, molinos y filtros.

#### **3.1.3.2 Taller Electricidad Concentradora**

Mantenga y repare los motores eléctricos de la planta concentradora de acuerdo con un cronograma semanal, mensual o anual y esté preparado para su intercambio programado.

#### **3.1.3.3 Taller de Chancadoras-Overland**

realizar el mantenimiento semanal, mensual y anual (parada de planta) de los equipos de planta concentradora como chancadoras primarias, secundarias, terciarias, HPGR y fajas de planta concentradora y Overland (mejora tecnológica).

#### **3.1.3.4 Taller de Molinos, Flotación y Remolienda**

realizar el mantenimiento de los molinos primarios y de remolienda semanal, mensual y anual (parada de planta), incluyendo cambios de forros, celdas de

flotación, bombas de concentrado blowers, compresoras y reparación general de tuberías..

### 3.1.3.5 Taller de Filtros Moly, Planta de Cal y Relaves

El mantenimiento semanal, mensual y anual (parada de planta) de los filtros Larox, los filtros FL Smith, los filtros de tambor, las fajas transportadoras y las bombas de concentrado debe realizarse.

Por lo tanto, mantiene y repara numerosos equipos en las plantas de molibdeno, cal y espesadores de relaves, como celdas de flotación, reductores, bombas de flujo y agua recuperada.

Equipos principales de Concentradora:

Los equipos a los cuales se realiza el mantenimiento en Planta son:

- SECCION DE CHANCADORAS- FAJA OVERLAND: Chancadora Primaria THYSEN KRUPP 63 x 114, Fajas transportadoras de 72”, 60” y 54”, Chutes de transferencias. Chancadoras Secundarias MP1000 y Chancadoras Terciarias HP700, HPGR y Zarandas.
- SECCION DE MOLINOS, FLOTACION, REMOLIENDA: Molinos Allis Chalmers, Molinos Svedala, Celdas de flotación OK100 y OK160, Ciclones Krebs, Bombas Svedala Bombas GIW, Bombas Denver y Fajas transportadoras de 36”.
- SECCION DE FILTROS, MOLIBDENO Y RELAVES: Filtro Prensa Larox, Filtro Prensa Dorr Oliver, Filtros de tambor Eimco, Celdas de flotación, Secadores Holoflyte, Tanques Espesadores 141 ft y 430 ft, Bombas Denver, Bombas de agua recuperada y Bombas Wilfley.

### 3.1.4 Taller Volquetes

El taller de volquetes está bajo la superintendencia de mantenimiento de mina. El taller está compuesto por 52 personas, como se muestra en la Tabla 1. Estos incluyen a la jefatura del taller como funcionarios, a los supervisores del taller como empleados y a los mecánicos del taller, que están divididos en siete grupos de trabajo.

Tabla 1  
Personal de taller volquetes

CARGO	CANTIDAD
Funcionarios	3
Empleados	4
Mecánicos	15
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>

*Nota:* Elaboración propia

El taller de volquetes se encarga del mantenimiento preventivo y correctivo de 35 equipos, que incluyen 27 volquetes para el acarreo de mineral, 4 tanques de agua para reducir el polvo en las vías mineras, 2 remolcadores que transportan equipos como perforadoras y tractores, así como remolque de volquete en caso de falla, y 2 cargadores de mineral que también cargan o desbrozan mineral. La Tabla 2 muestra la lista de la flota de equipos que están bajo mantenimiento en el taller de volquetes. La Flota de Volquetes 930E, que es el tema de investigación en este trabajo de suficiencia profesional, se describirá a continuación.

Tabla 2 Flota volquetes de Mina

TIPO	MODELO	CANTIDAD
Volquete	830E	5
Volquete	930E	16
Volquete	930E4-SE	5
Volquete	980E	3
Volquete	793D	3
Tanque de Agua	785C/D	3
Remolcador	793C	4
Cargador	LT2350	2
Cargador	LT1800	2

Nota: Elaboración propia

El taller de volquetes realiza dos tipos de mantenimiento: preventivo y correctivo, como se muestra en la Figura 2. El área de Planeamiento de Mantenimiento planifica el mantenimiento preventivo y el taller de volquetes lo lleva a cabo. Como el mantenimiento correctivo es un evento no programado, el taller abre una orden de mantenimiento en el sistema SAP y realiza la tarea correctiva..

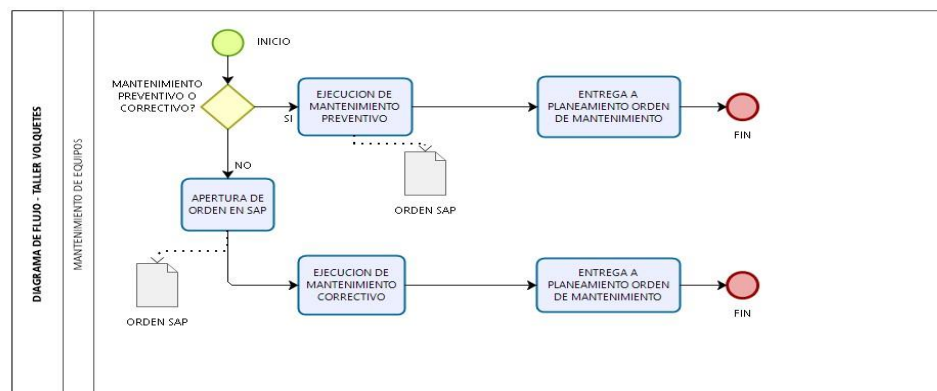


Figura 2 Diagrama de Flujo del Taller Volquete

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4.1 Descripción del Volquete 930E

En el Perú, el equipo utilizado para transportar o transportar minerales es principalmente un volquete de llantas, que tienen una transmisión mecánica o eléctrica. El motor diésel Commins modelo QSP60 se instala en el volquete de transmisión eléctrica de modelo 930E en este trabajo de tesis de suficiencia profesional. El volquete de modelo 930E se describirá a continuación.



*Figura 3.* Volquete 930E

Fuente: Manual de operación y mantenimiento 930E

El motor diésel Commins modelo QSP60 es utilizado como generador de energía en el volquete modelo 930E de la Figura 3. Este generador alimenta a los motores eléctricos de propulsión posterior izquierdo y derecho, que a su vez transmiten giro a los mandos de tracción mecánica en las llantas posteriores. El volquete tiene un peso bruto total de aproximadamente 500,000 kilogramos, con un peso en vacío de 210,000 kilogramos y una capacidad de carga útil de 290,000 kilogramos. Además, el volquete cuenta con seis llantas de medida 53/80R63, cada una de las cuales pesa 4,500 kilogramos, tiene una altura de 4 metros y cuesta aproximadamente \$ 40,000. El motor diésel Commins modelo QSP60 de 2,700 HP y el peso de 9,608 kg del volquete 930E llegan de fábrica. El motor diésel Commins QSP60 tiene una vida útil de 72,000 horas, con tres reparaciones generales de motor cada 18,000 horas. Además, hay un motor diésel marca MTA modelo 16T4000 que se ha instalado en los volquetes 930E. Tiene una vida útil de 60,000 horas, con tres reparaciones generales de motor cada 15,000 horas. Al 31 de diciembre de 2015, se registraron 4 motores diésel MTA 16T4000 y 11 motores diésel Commins QSP60 en la flota de volquetes 930E

El Volquete 930E tiene una longitud de 15,6 metros, una altura de 7,5 metros y un ancho de 8.7 metros, como se muestra en la Figura 4.

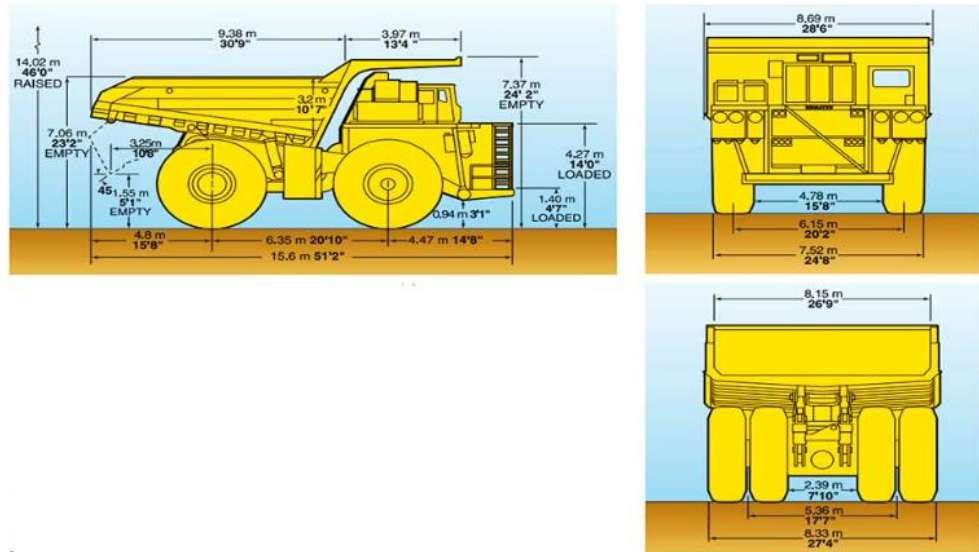


Figura 4. Dimensiones de Volquete 30E

Fuente: Manual de operación y mantenimiento 930E

Como se mencionó anteriormente, el motor diésel Commins modelo QSP60 está instalado en este Volquete 930E. Este motor diésel de 16 cilindros tiene una cilindrada total de 60 litros y puede producir 2700 HP. El motor diésel Commins de modelo QSP60 se muestra gráficamente en la Figura 5.

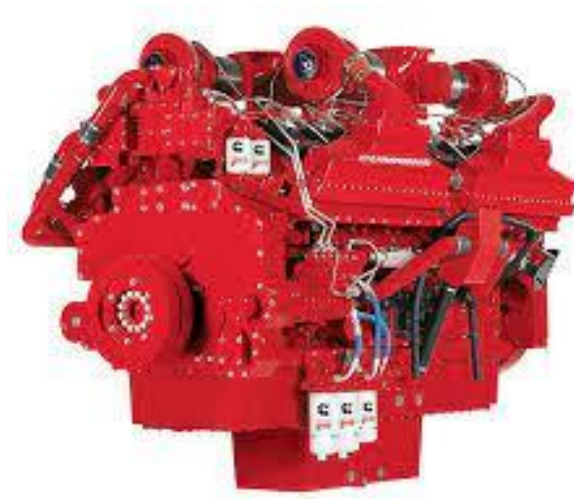


Figura 5. Motor diésel Commins QSP60

Fuente: Manual de mantenimiento motor diésel Commins QSP60

El motor diésel MTA, que en español significa "Unión Fabricante de Motores y Turbinas", también está disponible. El motor diésel Commins 16T4000 tiene 16

cilindros y un volumen de 4 litros por cilindro. La representación gráfica del motor diésel MTA 16T4000 se muestra en la Figura 6.

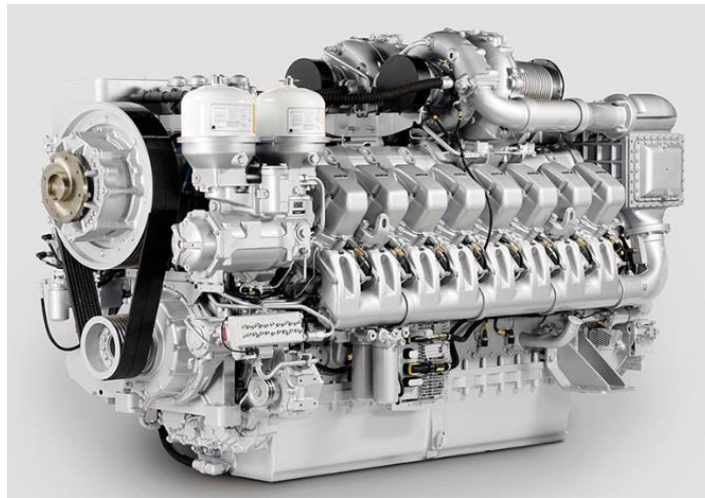


Figura 6. Motor diésel MTA 16T4000

Fuente: Manual de mantenimiento motor diésel MTA 16T4000

### 3.1.5 Identificación del Problema

La flota de volquetes 930E, compuesta por 15 unidades, está bajo la supervisión del taller de mantenimiento de volquetes de la mina 2. El volquete 930E alcanza una velocidad máxima de 64.5 km/h o 40 mph, con un peso bruto del volquete de 500 toneladas métricas y una capacidad de carga útil de 290 toneladas métricas.

Tabla 3 *Flota volquetes 930E*

EQUIPO	COSTO EQUIPO	AÑO INICIO
VQC100	\$ 2,345,543.00	2005
VQC101	\$ 2,346,403.00	2005
VQC102	\$ 2,470,553.00	2005
VQC103	\$ 2,426,343.00	2006
VQC104	\$ 2,436,303.00	2006
VQC105	\$ 2,450,493.00	2006
VQC106	\$ 2,673,656.00	2007
VQC107	\$ 2,873,436.00	2010
VQC108	\$ 2,863,416.00	2010
VQC109	\$ 2,863,416.00	2010
VQC110	\$ 2,863,416.00	2010
VQC111	\$ 3,547,313.00	2010
VQC112	\$ 3,431,317.00	2010
VQC113	\$ 3,431,317.00	2010
VQC114	\$ 3,431,317.00	2010

Los cambios de motor diésel, cambios de componentes hidráulicos como bombas y cilindros, y cambios de mandos de tracción mecánico posteriores son las principales actividades de mantenimiento que se realizan en el Volquete 930E. La Tabla 4 muestra los datos sobre los cambios de motor diésel de Commins QSP60 en la flota de Volquetes 930E en 2015 y 2016, cuando se realizaron 8 cambios de motor diésel no programados por falla, lo que provocó horas de parada de la flota de 732 en 2022 y 619 en 2023.

Además, estos cambios de motor diésel no programados provocaron una disminución de la disponibilidad de la flota de Volquetes 930E del 0.6% en 2022 y del 0.5% en 2023.

Tabla 4 Cambios de motor diésel Commins QSP60 años 2022 y 2023

Ítem	Fecha de Cambio (DD/MM/AÑO)	TIPO	N/S Motor Diésel	Equipo	Horas Parciales	Horas Acumuladas	TIEMPO DE CAMBIO DE MOTOR DIESEL	TIPO	CAUSA
<b>2022</b>									
1	10/11/2016	QSP60	MOVQ33161863	VQC102	6837	62323	46	NO PROGRAMADO	EJE LEVAS
2	01/07/2016	QSP60	MOVQ33180923	VQC106	1968	27149	63	NO PROGRAMADO	CATASTROFICA
3	01/06/2016	QSP60	MOVQ33201531	VQC114	7991	7991	59	PROGRAMADO	ALQUILER
4	13/04/2016	QSP60	MOVQ33167948	VQC105	16160	52982	95	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
5	09/04/2016	QSP60	MOVQ33188085	VQC107	16642	16642	93	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
6	06/04/2016	QSP60	MOVQ33180704	VQC103	3520	29626	84	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
7	19/03/2016	QSP60	MOVQ33160186	VQC106	8320	55354	77	NO PROGRAMADO	FUGA
8	25/01/2016	QSP60	MOVQ33161469	VQC112	16491	56322	89	NO PROGRAMADO	MODI
9	09/01/2016	QSP60	MOVQ33179341	VQC109	12540	37179	72	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
<b>2023</b>									
1	10/01/2015	QSP60	MOVQ33161863	VQC103	16457	55697	105	NO PROGRAMADO	METALES BANCADA
2	02/12/2015	QSP60	MOVQ33175608	VQC111	3203	8976	66	NO PROGRAMADO	CATASTROFICA
3	05/11/2015	QSP60	MOVQ33179346	VQC102	16894	36377	54	PROGRAMADO	HORAS
4	17/09/2015	QSP60	MOVQ33169925	VQC103	8227	8227	63	PROGRAMADO	ALQUILER
5	09/09/2015	QSP60	MOVQ33180852	VQC113	6543	27951	78	NO PROGRAMADO	METALES BANCADA
6	30/05/2015	QSP60	MOVQ33180923	VQC111	8495	25061	81	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
7	18/05/2015	QSP60	MOVQ33179375	VQC108	15128	33790	84	NO PROGRAMADO	CIGÜEÑAL

8	07/04/2015	QSP60	MOVQ33156110	VQC110	14795	63974	69	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
9	01/04/2015	QSP60	MOVQ33180922	VQC114	8264	26899	79	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
10	14/03/2015	QSP60	MOVQ33179391	VQC104	6516	27376	170	NO PROGRAMADO	CIGÜEÑAL

*Nota:* Elaboración propia.

### 3.1.6 Impacto Económico

El área de operaciones de la Mina 2 realiza una valorización anual del costo de pérdida por hora de volquete sin producción. Esto ayudará a evaluar los efectos económicos de las fallas de motor diésel en la flota de volquetes 930E. La Tabla 5 muestra que para el año 2023, la flota de volquetes 930E tendrá un costo por hora de \$ 646. La cantidad de libras de cobre fino producidas en una hora se multiplica por el factor de margen de ganancia final en dólares por libra de cobre (Cu).

Tabla 5 Costo pérdida por equipo d3tenido

<b>KOM 930</b>	<b>TONELAJE</b>
Producción perdida ( t )	500
Relación Desbroce (D/M) - Plan Turno	3.79
Acarreo Mineral ( t )	104
Ley Cu (%) - Plan Turno	0.61
Recuperación Conc. (%)	87.4%
Recuperación Fund. (%)	97.4%
Recuperación Refin. (%)	99.9%
Toneladas de Cobre Fino ( t )	0.54
Libras de Cobre Fino (Lb)	1,196
Margen de Ganancia Final - US\$ / Lb de Cu	<b>0.540</b>
<b>Perdida (US\$) / Hora</b>	<b>646</b>

*Nota:* Datos correspondientes del año 2023

La Tabla 6 muestra la valorización del tiempo de parada por los cambios de motor diésel no programados en 2021 y 2022. Esto redujo el tiempo de movimiento de mineral y resultó en una pérdida total de \$872,746 para la flota de volquetes 930E.

Tabla 6 Costo pérdida por cambios de motor diésel años 2021 y 2022

AÑO	HORAS	COSTO	SUBTOTAL
2021	732	\$ 656	\$ 480,192
2022	619	\$ 656	\$ 406,064
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 886,256</b>

*Nota:* Elaboración propia.

Basado en los datos presentados, se presentará una solución alternativa para el trabajo de suficiencia profesional utilizando herramientas de ingeniería industrial con el objetivo de aumentar la disponibilidad de la flota de volquetes 930E de la unidad minera.

### 3.2 Validación Técnica

Se aplicarán los ocho pasos del método de solución de problemas a través de la herramienta del ciclo de mejora continua PDCA o el círculo de Deming para validar técnicamente el presente trabajo de suficiencia profesional. Luego comenzará con el tema del Plan, que incluye la definición del proyecto, el análisis de la situación actual, el análisis de las causas potenciales y la planificación de la solución.

#### 3.2.1 Definición del proyecto

En la minería, la disponibilidad se define como el factor de tiempo de operatividad de los equipos que se entrega al área de operaciones de la mina por parte del área de mantenimiento. El tema principal de este proyecto de tesis de suficiencia profesional es la disponibilidad de la flota de volquetes.

La definición del proyecto es la aplicación de herramientas de ingeniería industrial junto con evaluaciones técnicas y económicas para desarrollar una propuesta de solución que mejore la disponibilidad de la flota de volquetes de una empresa minera. Este problema se descubrió al identificar el problema desarrollado de los cambios de motor diésel Commins QSP60 no programados por falla.

Se busca obtener el mayor número de disponibilidad de la flota de volquetes 930E para brindar más tiempo de operatividad para el acarreo y el desbroce de minerales.

#### 3.2.2 Análisis de la situación actual

Para registrar las detenciones de equipos, la empresa minera utiliza el programa Minet Ops, que detalla los motivos y los tiempos de cada detención de equipo. La utilización de esta información es esencial para el análisis y la creación del trabajo actual de suficiencia profesional.

La Tabla 7 muestra las horas de parada de la flota 930E por tipos de mantenimiento que afectan su disponibilidad. Es importante señalar que son responsabilidad del área del taller de mantenimiento de volquetes.

Tabla 7 Cuadro de paradas de mantenimiento

<b>CUADRO DE PARADAS POR TIPO DE MANTENIMIENTO FLOTA 930E (HORAS)</b>						
<b>AÑO</b>	<b>Mecánica</b>	<b>Mantenimiento Preventivo</b>	<b>Eléctrica</b>	<b>Servicio</b>	<b>Enllante</b>	<b>Soldadura</b>
2021	6128	2872	2567	1716	1572	387
2022	4705	3319	2055	1592	1508	396
2023	4764	3310	2091	1537	1149	379
<b>Total</b>	<b>15597</b>	<b>9501</b>	<b>6712</b>	<b>4846</b>	<b>4230</b>	<b>1162</b>

*Nota:* Elaboración propia.

A continuación, se describe cada tipo de mantenimiento:

- **Mecánica:** se refiere a todas las paradas no programadas relacionadas con la parte mecánica, como sistemas hidráulicos, neumáticos y motores diésel.
- **Mantenimiento preventivo:** incluye todas las paradas programadas del equipo, como el cambio de aceite de motor, filtros y componentes hidráulicos.
- **Eléctrico:** se refiere a todas las paradas no programadas relacionadas con la parte eléctrica, como las luces del equipo y las tarjetas de control.
- **Servicio:** se refiere a todas las paradas de mantenimiento asociadas con el llenado de combustible de los volquetes.
- **Enllante:** se refiere a todas las paradas programadas y no programadas por cambio y emparejamiento de llantas.
- **Soldadura:** incluye todas las paradas no programadas por actividades relacionadas con la soldadura, como la reparación de tolvas y chasis.

Para obtener más información, el diagrama de Pareto de los tipos de mantenimiento que afectan la disponibilidad con datos de horas de 2021, 2022 y 2023 se muestra en la Figura 7. Debido a que el Volquete 930E tiene 15,597 horas de detenciones mecánicas, lo que representa el 37% de todas las paradas, la categoría mecánica tiene el mayor impacto en la disponibilidad de flota. Por lo tanto, se analizarán las detenciones de cada año por categoría mecánica.

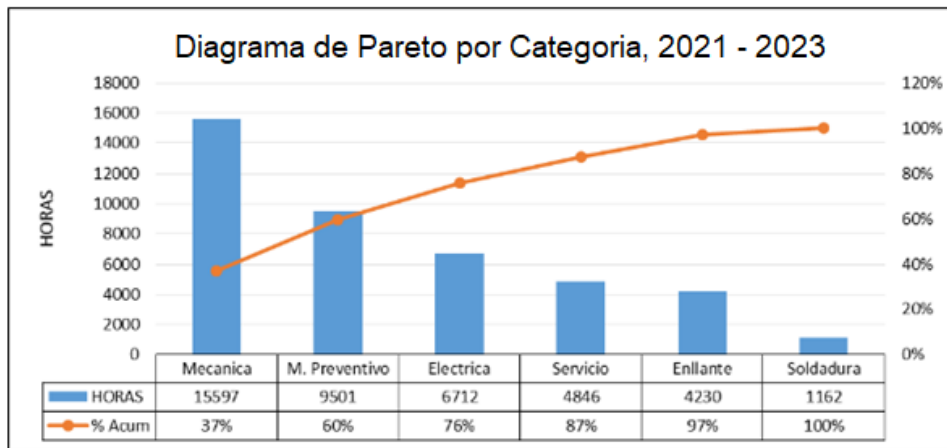


Figura 7. Diagrama de Pareto de categorías 2021-2023

Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Pareto del tipo de mantenimiento para la flota de volquetes 930E del año 2021 se muestra en la Figura 8. Como se mencionó anteriormente, el tipo de mantenimiento mecánico representó el 40% del valor total para ese año, lo que equivale a 6,128 horas.

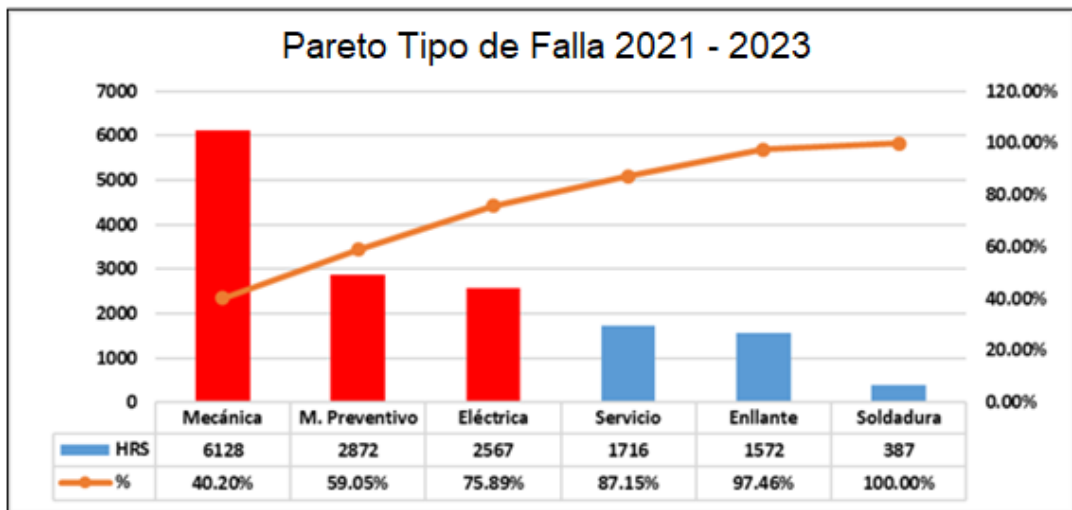


Figura 8 Diagrama de Pareto de categorías 2021

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 9 muestra un histograma de los datos del tipo mecánico de 2021 y una revisión detallada de las paradas. De las 6,128 horas de paradas mecánicas, 906 (15%) corresponden a motores diésel Commins QSP60 y 124 (2%) corresponden a motores diésel MTA. Se descubrió que los motores diésel Commins representan el 15% de las fallas mecánicas.

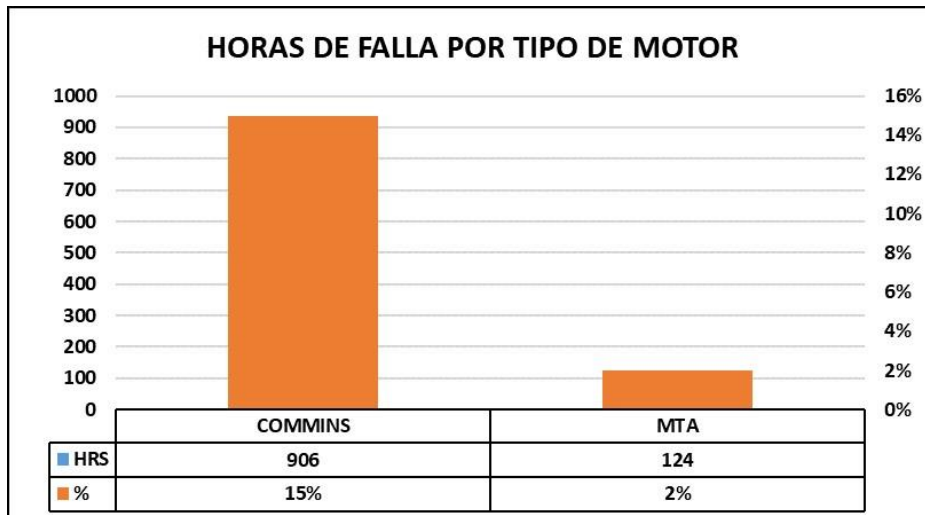


Figura 9. Horas de parada por motor diésel 2015

Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Pareto por tipo de mantenimiento de la flota de volquetes 930E para 2022 se muestra en la Figura 10. Para ese año, el tipo de mantenimiento mecánico representó el 35% del valor total, lo que equivale a 4,705 horas.

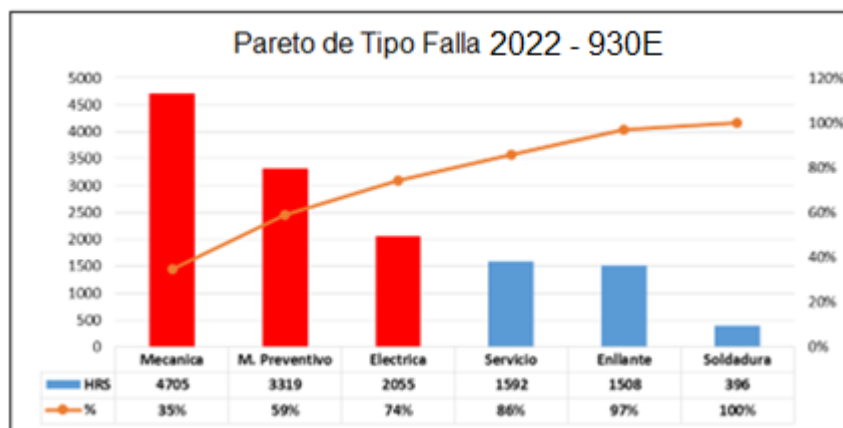


Figura 10. Diagrama de Pareto de categorías 2022 Fuente: Elaboración propia.

La Figura 11 muestra un histograma de los datos del tipo mecánico de 2022 y una revisión detallada de las paradas. La categoría mecánica tiene 4,705 horas de paradas, de las cuales 1,649 horas (35%) son paradas por motores diésel Commins QSP60 y 500 horas (11%) paradas por motores diésel MTA. Se ha descubierto que los motores diésel Commins son responsables del 35% de las paradas mecánicas.

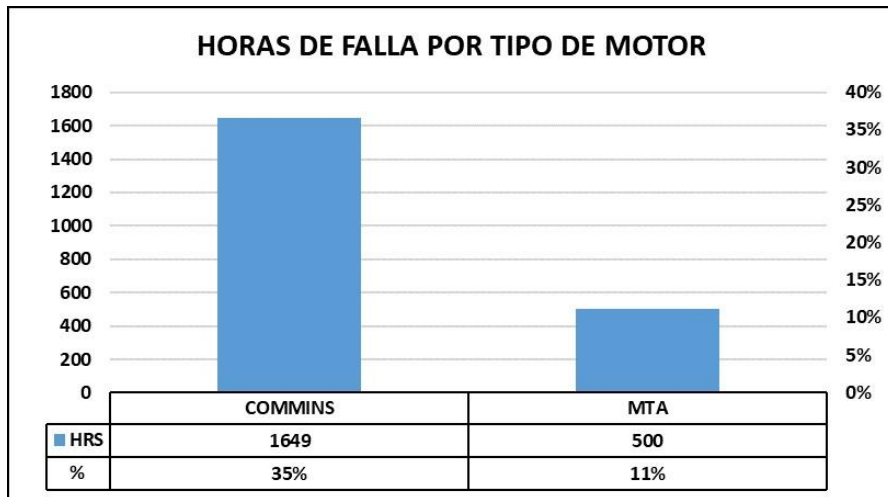


Figura 11. Horas de parada por motor diésel 2022 Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Pareto del tipo de mantenimiento para la flota de volquetes 930E del año 2023 se muestra en la Figura 12. Como se mencionó anteriormente, el tipo de mantenimiento mecánico representó el 36% del total de horas de mantenimiento en ese año, lo que equivale a 4,764 horas.

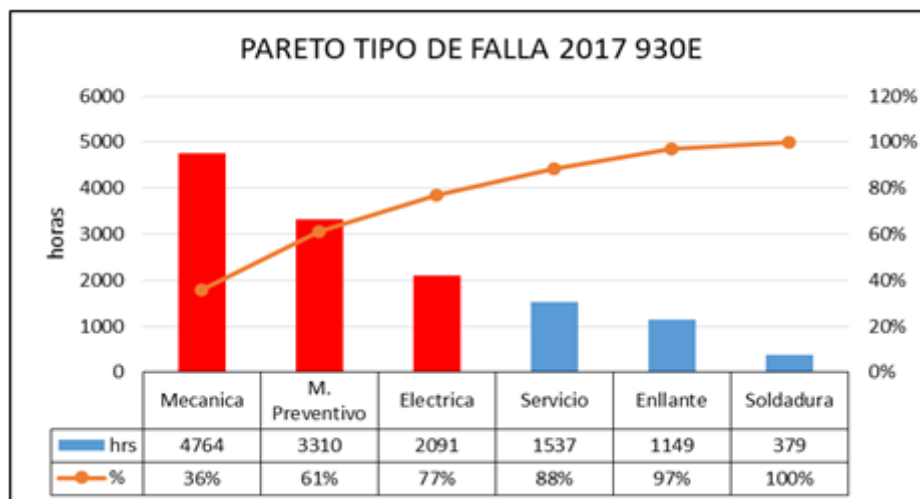


Figura 12. Diagrama de Pareto de categorías 2023 Fuente: Elaboración propia.

La Figura 13 muestra un histograma de datos del tipo mecánico del año 2023 y una revisión detallada de las paradas. De las 4,764 horas de parada de la categoría mecánica, 1,118 horas (23%) corresponden a motores diésel Commins QSP60 y 646 horas (14%) corresponden a motores diésel MTA. El motor diésel Commins es responsable del 23% de las fallas mecánicas

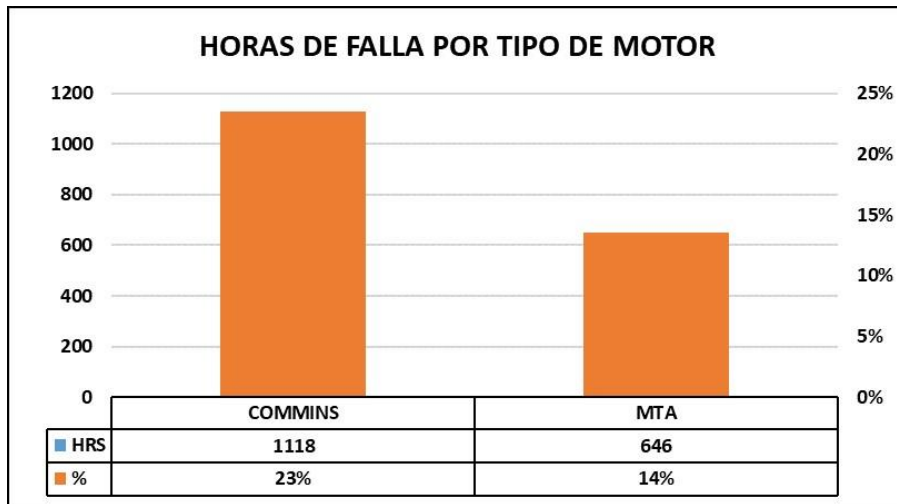


Figura 13. Horas de parada por motor diésel 2023

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos proporcionados, el tipo de mantenimiento mecánico tiene el mayor impacto en la disponibilidad de la flota de volquetes 930E. Además, en los años 2021, 2022 y 2023, las horas de parada por falla del motor diésel Commins QSP60 corresponden al tipo de mantenimiento mecánico aumentan..

### 3.2.3 Análisis de causas potenciales

Se realizó una tormenta de ideas de las causas fundamentales más probables utilizando el método de las 6 m del diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa efecto, para determinar las causas por las que se obtienen paradas que afectan la disponibilidad de la Flota de Volquetes 930E. En base a los datos recopilados y estratificados según las 6 m, la Tabla 8 muestra las causas más probables: medio ambiente, medida, materia prima, trabajadores, procedimiento y máquina.

El medio ambiente se refiere al entorno en el que se llevan a cabo las actividades, y en este caso, el entorno del taller de volquetes es el que se refiere. La medida se refiere a las actividades de control que se realizan para evitar errores en el proceso; en este trabajo, las actividades de control para mantenimientos programados de motores diésel se examinan.

La materia prima se refiere a los insumos que se utilizan para crear un producto o servicio; en este caso, se refiere a todos los materiales utilizados para mantener los motores diésel. La mano de obra se refiere a la gente que hace las cosas. En este caso, se refiere a los mecánicos del taller de volquetes. El término "método" se refiere al procedimiento utilizado para crear actividades. Y el término "máquina" se refiere a los equipos utilizados para llevar a cabo las actividades; en este trabajo, los motores diésel de los volquetes de la Flota 930E están sujetos a este estudio

Tabla 8 Selección de las causas más probables

Causa Fundamental	Motivo	Conclusión
<b>Medio Ambiente</b>		
1.- Falta de orden y limpieza en el taller de mantenimiento Volquetes.	Se realiza orden y limpieza para la realización de los mantenimientos.	Poco probable
<b>Medida</b>		
1.- Falta de programa de control de mantenimiento de los motores diésel	El área de planeamiento realiza seguimiento a las actividades de mantenimiento de los motores diésel.	Poco probable
<b>Materia Prima</b>		
1.- Filtros y repuestos para mantenimiento de los motores diésel en mal estado.	No hay registro de reclamos de garantía por defectos en los insumos para los mantenimientos.	Poco probable
<b>Mano de Obra</b>		
1.- Personal no especializado en mantenimiento de motores diésel	El personal ha pasado evaluación técnica y tiene experiencia en mantenimiento de motores diésel y equipo pesado.	Poco probable
2.- Falta de programa de capacitación para el personal de mantenimiento	Se realiza capacitación anual en mantenimiento y operación de equipos a los trabajadores	Poco probable
<b>Método</b>		
1.- Ausencia de proceso para la realización de mantenimiento de los motores diésel	Existen procesos definidos para la realización de los mantenimientos.	Poco probable
<b>Máquina</b>		
1.- Se presentan fallas en los motores diésel de la Flota 930E.	Se realizan cambios de motor diésel por falla en la marca Commins.	Probable

Nota: Elaboración propia.

La causa fundamental probable, el factor máquina que causa la baja disponibilidad en la flota de volquetes 930E, está ubicada en la Figura 14 en un diagrama causa-efecto que resume el trabajo realizado para las causas más probables.

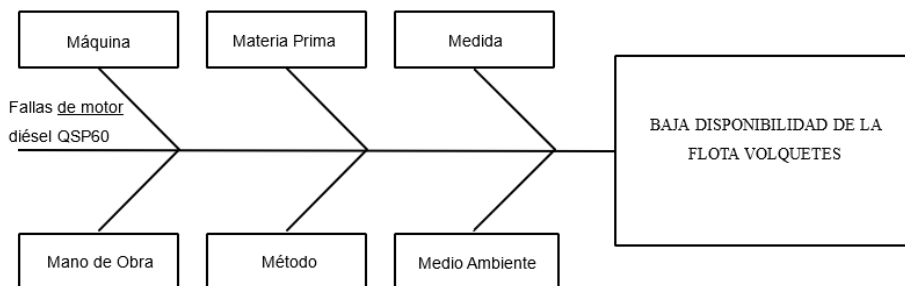


Figura 14.

Diagrama Causa – Efecto de Flota Volquetes 930E

Se ha determinado que las fallas del motor diésel Commins QSP60 son la causa principal que afecta la disponibilidad de la flota de volquetes 930E de la unidad minera, basándose en los datos de cambio de 16 motores diésel Commins por falla en 2021 y 2023, y que el factor máquina es la causa más probable.

La Figura 14 muestra un diagrama de Pareto de los motivos de falla del motor diésel Commins QSP60 de 2021 y 2023 para identificar los problemas existentes y las fallas principales.

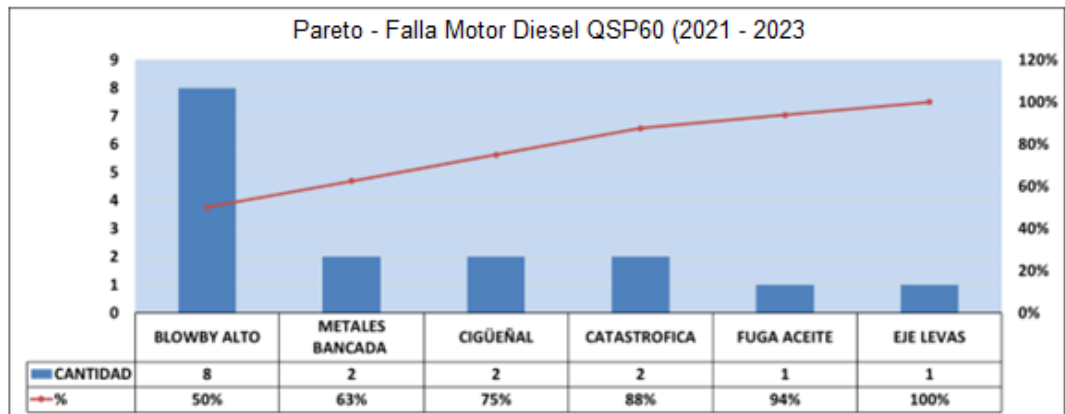
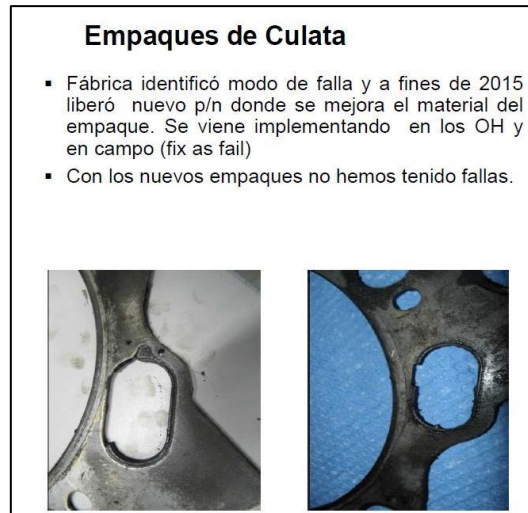


Figura 14. Diagrama de Pareto de Motores diésel año 2021 y 2023  
Fuente: Elaboración propia.

La falla de Blowby Alto, que indica una alta presión de gases en el cárter del motor diésel, es la falla principal identificada con el diagrama de Pareto en los motores diésel Commins QSP60. Esto se debe a la alta presión en la cámara de combustión, que debido a la falta de hermeticidad en las partes de los cilindros del motor diésel hace que una parte de los gases producidos por la combustión se filtren. Esto provoca un consumo excesivo de aceite y el desgaste de los componentes internos debido a la presencia de hollín, lo que puede causar fallas catastróficas en los motores diésel.

Según la información disponible, la adquisición de un motor diésel Commins QSP60 cuesta \$560,000 y la reparación cuesta \$404,705. Los motores con fallas son enviados a los talleres de los proveedores para su análisis junto con su respectivo documento de reclamo de garantía debido a los altos costos de reparación de motores diésel. El proveedor reconoce una falla de producto que provoca estos cambios de motor diésel no programados en los informes de falla. La Figura 15 de los informes del proveedor muestra fallas en los empaques de culata de motores diésel.



*Figura 15.* Informe de falla de motor diésel Commins QSP60  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4 Planificar soluciones

El repotenciamiento del motor diésel es una de las soluciones. Esto implica reemplazar los motores diésel Commins QSP60 por los motores diésel MTA 16T4000 de la flota de volquetes 930E.

Estos reemplazos se desarrollaron gradualmente a medida que se presentaban las fallas del motor diésel QSP60 en la flota 930E, con el objetivo de evitar una reducción inmediata de la disponibilidad del equipo para las operaciones de mina.

La implementación de la solución es el único paso de los ocho pasos de mejora continua que se detallan a continuación.

### 3.2.5 Implementación de solución

En el año 2019 y 2020, se reemplazaron cinco motores diésel, lo que llevó a cuatro Volquetes 930E con motores diésel MTA en 2021 a nueve en 2023. La Tabla 9 muestra las fechas en las que se realizaron los cambios en los motores diésel en la flota de volquetes 930E, así como las fechas en las que se instaló el motor diésel MTA como parte de la implementación de la solución. En 2017, se habían instalado nueve motores diésel MTA en comparación con los cuatro motores que se tenían hasta 2021, lo que representa una variación del 125% para mejorar la disponibilidad.

Tabla 9 *Instalación de motor diésel MTA*

<b>FLOTA 930E</b>	<b>MOTOR DIESEL</b>	<b>FECHA DE REPOWER (CAMBIO DE MOTOR DIESEL COMMINS A MTA)</b>
VQC100	MTA 16T4000	10/05/2010
VQC101	MTA 16T4000	11/04/2011
VQC102	COMMINS QSP60	-
VQC103	COMMINS QSP60	-
VQC104	MTA 16T4000	22/10/2023
VQC105	MTA 16T4000	12/04/2022
VQC106	MTA 16T4000	01/07/2022
VQC107	COMMINS QSP60	-
VQC108	MTA 16T4000	12/04/2023
VQC109	COMMINS QSP60	-
VQC110	MTA 16T4000	07/04/2021
VQC111	COMMINS QSP60	-
VQC112	MTA 16T4000	24/01/2022
VQC113	MTA 16T4000	09/09/2021
VQC114	COMMINS QSP60	-
<b>TOTAL</b>	<b>MTA/QSP60</b>	<b>CANTIDAD REPOWER 2021-2023</b>
15	9/6	7

*Nota:* Elaboración propia.

La Tabla 9 muestra que los volquetes de código VQC100 y VQC101 han instalado el motor diésel MTA en 2010 y 2011. Entre 2021 y 2023, durante la implementación del presente proyecto, se realizaron cambios en los motores diésel MTA. En el año 2021, en abril se instaló el motor diésel MTA en el volquete VQC110, y en setiembre se instaló el motor diésel en el volquete VQC113.

. En enero de 2022, se instaló el motor diésel en el volquete VQC112, en abril en el volquete VQC105 y en julio en el volquete VQC106. Finalmente, en el año 2023, el motor diésel se instaló al volquete VQC108 en abril y al volquete VQC104 en octubre. Con la implementación del proyecto se realizaron siete cambios de motor diésel Commins a MTA,

con la finalidad de incrementar la disponibilidad de la Flota Volquetes 930E. El siguiente paso es la verificación de los ocho pasos de mejora continua.

### 3.2.6 Medición de los resultados

Para medir los resultados, se utiliza el método gráfico de control de disponibilidad de los equipos que hayan recibido repotenciación en 2021, 2022 y 2023.

Los volquetes 930E VQC110 y VQC113 recibieron motores diésel nuevos para 2021. La disponibilidad después del cambio se estabiliza, como se muestra en la Figura 16, lo que significa que las paradas no programadas no afectarán el plan de Operaciones Mina. El 07 de abril se llevó a cabo la repotenciación del volquete VQC110, lo que resultó en una disponibilidad del 62.8% en el mismo mes y un aumento del 84.7% en diciembre. El 09 de septiembre se llevó a cabo la repotenciación del volquete VQC113, lo que resultó en una disponibilidad del 77,5% en el mismo mes y un aumento del 79,3% en diciembre.

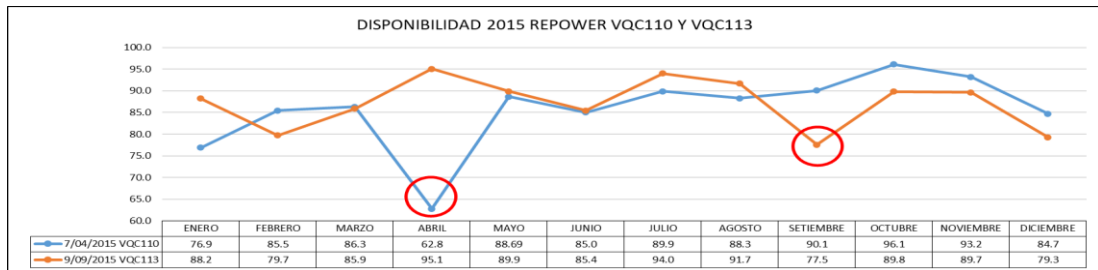


Figura 16. Gráfico de control de reemplazos de Motor diésel 2021

Fuente: Elaboración propia.

Los motores diésel VQC105, VQC106 y VQC112 fueron reemplazados en los volquetes 930E en 2022. La disponibilidad después del cambio se estabiliza, como se muestra en la Figura 17, lo que significa que las paradas no programadas no afectarán el plan de Operaciones Mina. El 24 de enero se llevó a cabo la repotenciación del volquete VQC112, lo que resultó en una disponibilidad del 69.5% en el mismo mes y un aumento del 93.9% en diciembre. El 12 de abril se llevó a cabo la repotenciación del volquete VQC105, lo que resultó en una disponibilidad del 73.1% en ese mes y un aumento del 92.7% en diciembre. El 1 de julio se llevó a cabo la repotenciación del volquete VQC106, lo que resultó en una disponibilidad del 78,9% en el mismo mes y una disponibilidad del 89,8% en diciembre.

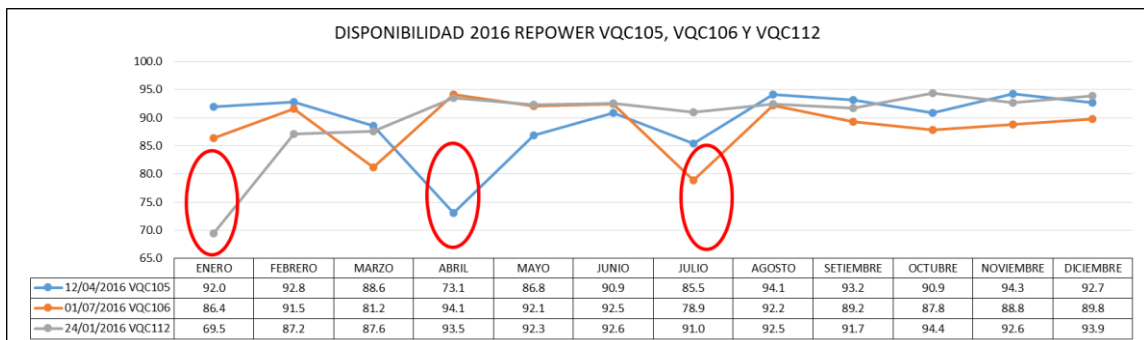


Figura 17. Gráfico de control de reemplazos de Motor diésel 2016 Fuente: Elaboración propia.

Dos motores diésel de los volquetes 930E fueron reemplazados en 2023: VQC104 y VQC105. La disponibilidad se estabiliza después del cambio, como se muestra en la Figura 38, lo que significa que las paradas no programadas no afectarán el plan de Operaciones Mina. El 12 de abril se llevó a cabo la repotenciación del volquete VQC108, lo que resultó en una disponibilidad del 71,9% en el mismo mes y un aumento del 92.3% en diciembre. Finalmente, el 22 de octubre se llevó a cabo la repotenciación del volquete VQC104, lo que resultó en una disponibilidad del 84.8% en el mismo mes y un aumento del 93% en diciembre.

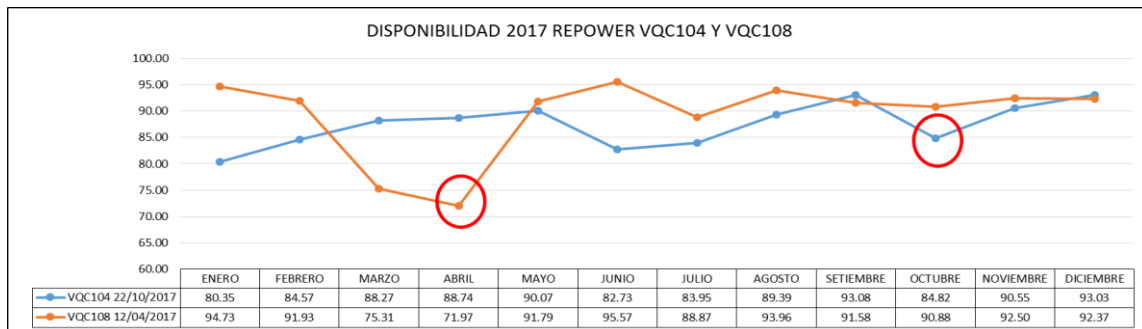


Figura 18. Gráfico de control de reemplazos de Motor diésel 2017

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se calcula la disponibilidad anual de la flota 930E de la unidad minera. Es satisfactorio mantener o aumentar la disponibilidad de la flota de volquetes mineros porque con el uso del equipo, la disponibilidad disminuye por fallas.

La disponibilidad de la flota de volquetes 930E fue del 88,39% en 2021 y del 89,95% en 2023, como se muestra en la Figura 19. Este aumento del 1.56% en la disponibilidad equivale a 2,050 horas más de uso para las operaciones de la mina Cuajone, lo que resulta en una mayor producción.

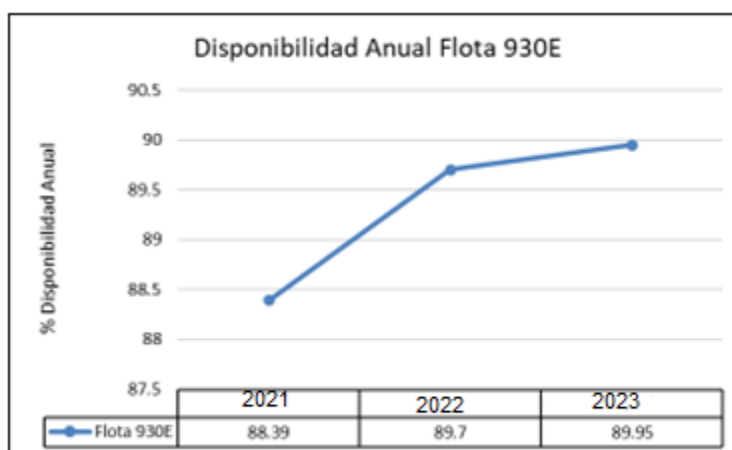


Figura 19. Incremento de disponibilidad Flota Volquetes 930E entre los años 2021 – 2023

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.7 Estandarizar la mejora

Se realizó lo siguiente como parte de la estandarización de la mejora: En el departamento de planificación de mantenimiento, la empresa utiliza el sistema SAP para programar y monitorear el mantenimiento, y ha actualizado los planes

En el Taller de Volquetes, se impartió capacitación al personal sobre las funciones y el mantenimiento de Repower (reemplazo) de motores diésel en Flota Volquetes 930E para garantizar el mantenimiento adecuado de los motores diésel MTA. Finalmente, el punto de acción de los ocho pasos de mejora continua se lleva a cabo..

### 3.2.8 Documentar la acción o mejora

Se presentó un informe de Repower de motor diésel en Flota 930E a la dirección y la Gerencia de Mantenimiento de la empresa para su registro como parte de la documentación. El trabajo de investigación actual destaca que no se tomó la decisión de reemplazar todos los motores diésel a MTA 16T4000 para no monopolizar al proveedor de motores diésel MTA y generar un sentido de mejoramiento continuo en ambos proveedores de motores diésel MTA y Commins. Además, el proveedor de motores diésel Commins mejoró sus productos (partes de motores diésel) durante el año 2023, lo que redujo las fallas de motores diésel Q5P60.

## 3.3 Validación Económica

La evaluación económica de la viabilidad del reemplazo de motores diésel Commins QSK 60 por motores diésel MTA 16T4000 en la flota de volquetes 930E se realiza a continuación con el objetivo de aumentar la disponibilidad y reducir los costos de mantenimiento. Se evaluará el motor diésel en función de los gastos de mantenimiento preventivo, correctivo, combustible y disponibilidad..

### 3.3.1 Mantenimiento Preventivo

El motor diésel MTA tiene una vida útil de operación de 60,000 horas y tiene un costo de mantenimiento anual de \$290,358, según la Tabla 10.

Tabla 10 Costos de mantenimiento preventivo de motor diésel MTA

MTA (60,000 HRS)					
TIPO	FRECUENCIA (HRS)	CANTIDAD	COSTO UNIT	COSTO TOTAL	
W2	300	199	\$ 832	\$ 165,568	
W3	2500	16	\$ 800	\$ 12,800	
2W4	7500	4	\$ 84,674	\$ 338,696	
W6	15000	3	\$ 393,171	\$ 1,179,513	
				<b>\$ 1,696,577</b>	
LUCRO CESANTE (COSTO IMPRODUCTIVO) POR MANTENIMIENTO					
TIPO	TIEMPO (HRS)	CANTIDAD	TIEMPO TOTAL	COSTO X HORA	COSTO TOTAL
W2	4	199	796	\$ 646	\$ 514,216

W3	4	16	64	\$ 646	\$ 41,344
2W4	16	4	64	\$ 646	\$ 41,344
W6	48	3	144	\$ 646	\$ 93,024
					<b>\$ 689,928</b>
<b>COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO</b>				<b>\$ 2,386,505</b>	
<b>COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO \$</b>				<b>\$ 290,358</b>	

*Nota:* Elaboración propia.

Los costos de mantenimiento preventivo del motor diésel Commins se muestran en la Tabla 11, y el motor tiene una vida útil de 72,000 horas de operación y un costo de mantenimiento anual de \$212,804.

Tabla 11 Costos de mantenimiento preventivo de motor diésel Commins

<b>COMMINS (72,000 HRS)</b>					
<b>TIPO</b>	<b>FRECUENCIA (HRS)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNIT</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	
P1	500	144	\$ 736	\$ 105,984	
P2	4500	8	\$ 5,150	\$ 41,196	
P3	9000	4	\$ 42,279	\$ 169,115	
P4	18000	3	\$ 404,705	\$ 1,214,115	
				<b>\$ 1,530,410</b>	
<b>LUCRO CESANTE (COSTO IMPRODUCTIVO) POR MANTENIMIENTO</b>					
<b>TIPO</b>	<b>TIEMPO (HRS)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>COSTO X HORA</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
P1	4	144	576	\$ 646	\$ 372,096
P2	12	8	96	\$ 646	\$ 62,016
P3	16	4	64	\$ 646	\$ 41,344
P4	48	3	144	\$ 646	\$ 93,024
					<b>\$ 568,480</b>
<b>COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO</b>			<b>\$ 2,098,890</b>		
<b>COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO \$</b>			<b>\$ 212,804</b>		

*Nota:* Elaboración propia.

El motor diésel Commins tiene un costo anual estimado de \$ 212,804, mientras que el motor diésel MTA tiene un costo anual estimado de \$ 290,358. Esto se debe principalmente a que los motores diésel MTA solo requieren mantenimiento cada 300 horas, mientras que los motores diésel Commins requieren mantenimiento cada 500 horas.

### 3.3.2 Mantenimiento Correctivo

La Tabla 12 muestra los costos de mantenimiento correctivo para los 15 volquetes de Flota 930E por motor diésel extraídos del sistema SAP que utiliza la empresa del año 2023. Para determinar el costo del mantenimiento correctivo para los volquetes VQC104 y VQC108, se consideró el uso de motores diésel Commins. Debido a que estos equipos eran los últimos en la flota, el costo de reparación de motores diésel Commins fue más alto que el de motores diésel MTA, según la revisión de costos.

Tabla 12 *Costos de mantenimiento correctivo por motor diésel*

<b>\$/HR C</b>	<b>ORRECTIVO 2017 - DATA SAP</b>	
VQC100	MTA	\$ 5.46
VQC101	MTA	\$ 0.82
VQC102	COMMINS	\$ 0.00
VQC103	COMMINS	\$ 8.62
VQC104	COMMINS	\$ 5.41
VQC105	MTA	\$ 5.99
VQC106	MTA	\$ 3.18
VQC107	COMMINS	\$ 1.01
VQC108	COMMINS	\$ 19.74
VQC109	COMMINS	\$ 1.81
VQC110	MTA	\$ 0.67
VQC111	COMMINS	\$ 2.43
VQC112	MTA	\$ 2.99
VQC113	MTA	\$ 1.98
VQC114	COMMINS	\$ 0.75

*Nota:* Elaboración propia.

El costo promedio por hora de mantenimiento correctivo del motor diésel para la flota de Volquetes 930E es de \$3.01 para MTA y \$4.97 para Commins, según la Tabla 13. Para calcular los costos anuales, se convierte el promedio por hora de cada motor diésel cada año. El mantenimiento correctivo anual para los motores MTA cuesta \$ 26,276, mientras que los motores Commins cuestan \$ 43,188. Esta diferencia en los costos de mantenimiento correctivo por año es el resultado de las fallas más comunes en los motores diésel Commins.

Tabla 13 Resumen de costos de mantenimiento correctivo por año

<b>Correctivo</b>		
	<b>MTA</b>	<b>COMMINS</b>
<b>\$/HR</b>	\$ 3.01	\$ 4.97
<b>\$/HR ANUAL</b>	<b>\$ 26,276.57</b>	<b>\$ 43,188.33</b>

*Nota:* Elaboración propia.

### 3.3.3 Combustible

La Tabla 14 muestra el costo de combustible anual por tipo de motor diésel Commins y MTA, basándose en el consumo promedio de galones por hora de los 15 volquetes de la flota 930E en 2023. El costo anual de abastecimiento de combustible para los motores diésel MTA es de \$909,171, mientras que el costo de abastecimiento de combustible para los motores diésel Commins es de \$988,151

Tabla 14 *Costos de combustible por motor diésel*

<b>COMBUSTIBLE</b>		
	<b>MTA</b>	<b>COMMINS</b>
VIDA MODI (HRS)	60000	72000
VIDA MODI (AÑOS)	8	10
GAL / HR	55.60	60.43
GAL	3,336,000.00	4,350,960.00
\$/ GAL	2.24	2.24
\$	\$ 7,472,640.00	\$ 9,746,150.40
<b>COSTO ANUAL EN COMBUSTIBLE</b>	<b>\$ 909,171.20</b>	<b>\$ 988,151.36</b>

*Nota:* Elaboración propia.

### 3.2.4 Disponibilidad

El costo de oportunidad se genera por una mayor disponibilidad, lo que significa más horas operativas del equipo. En Flota de Volquetes 930E, los motores diésel MTA son más disponibles, con un 99,51%, en comparación con los motores diésel Commins, lo que resulta en un beneficio estimado anual de 20,304 dólares para los motores diésel MTA porque tienen el equipo más tiempo operativo.

La Tabla 15 muestra que los motores diésel MTA tienen una disponibilidad del 99,51 % mientras que los motores diésel Commins tienen una disponibilidad del 99,15 %. Esta diferencia hace que el motor diésel MTA tenga 32 horas de operación adicionales por volquete, lo que aumenta las horas de operación y genera un beneficio anual de 20,304 dólares.

Tabla 15 *Costo por disponibilidad de motor diésel*

<b>DISPONIBILIDAD</b>		
	<b>MTA</b>	<b>COMMINS</b>
(A) (X EQUIP) anual modi	99.51%	99.15%
HR DISP ANUAL	8717	8685
\$ INCREMENTO ANUAL	\$ 5,631,119	\$ 5,610,815
DIFERENCIA POR EQUIPO (X MAYOR DISPONIBILIDAD)	\$ 20,304	
* Costo 930e 2017 - Op. Mina: \$ 646 / hr		

*Nota:* Elaboración propia.

### 3.2.5 Flujo de caja económico

La Tabla 16 muestra el flujo de caja y la evaluación económica de todos los costos relacionados con el motor diésel mencionado anteriormente. El motor diésel MTA de 60,000 horas de vida útil y una inversión de \$585,000 tiene un flujo de evaluación de 8 años,

mientras que el motor diésel Commins de 72,000 horas de vida útil y una inversión de \$560,000 tiene un flujo de evaluación de 10 años.

Tabla 16 *Evaluación económica*

MTA	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8		
INVERSION	\$ 585,000										
GASTOS (MANTTO + COMB)		\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529		
PRODUCTIVITY											
CORRECTIVO		\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277		
REAL OP		\$ 1,225,806	\$ 1,225,806	\$ 1,225,806	\$ 1,225,806	\$ 1,225,806	\$ 1,225,806	\$ 1,225,806	\$ 1,225,806		
TMAR	10%										
VAN	\$ 7,124,584										
CAE COSTO ANUAL EQUIVALENTE	\$ 1,311,748										
COMMINS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INVERSION	\$ 560,000										
GASTOS (MANTTO + COMB)		\$1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955
PRODUCTIVITY											
CORRECTIVO		\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188
REAL OP		\$ 1,244,144	\$ 1,244,144	\$ 1,244,144	\$ 1,244,144	\$ 1,244,144	\$ 1,244,144	\$ 1,244,144	\$ 1,244,144	\$ 1,244,144	\$ 1,244,144
TMAR	10%										
VAN	\$ 8,204,725										
CAE COSTO ANUAL EQUIVALENTE	\$ 1,346,383										
RESUMEN											
CAE COSTO ANUAL EQUIVALENTE COMMINS	\$ 1,346,383										
CAE COSTO ANUAL EQUIVALENTE MTA	\$ 1,311,748										
AHORRO ANUAL MTA (INV + COSTO MANTTO Y COMB)	\$ 34,636										
INCREMENTO DISP ANUAL	\$ 20,304										
AHORRO ANUAL 1 EQUIPO	\$ 54,940										
AHORRO ANUAL 9 EQUIPOS	\$ 494,457										

El porcentaje del 10 % se utiliza como tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) para la evaluación económica. La empresa minera utiliza este porcentaje para evaluar los proyectos de inversión. Finalmente, según la Tabla 15 de la evaluación económica de inversión, mantenimiento y combustible de ambos motores diésel, los gastos de inversión, mantenimiento y combustible en la vida útil de un motor diésel son más bajos en MTA, lo que resulta en un valor actual neto VAN de costos de \$7124,584. En comparación con el valor actual neto VAN de \$ 8,204,725 del motor diésel Commins

Es importante mencionar que, para la evaluación de proyectos con diferentes períodos de tiempo, como el trabajo de investigación actual, la determinación del valor actual neto VAN de los costos no es el valor determinante. Esto se debe a que este valor es un valor global para cada motor diésel y, como se ha demostrado, tienen diferentes periodos de vida útil. Para este caso, el valor que determinará la factibilidad del proyecto es el Costo Anual Equivalente (CAE), que es solo un valor que trae al presente todos los costos del motor diésel y los vuelve unitario, con estos valores unitarios de cada motor si es posible realizar una comparación económica.

. Para el trabajo de suficiencia profesional actual, la diferencia de CAE (costo anual equivalente) es de \$ 34,636, más el aumento por disponibilidad de motor de \$ 20,304. Esto

significa que usar un motor diésel MTA por un año ahorra \$ 54,940 y usar nueve motores diésel por un año ahorra \$ 494,457.

Como resultado, es posible eliminar y instalar un motor diésel MTA modelo 16T4000 en la Flota de Volquetes 930E de la mina 2 para aumentar la disponibilidad y, por lo tanto, reducir los costos de mantenimiento.

## CAPÍTULO IV

### REFLEXIÓN CRÍTICA DE LA EXPERIENCIA

#### 4.1. Análisis crítico de resultados.

La experiencia de este proyecto me ha ayudado a mejorar mis conocimientos técnicos sobre el mantenimiento de maquinaria pesada para proyectos de mantenimiento y a fortalecer mis habilidades en sistemas de automatización.

Los directores e ingenieros de la mina necesitaban una solución óptima tanto en términos económicos como técnicos, ya que buscaban una solución que permitiera tener la maquinaria en funcionamiento completo y tener el control total del proceso.

He aprendido de varias personas a lo largo de los años que no creen en el mantenimiento predictivo, ya sea por falta de formación, mala interpretación de los analistas o porque el análisis predictivo les ha costado mucho tiempo y genera más trabajo. Además, he tenido que escuchar a los jefes de mantenimiento que se enfocan en tareas preventivas para evitar ser reconocidos por la jefatura de área, ya que estas tareas suelen ser silenciosas y no afectan los resultados del mantenimiento.

Se ha aprendido una lección de la transición del mantenimiento predictivo al enfocarse en las tareas que afectan significativamente los resultados del mantenimiento. Por ejemplo, una vez me llamaron para asesorar a un par de técnicos sobre la reparación que debían realizar a un ventilador. Después de haberle hecho todo lo posible (cambio de correas, cambio de rodamientos, balanceo, alineación entre poleas) y los niveles de vibración no habían mejorado, el problema real era una resonancia, es decir, la máquina vibraba demasiado porque estaba a una velocidad que la sobreexcitaba.

La lección que se dejó es que el jefe de mantenimiento debe concentrarse en lo que dice el "reporte predictivo" (en este caso utilizando la técnica de "análisis de vibraciones"), en lugar de intentar adivinar lo que tiene la máquina, ya que esto implica muchas horas de trabajo que al final no se recompensa. En mi opinión, las técnicas predictivas no solo permiten identificar situaciones inusuales con anticipación, sino que también mejoran la planificación de las tareas de mantenimiento, lo que resulta en una mejora en los resultados del departamento

Esto no solo se hace para mejorar las condiciones de producción, sino que también tiene un impacto en la seguridad de la planta, ya que se pueden evitar muchos desastres que involucren al ser humano, ya que una máquina que no cumpla con los requisitos puede romperse y causar hasta pérdidas humanas. Por lo tanto, la probabilidad de que ocurra una tragedia disminuye al intervenir las máquinas que están fuera de parámetros. Adicionalmente, una máquina con alta vibración puede disminuir el desempeño del personal que trabaja cerca de ella, causar lesiones,

interrupciones en la producción y una emergencia ambiental (más ahora que el tema del medio ambiente y los costos de multas es tan delicado).

Un ventilador que forma parte del sistema de filtrado ambiental, por ejemplo, si la contaminación de la planta se detiene, afectará al vecindario cercano.

Se concluye diciendo que ha sido una experiencia profesional exitosa de gran valor y crecimiento profesional, y también ha recibido el reconocimiento de los jefes y pares similares en la organización, siempre destacando el espíritu participativo y de líder nato que se inculca en las aulas universitarias.

## CAPÍTULO V CONCLUSIONES

- Se ha proporcionado una descripción de los objetivos generales y específicos, así como del marco teórico utilizado para llevar a cabo la propuesta de mejora para aumentar la disponibilidad de la flota de volquetes de una empresa minera. Se realizó la búsqueda de información de calidad, mantenimiento y herramientas de calidad dentro del marco teórico. El trabajo de suficiencia profesional actual se basa en la implementación del método de solución de problemas de ocho pasos del ciclo Shewhart o del círculo de calidad PDCA, cuyo principal impulsor es Edward Deming
- Se examinó el estado actual de la empresa, en particular la flota de volquetes 930E, que está bajo la supervisión del taller de volquetes del área de mantenimiento mina. Se descubrieron la causa y los efectos del problema. Las bajas disponibilidades son el resultado de un problema de falla en los empaques de culata de los motores diésel Commins, modelo QSP60, que fue identificado por el proveedor. Y los cambios de motor diésel no programados de la marca Commins causaron una disminución en la disponibilidad de la flota de volquetes 930E en 2021 y 2022, así como una pérdida de \$872,746 por cambios de motor diésel por falla.
- La propuesta de solución se validó técnica y económicamente utilizando los ocho pasos del método de solución de problemas del ciclo de mejora continua PDCA. Se crearon los ocho pasos del método de solución de problemas durante la validación técnica. Se sabe que la disponibilidad de la flota de volquetes 930E fue del 88,39% en 2021 y del 89,95% en 2023. Este aumento del 1.56% en la disponibilidad equivale a 2,050 horas más de uso de las operaciones mineras, lo que resulta en números de producción más altos.
- En la validación económica, el motor diésel MTA y Commins evaluó los costos de mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, combustible, disponibilidad y costo de adquisición. Finalmente, el uso del motor diésel MTA reduce los costos de inversión, mantenimiento y combustible durante toda la vida útil del motor diésel, lo que resulta en un valor neto de valor de inversión (VAN) de \$7124,584.
- n comparación con el valor neto VAN actual de \$ 8,204,725 de los costos del motor diésel Commins Y se realizó la evaluación del costo anual equivalente (CAE), que es una evaluación de costo anual unitario, porque el proyecto considera diferentes periodos de vida útil de motores diésel. Se descubrió que el motor diésel MTA instalado en la flota de volquetes 930E proporciona un ahorro anual de \$ 54,940 por uso por volquete, así como un ahorro anual de \$ 494,457 por uso en los 09 volquetes. Por lo tanto, la propuesta del trabajo de suficiencia profesional actual de reemplazar el motor diésel Commins por el motor diésel MTA para mejorar la disponibilidad de la flota de volquetes de una empresa minera es válida.

## **CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES**

- Las organizaciones deben aceptar el desarrollo de nuevos componentes para reemplazar los existentes en los equipos de las operaciones mineras para lograr mayores números de producción a bajo costo de utilización y generar mayor valor para los accionistas con la respectiva evaluación técnica y económica.
- En las organizaciones mineras actuales, existe un conflicto constante entre las áreas de operaciones y mantenimiento, ya que cada una ofrece mayores beneficios para su lado. El trabajo de suficiencia profesional actual relaciona las dos áreas para desarrollar un proyecto que mejore sus procesos, tanto en disponibilidad como en costos de mantenimiento
- Para elaborar evaluaciones económicas de proyectos con diferentes periodos de vida útil o flujos de efectivo, se utiliza el CAE (costo anual equivalente), que compara los costos unitarios por año de ambos proyectos y ayuda a tomar una decisión acertada. Si ambos proyectos tienen el mismo periodo de vida útil, el valor actual neto (VAN) es válido.

## REFERENCIAS

- Acevedo Núñez, O., & Parodi Herrera, V. P. (2004). Mejoramiento del sistema administrativo y operativo de la empresa "Lubricantes y Llantas" de la ciudad de Cartagena a través de la aplicación del método de análisis y solución de problemas (MASP).
- Andriani, Walter (2006). El valor del mantenimiento. *Economista*. (Consulta: 15 de noviembre de 2019) (<http://search.proquest.com/docview/336461373?accountid=43860>)
- Arizaca Avalos, A. (2016). Inversiones mineras, conflictos sociales y desarrollo humano sostenible en el Perú 2001 - 2015.
- Ávila, M. A. Innovación de proceso y de gestión en un sistema de gestión de la calidad para una industria de servicios Autor (es).
- Baca, E. (2013). Estudio sobre marco normativo minero en Perú. *Revista electrónica Grupo Propuestas Ciudadana*.
- Baranidharan, K. (2012) Total Productive Maintenance. Sri Sairam Institute of Technology. (Consulta: 22 de marzo de 2019) (<http://www.sairamit.edu.in/>)
- Blázquez, Alberto (2013) Un modelo de pensamiento estratégico para favorecer la gestión del cambio en las organizaciones. *Ad-Minister* no. 23: 9-24. (Consulta: 15 de noviembre de 2019) (Business Source Complete, EBSCO).
- Batalla Medina, M. A. (2011). Optimización de procesos aplicando la mejora continua en una operación de minería no metálica.
- Barrio, J. F. V., Fraile, F. G., & Monzón, M. T. (1997). Las siete nuevas herramientas para la mejora de la calidad. FC Editorial
- Cadenas Polanco, B. G., & Loayza Melgar, A. C. (2019). Efecto de las exportaciones mineras en el producto bruto interno del Perú 1995-2018.
- Carcel, Carrasco; Francisco, Javier y Roldan, Carlos (2013). Principios básicos de la Gestión del Conocimiento y su aplicación a la empresa industrial en sus actividades tácticas de mantenimiento y explotación operativa: Un estudio cualitativo. *Intangible Capital* 9, no. 1: 91-125. (Consulta: 15 de noviembre de 2019)
- Carro, R., & González Gómez, D. A. (2012). Administración de la calidad total.
- Coetzee, Jasper (1997) Maintenance. South Africa: Maintenance Publishers Ltd.
- Correa, A., Medina, P., & Cruz, E. (2011). Identificación y eliminación de generadores de baja confiabilidad en la captura de datos de un sistema MES en una empresa de alimentos en el Valle del Cauca. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 8(3), 91-102.