



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**“PROCESO DE MANTENIMIENTO DE CAMIONES  
PESADOS DE ACARREO DE MINERAL, PARA MEJORAR  
LA DISPONIBILIDAD EN LA SOCIEDAD MINERA CERRO  
VERDE”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
FERNANDO ARNULFO RIVERO DÍAZ**

**ASESOR  
MG. ING. ROGELIO ALEXSANDER LOPEZ RODAS**

**LIMA – PERÚ, FEBRERO 2022**



## **DEDICATORIA**

A la tenacidad y disciplina impresa por mi difunto padre Laureano.

A la paciencia y determinación de mi querida madre Martha.

Al amor y ternura incondicionales de mi esposa Ana, así como su constante soporte.

A la inspiración que me infunden mis adorados hijos Betsy y Fernando por quienes la perseverancia es un hábito y las mejores acciones y comportamiento fluyen en todo momento.

Y a mi mejor equipo de trabajo con quienes invierto tiempo, con devolución valiosa en sendas conversaciones sobre aspectos técnicos, éticos y de quienes siempre he podido recibir los mejores consejos, mis 5 hermanos: César, Alfredo, Carlos, Ricardo y Helard.

A mi querida ciudad Arequipa y a mi entrañable Perú, que siga surgiendo a pesar de todo.





## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por permitirme estar hoy aquí, a mi familia en general y a todos con quienes tuve la oportunidad de interactuar a lo largo de mi vida, los concejos de mis padres, abuelos y hermanos, la gran muestra de optimismo y apoyo que me brindó siempre mi querida esposa, a los equipos de trabajo con quienes he podido relacionarme desde los inicios de mi carrera, personas que hoy ya no veo a menudo, pero que por su gran aporte recuerdo con mucho agradecimiento.

A mis recordados profesores del colegio, instituto y Universidad Alas Peruanas, compañeros de clases, equipos de liderazgo con quienes actualmente trabajo.

A las empresas que me emplearon por haberme dado la oportunidad de formarme y desarrollar una carrera profesional con la más alta preparación técnica, pero sobre todo por la formación y sensibilización de realizar el trabajo de manera segura y con el más alto nivel de respeto por el entorno.





## INTRODUCCIÓN

La minería representa hoy en día una de las actividades con mayor impacto económico y de desarrollo social en el Perú. 589 unidades mineras se encuentran en explotación por más de 80 empresas procedentes en su mayoría de Canadá, Australia, Inglaterra, China y Estados Unidos de Norteamérica. Estas empresas mantienen en conjunto una cartera de proyectos de inversión millonaria para los siguientes años. Hoy en día, el Perú se encuentra entre los principales productores mundiales de cobre, plomo, zinc, estaño, plata y oro.

Las actividades de extracción cuyo desarrollo constituyen el soporte para la mayor parte de la industria nacional manufacturera y para la joyería del mundo, son actividades con vínculos financieros y medio ambientales. La cotización de los minerales ha determinado la evolución de las bolsas mundiales en éstos últimos años.

La unidad minera Cerro Verde situada en la Ciudad de Arequipa al sur del Perú, es actualmente operada por la corporación Freeport – McMoRan Copper & Gold Inc.

Uno de los más grandes desafíos en medio de un mercado creciente y exigente, es lograr la eficiencia en los procesos con el más alto nivel de calidad y al más bajo costo. En Sociedad Minera Cerro Verde, existen varios procesos que en conjunto impulsan la producción de cátodos y concentrado de cobre que luego se exportan. Uno de los procesos que está ligado a la extracción de manera directa, es el mantenimiento de los equipos de acarreo de mineral, con cerca de 150 camiones pesados de gran capacidad de carga, el logro de los KPI (Key Performance Indicator) para conseguir la eficiencia deseada, es un reto que demanda de un trabajo de coordinación entre los equipos de planificación y ejecución con sólidos conocimientos, alta experiencia y la mejor actitud, así mismo, deseables cualidades de liderazgo con decisiones que apunten alto, para mantener el mejor margen dentro del mercado.

Entonces, las personas dentro de las áreas de mantenimiento deben distinguirse por lo mencionado, pero fundamentalmente por realizar el mantenimiento de los equipos con el más alto compromiso con la seguridad, el respeto por el entorno y la apreciación por la bio diversidad.





## RESUMEN

En el presente trabajo: “Proceso de mantenimiento de camiones pesados de acarreo de mineral, para mejorar la disponibilidad en Sociedad Minera Cerro Verde” se mostrará las oportunidades existentes en el proceso que ayuden a mejorar la disponibilidad de los equipos de acarreo para poder de manera directa generar un impacto positivo en la productividad en Sociedad Minera Cerro Verde.

Con esa finalidad, se ha desarrollado un análisis minucioso de los subprocesos existentes para identificar oportunidades como: mejorar los tiempos de mantenimiento de los camiones de acarreo de mineral y mejorar la productividad. Estos análisis llevarán a planes de acción que darán los aportes en disponibilidad y productividad, mejorando el uso de los activos e impactando de manera directa y positiva la economía de la empresa.

Basados en el libro de Gestión de Mantenimiento “*Performance Metrics for Mobile Mining Equipment*” (Métricas de Rendimiento para Equipos Móviles de Minería) donde una de las fábricas de maquinaria pesada más grandes y prestigiosas del planeta, recoge y transmite de manera global a todos sus clientes recomendaciones y métricas para la medición del rendimiento de los equipos y la gestión de mantenimiento, el presente trabajo ha alineado su esfuerzo en la consecución de logros de objetivos y metas de mantenimiento de clase mundial.

El aporte del presente trabajo centra sus objetivos en reducir los tiempos de parada de equipos en actividades altamente frecuentes, busca eliminar los tiempos vacíos con baja inversión y altos resultados en cuanto a los objetivos de disponibilidad y mejora de productividad planteados. Por otro lado, mejoran y refuerzan las tácticas que soportan a las estrategias del área haciendo sostenible el proceso de mantenimiento de camiones de acarreo de mineral.





## ABSTRACT

In the present job: “maintenance process for heavy haul trucks of mineral hauling to enhance the availability in Sociedad Minera Cerro Verde” will shows existing opportunities in the processes which helps to enhance the availability of hauling equipment to generate in the most direct way a positive impact in the productivity at Sociedad Minera Cerro Verde.

For this purpose, an analysis in depth of the existing sub processes was developed to identify opportunities as: Enhance maintenance total times for mineral haul trucks and the productivity. These analysis conduct to action plans which will improve the availability and productivity, enhancing the actives utilization and impacting directly and positive the enterprise economy.

Based on the book of maintenance management “*Performance Metrics for Mobile Mining Equipment*” where one of the biggest and famous world enterprises of factory of heavy equipment, collect and share with all his clients around the world recommendations and metrics to measure the equipment performance and maintenance management, the present job aligned its effort to achieve goals and objectives to reach a maintenance of world class.

The contribution of the present job has centered its objectives to reduce the detention times of equipment in the most frequent activities, looks for eliminate the empty times with low investment and high results regarding to the set availability and productivity. In the other hand, enhance and reinforce the tactics which support the strategies of the process making sustainable the process of mineral haul trucks maintenance.





## TABLA DE CONTENIDOS

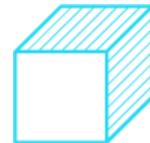
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>III</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....	1
1.2. PERFIL DE LA EMPRESA.....	3
1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA .....	4
1.3.1. Misión .....	4
1.3.2. Visión .....	4
1.3.3. Objetivo.....	4
1.4. ORGANIZACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	5
1.5. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA EMPRESA.....	7
1.5.1. Aspecto local y regional .....	7
1.5.2. Aspecto interno .....	8
1.5.3. Aspecto Internacional .....	9
1.5.4. Análisis FODA integrado.....	10





<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>13</b>
<b>REALIDAD PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>13</b>
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	13
2.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA .....	17
2.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
2.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	22
2.4.1. Objetivo general.....	22
2.4.2. Objetivos específicos .....	22
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>25</b>
<b>DESARROLLO DEL PROYECTO</b> .....	<b>25</b>
3.1. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO.....	25
3.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.3. BASES TEÓRICAS .....	32
3.4. BASES NORMATIVAS .....	36
3.5. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	37
3.5.1. Análisis de oportunidades de mejorar el tiempo .....	37
3.5.2. Formulación de costos para el alcance del plan .....	39
3.5.3. Demoras en la llegada de los repuestos desde almacenes....	39
3.5.4. Demoras en las inspecciones Pre-PM: .....	40
3.5.5. Demoras generadas en los cambios de turno.....	41
3.6. COSTOS DEL PROYECTO.....	42
3.7. CRONOGRAMA DEL PROYECTO.....	45
3.8. CONCLUSIONES .....	48
3.9. RECOMENDACIONES .....	50
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>52</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>52</b>





<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>53</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>55</b>





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mina Cerro Verde, Imagen del Portal Institucional .....	3
<b>Figura 2</b> Diagrama Corporativo SMCV .....	5
<b>Figura 3</b> Organigrama del Área de Mantenimiento Mina .....	6
<b>Figura 4</b> Demoras en el Proceso de Mantenimiento de Equipos de Acarreo .....	11
<b>Figura 5</b> Demoras en el Proceso de Mantenimiento.....	16
<b>Figura 6</b> A mayor tiempo de producción; Mayor beneficio.....	24
<b>Figura 7</b> Ciclo de Deming - Mejora Continua.....	36
<b>Figura 8</b> Costos Asumidos por Cerro Verde Antes del Servicio Delivery .....	40





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Identificación de Oportunidades en Proceso de Mantenimiento .....	12
<b>Tabla 2</b> Cálculo de Cantidad de PM por Día.....	26
<b>Tabla 3</b> Frecuencia de Cambio de Componentes Mayores por PCR .....	27
<b>Tabla 4</b> Estadísticas de Desempeño Camiones Acarreo - Enero 2021 .....	30
<b>Tabla 5</b> “Performance Metrics for Mobile Mining Equipment” .....	34
<b>Tabla 6</b> Recomendaciones MTTR del Libro PMMME .....	35
<b>Tabla 7</b> Cuadro de Causas - Efectos y Planteamientos.....	38
<b>Tabla 8</b> Costos promedio de Mantenimiento y Producción.....	39
<b>Tabla 9</b> Costos por Demoras en Inspección Pre-PM.....	41
<b>Tabla 10</b> Demoras en Cambio de Turno del Personal – Muestra un Turno.....	42
<b>Tabla 11</b> Costos a Pagar a una Contratista por Servicio de Delivery .....	43
<b>Tabla 12</b> Costos por Implementación de Guardia de Enganche de Turnos un Mes	44
<b>Tabla 13</b> Costos antes de la Implementación de las Ideas de Mejora .....	44
<b>Tabla 14</b> Costos por Implementación de Ideas de Mejora.....	45
<b>Tabla 15</b> Gantt Para la Aplicación de Ideas de Mejora de Disponibilidad.....	47
<b>Tabla 16</b> Aportes en Disponibilidad y Producción.....	49





## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> Demoras en el Proceso .....	17
<b>Gráfico 2</b> Demoras en Cambio de Turno del Personal.....	18
<b>Gráfico 3</b> Demora por Inspección Pre-PM Flota Komatsu.....	19
<b>Gráfico 4</b> Demora por Inspección Pre-PM Flota Caterpillar .....	20
<b>Gráfico 5</b> KPI Gestión de Mantenimiento Camiones Acarreo - Enero 2021 .....	31
<b>Gráfico 6</b> Alcance del Servicio de Delivery a Otros Talleres .....	50





## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Check List de Inspección Pre-PM 1 de 1 .....	55
<b>Anexo 2</b> Check List de Inspección Pre-PM 1 de 2 .....	56
<b>Anexo 3</b> Check List de Inspección Pre-PM 1 de 3 .....	57
<b>Anexo 4</b> Check List de Inspección Pre-PM 1 de 4 .....	58
<b>Anexo 5</b> Check List de Inspección Pre-PM 1 de 5 .....	59
<b>Anexo 6</b> Check List de Inspección Pre-PM 1 de 6 .....	60
<b>Anexo 7</b> Formato de Ruta de Inspección Caterpillar .....	61
<b>Anexo 8</b> Medición Juego Pin Central.....	62
<b>Anexo 9</b> Evaluación Pin Arm Center .....	63
<b>Anexo 10</b> Formato de Backlog de Inspección Pre-PM .....	64
<b>Anexo 11</b> Formato de Backlog de Inspección Pre-PM Completado.....	65





## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES DE LA EMPRESA

#### 1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Cerro Verde tiene sus primeros registros de explotación en los años de 1868 a 1879, en 1917 Anaconda adquiere la concesión y ya en 1970 el gobierno peruano adquiere la concesión denominándola minero Perú, desde entonces se iniciaron trabajos de desarrollo con la construcción de la planta SX/EW inaugurándose el 20 de mayo de 1977 siendo además la primera de Sudamérica.

En 1993 junto con la privatización se crea Sociedad Minera Cerro Verde a cargo de la unidad de producción Cerro Verde.

En 1994 Cyprus Climax Metal Company adquiere Cerro Verde e invierte USD 240 millones para su expansión, en 1996 Buenaventura se convierte en accionista de Cerro Verde, ese mismo año se construye el PAD 4A para desarrollar el crecimiento del proceso de lixiviación. en 1998 se registran cátodos de cobre de 99.99% de pureza ante LME London Metal Exchange.

En 1999 Phelps Dodge adquiere Cyprus Climax Metals Co. y con ello, su participación en Cerro Verde.

Desde el año 2000 Cerro Verde comienza a negociar sus acciones en la bolsa de valores de Lima.

En el 2002 Cerro Verde se convirtió en la primera empresa minera en el Perú en certificar todas sus operaciones con ISO 14001.

En el 2004, Phelps Dodge aprueba la expansión por USD 850 millones y se inicia la construcción de la ampliación de sulfuros primarios y concentradora (C1) la cual fue inaugurada en el 2007

En el 2005 Sumitomo adquiere acciones y Buenaventura incrementa su participación en Cerro Verde en aumento de capital.





En 2007 Freeport McMoran adquiere Phelps Dodge y su participación en Cerro Verde a través de Cyprus Climax Co.

En 2008 se inicia estudio de factibilidad y EISA para la expansión de la unidad de producción que incluía, entre otros componentes, la concentradora 2 (C2)

En 2009 se registra la marca de los cátodos de Cerro Verde en la bolsa de valores de Shanghái.

En 2010 se inician talleres de información para la segunda expansión.

En 2012 se aprueba el EISA de la expansión de la unidad de producción Cerro Verde.

En 2013 se inicia la construcción de la expansión de la unidad de producción Cerro Verde e inicia la producción en 2015, la concentradora 2 (C2) produce su primer concentrado de cobre.

En 2016 se inaugura la expansión de la unidad de producción Cerro Verde.

En 2019 se inaugura el complejo de talleres de mantenimiento de equipos pesados siendo el más grande del mundo construido en una sola fase.

En el 2020 Cerro Verde rompe algunos mitos realizando el ensamblaje de una pala eléctrica P&H 4100 XPC AC con personal propio. Ese mismo año, FCX se adscribe a The Copper Mark





**Figura 1**

*Mina Cerro Verde, Imagen del Portal Institucional*



Fuente: (Cerro Verde, 2021)

## **1.2. PERFIL DE LA EMPRESA**

Cerro Verde es una empresa minera cuyo giro está enfocado en la producción de cátodos de cobre y concentrado de Cobre y Molibdeno.

- Produce el 18.2% de todo el cobre que produce el Perú.
- Produce el 27% del molibdeno del Perú.
- Genera de manera directa e indirecta más de 114 mil puestos de trabajo.
- Genera el 2% del PBI del Perú.
- Genera el 25.8% del PBI de Arequipa.





### **1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA**

#### **1.3.1. Misión**

Lograremos nuestra Misión a través de:

Excelencia en Seguridad y Medio Ambiente

Excelencia en las personas

Responsabilidad social y con grupos de interés

Excelencia Operacional

Gestión de costos

#### **1.3.2. Visión**

“Somos líderes de producción segura de cobre, haciendo de cada día nuestro mejor día”

#### **1.3.3. Objetivo**

Cerro Verde, tiene como principal objetivo, el hacer minería con responsabilidad ambiental y social.

Minería aliada a la agricultura, comprometida con el medio ambiente y que avanza hacia el desarrollo de la mano de todas sus comunidades.

Cerro Verde, sabe que la manera de lograrlo es trabajando de la mano con el gobierno regional, la sociedad civil y la población.

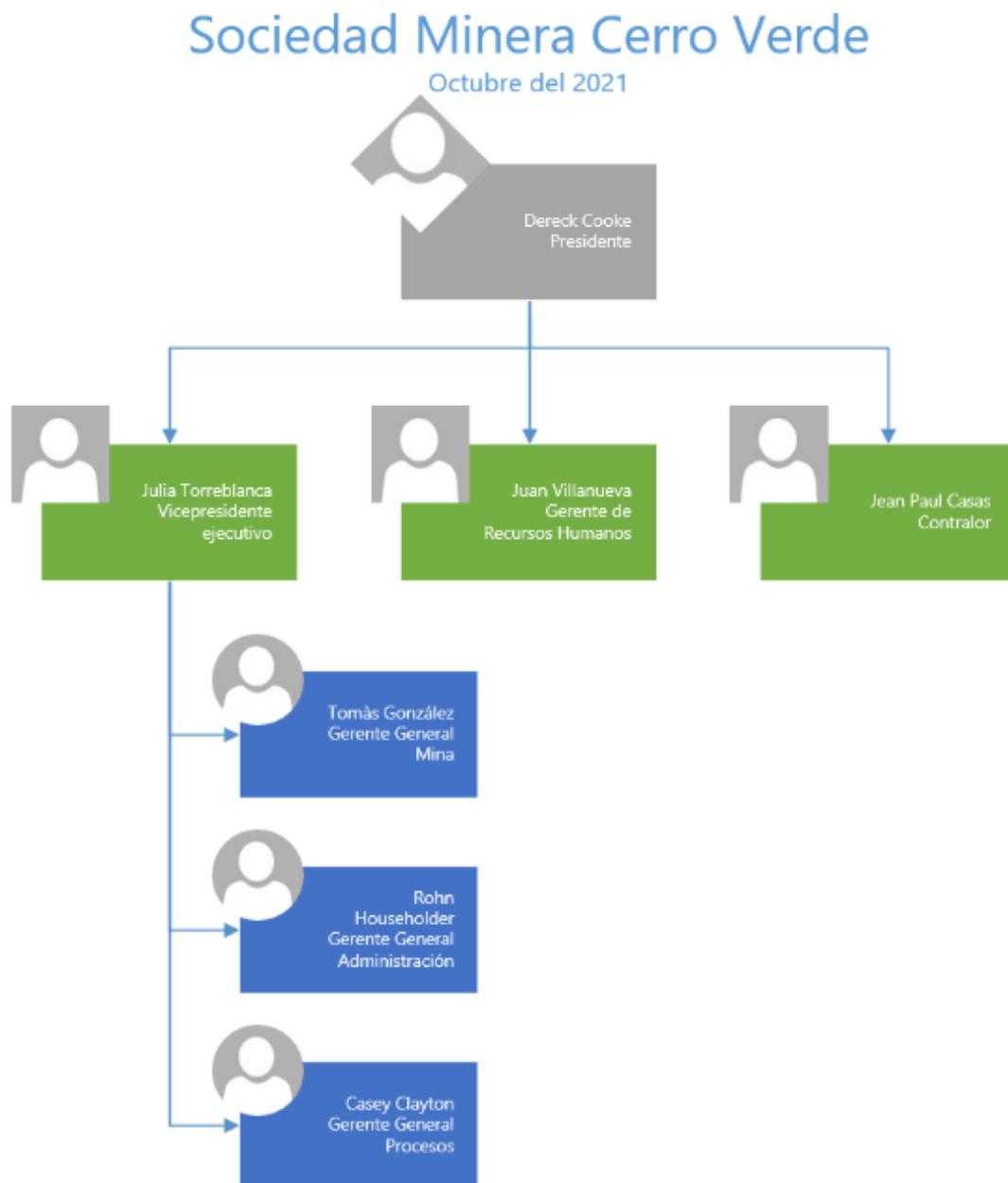




## 1.4. ORGANIZACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

**Figura 2**

*Diagrama Corporativo SMCV*



<sup>1</sup>Fuente: (Cerro Verde, 2021)

<sup>1</sup> La ilustración ha sido generada con los datos que el autor del TSP ha usado bajo criterio propio



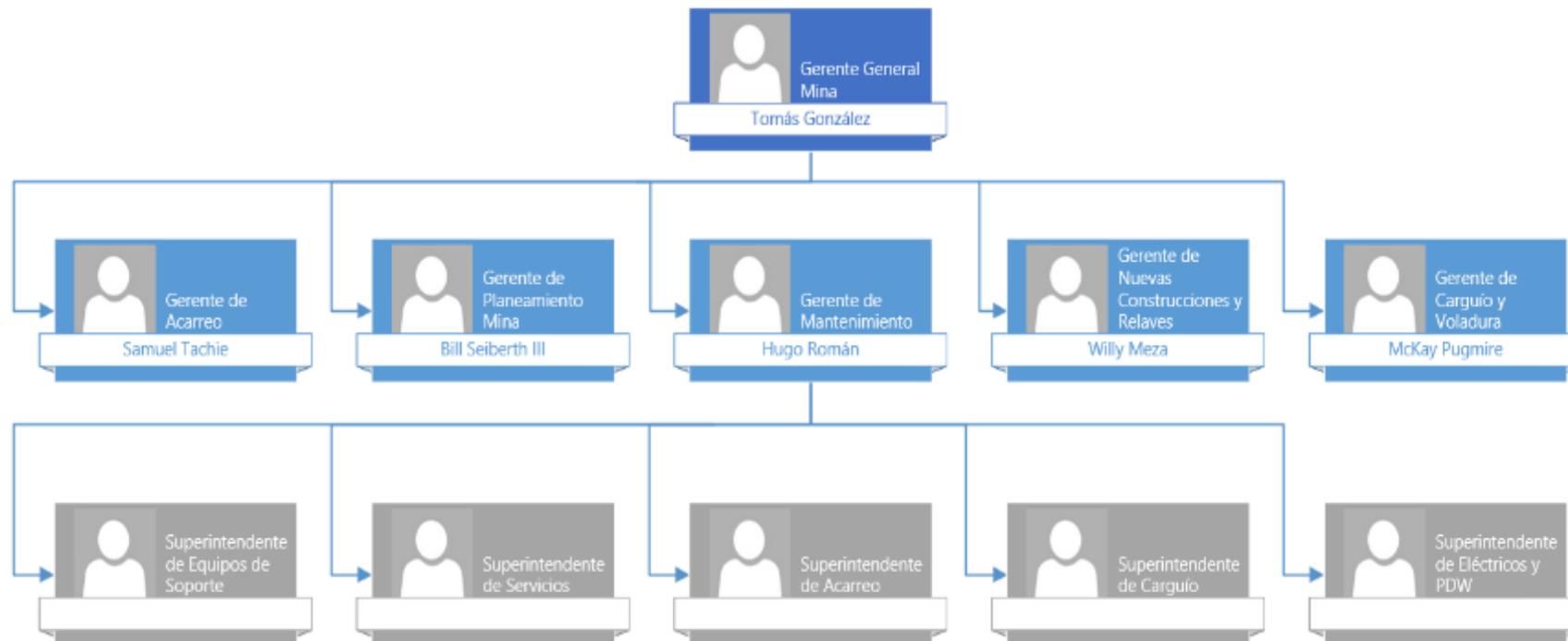


**Figura 3**

Organigrama del Área de Mantenimiento Mina

## Sociedad Minera Cerro Verde

Gerencia General Mina



<sup>2</sup>Fuente: (Cerro Verde, 2021)

<sup>2</sup> La ilustración ha sido generada con los datos que el autor del TSP ha usado bajo criterio propio





## **1.5. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA EMPRESA**

Cerro Verde es una operación minera que produce concentrado de cobre y molibdeno, así como cátodos de cobre que se exportan en su totalidad a Asia y Europa.

La operación Cerro Verde desde el 2007 y hasta la actualidad forma parte de las operaciones de FCX FREEPORT MCMORAN COPPER AND GOLD GLOBAL MINING que tiene además operaciones en Asia, África Y Europa.

### **1.5.1. Aspecto local y regional**

Está ubicada en la provincia, departamento y región Arequipa, al sur del Perú y al sur oeste de la ciudad de Arequipa, en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes.

Con más de 5000 trabajadores directos en la ciudad de Arequipa, genera un impacto social y económico en la región.

Comprende las áreas y poblaciones de los distritos de Yarabamba, Tiabaya, Uchumayo y La Joya en la provincia de Arequipa, cuenta además con operaciones de transporte del mineral desde la operación minera hasta el puerto de Matarani en la provincia de Islay, generando impacto también en el distrito y provincia del mismo nombre.

Para mantener la armonía con las áreas y poblaciones comprendidas, Cerro Verde ha establecido importantes canales de comunicación y trabajos participativos, así como colaborativos con las áreas de influencia, porque sabe que la mejor manera de lograr el éxito en las relaciones y el desarrollo de ambos, Cerro Verde y la comunidad de Arequipa es trabajando en equipo.

Algunas de las actividades de gran impacto realizadas para lograr la sostenibilidad se describen a continuación:

En el 2001 se firma el primer acuerdo para el cofinanciamiento de la represa de Pillones la cual fue inaugurada en el 2006.





En el 2002 Cerro Verde se convirtió en la primera empresa minera en el Perú en certificar todas sus operaciones con ISO 14001

En el 2006 se firma el acta por el desarrollo de Arequipa para el mejoramiento del sistema de agua potable y de tratamiento de aguas residuales.

En 2007 Cerro Verde firma programa minero de solidaridad con el pueblo, nace la asociación Cerro Verde.

En 2010 se inaugura la represa de Bamputañe, construida por Cerro Verde.

En 2011, autoridades, agricultores y líderes de Arequipa acuerdan que Cerro Verde financie y construya el sistema de tratamiento de aguas residuales la enlozada y que reúne 1 m<sup>3</sup>/s de agua tratada en promedio anual.

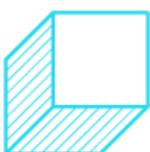
En 2012 se inaugura la planta Miguel de la Cuba Ibarra (La Tomilla) financiada por Cerro Verde, que suministra agua potable a 300000 pobladores de la ciudad de Arequipa.

En 2016 se inaugura el sistema de tratamiento de aguas residuales La Enlozada.

En 2017 se inaugura la carretera panamericana sur (AR115) construida por Cerro Verde y gestionada con el gobierno regional de Arequipa.

### **1.5.2. Aspecto interno**

Los yacimientos de mineral de cobre en Cerro Verde son bastante abundantes y aseguran producción hasta por 40 años más, sin embargo, el desafío que enfrenta la operación es la eficiencia ya que comparado con otras operaciones mineras que gozan de una ley de mineral superior al 0.7%, en el caso de Cerro Verde, esta ley ha ido cayendo en los últimos años desde 0.6% hasta 0.3% en el presente año.





Un reto para los equipos de liderazgo es mantener niveles de producción y eficiencia en el uso de los recursos, tales que aseguren la estabilidad de la operación compañía dentro de un mercado cada vez más competitivo. Asegurar el mejor costo de producción por libra de cobre demanda de planes, programas y controles altamente exigentes para lograr el mejor margen que lleve a la compañía a los objetivos aceptables para mantenerse en el mercado.

Esos son los desafíos de Cerro Verde, a los que se suman el mantener sólidos programas de salud y seguridad en el trabajo, así como una gestión de medio ambiente que satisfagan los requisitos legales locales y nacionales.

### **1.5.3. Aspecto Internacional**

Por otro lado, los objetivos implementados por organizaciones internacionales como ICMM, THE COPPER MARK, ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 y otros que debe mantener para seguir generando esa imagen y reputación ganados en todos los ámbitos a través de los años, además de permitirle colocar sus productos sin ninguna clase de restricción o penalidad, suman para que los esfuerzos de mantener los más altos estándares sigan siendo los pilares de una organización que se posiciona entre las operaciones de extracción de cobre más grandes del planeta.

Los costos y la producción son altamente importantes para la subsistencia de la empresa en el rubro, pero nunca tendrán precedencia sobre la seguridad y salud de los trabajadores, así como el cuidado y respeto por el entorno.

Cerro Verde se enrumba al futuro tomando y trabajando sobre los nuevos desafíos en un mundo que apunta alto hacia la preservación y mejoramiento del ecosistema.





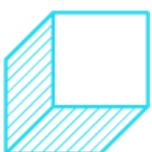
Para la lograr la eficiencia en sus operaciones, Cerro Verde establece planes y programas de trabajo que buscan las mejoras que sugieren los planteamientos hechos. Programas como INNOVA que busca la participación de todos los trabajadores a través de la generación e implementación de ideas de mejora, las cuales son registradas, evaluadas y calificadas dentro de categorías como reducción de costos, aporte a la seguridad en el trabajo, desarrollo sostenible y mejoras que aporten al desarrollo sustentable de nuestras comunidades vecinas. Por otro lado, las iniciativas de ahorro de costos y el soporte a los equipos AGILE igualmente difundidas en toda la operación, de la misma manera con participación de todos han logrado la mejora supuesta hasta lograr los objetivos necesarios para poder continuar creciendo de la mano con nuestros proveedores, las comunidades vecinas, la región y el país

En el caso del área de mantenimiento mina, se han identificado algunas oportunidades de mejora que, de ser concretadas, asegurarán la mejora en el proceso para reducir los tiempos de paradas de equipos, lo que luego se traducirá en mayor tiempo de trabajo de los equipos de acarreo de mineral, incrementado los niveles productivos y haciendo que la empresa continúe en senda hacia el éxito en sus operaciones.

El siguiente análisis FODA, se nos permite entender y conocer sobre esas oportunidades identificadas dentro del proceso de mantenimiento de camiones de acarreo de mineral, las cuales generan demoras que al ser abordadas y solucionadas, permitirán incrementar la disponibilidad de los camiones y consiguientemente la productividad ya que permitirá acarrear mayor cantidad de mineral.

#### **1.5.4. Análisis FODA integrado**

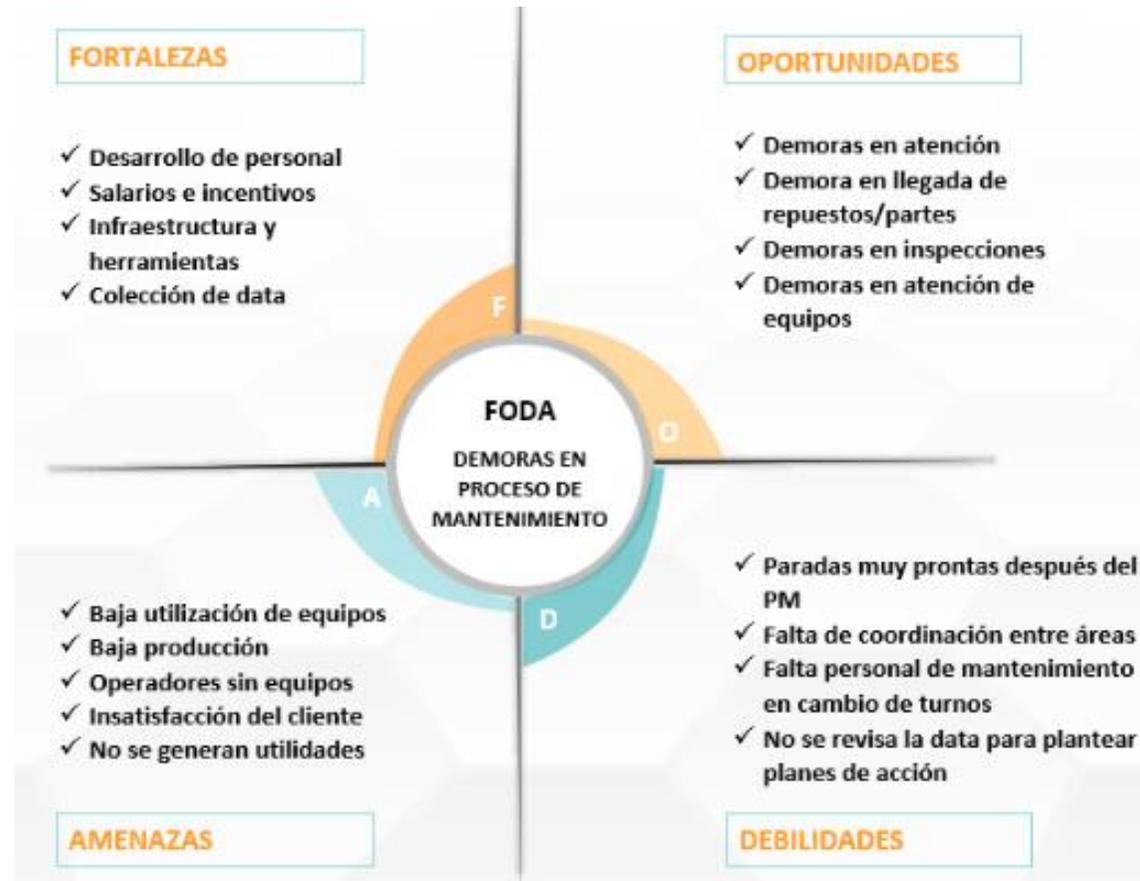
La siguiente matriz FODA de demoras en el proceso de mantenimiento de equipos de acarreo, se compone de la siguiente manera:





**Figura 4**

*Demoras en el Proceso de Mantenimiento de Equipos de Acarreo*



Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)





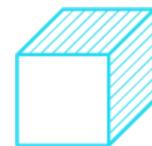
**Tabla 1**

*Identificación de Oportunidades en Proceso de Mantenimiento*

<b>MATRIZ FODA</b>		<b>FORTALEZAS</b>		<b>DEBILIDADES</b>	
		<b>F1</b>	Desarrollo de personal y apertura a la revisión de nuevas ideas	<b>D1</b>	Los equipos paran muy pronto después del PM
		<b>F2</b>	Salarios de acuerdo al promedio del mercado e incentivos económicos	<b>D2</b>	Planificación y Supervisión no tienen buena coordinación y comunicación
		<b>F3</b>	Infraestructura y herramientas de primera	<b>D3</b>	Falta de personal en los cambios de turno
		<b>F4</b>	Sólidos sistemas de colección de data	<b>D4</b>	No se revisa toda la data con detalle para identificar las oportunidades de mejora.
<b>OPORTUNIDADES</b>		<b>ESTRATEGIAS FO</b>		<b>ESTRATEGIAS DO</b>	
<b>O1</b>	Demoras de atención durante el cambio de turno	Revisar con el liderazgo la implementación de equipos de personas en sobre tiempo para el empalme entre las guardias entrante/saliente. Asignación de movilidades para el recojo de repuestos y evaluación de un contrato de delivery. Ajustar los tiempos de inspección Pre PM estableciendo objetivos y generar una hoja de ruta/Check List de inspección Pre-PM.		Con la revisión de la información, establecer top 10 para implementar acciones para las fallas más recurrentes, buscando contar con los recursos necesarios. Establecer mecanismos de comunicación entre las áreas de planeamiento y supervisión que aseguren la correcta coordinación y ejecución de los planes de acción.	
<b>O2</b>	Falta de facilidades para la llegada de repuestos partes				
<b>O3</b>	Demoras en atención en inspecciones Pre PM				
<b>O4</b>	Demoras en atención de equipos no programados				
<b>AMENAZAS</b>		<b>ESTRATEGIAS FA</b>		<b>ESTRATEGIAS DA</b>	
<b>A1</b>	Baja utilización de equipos por baja disponibilidad física	Establecimiento de programas de innovación con participación de todo el personal para coleccionar y evaluar ideas que lleven a mejorar los procesos.  Revisiones periódicas de la información analizada a fin de plantear planes de acción y/o monitoreo.  Establecer reuniones con operaciones a fin de mantener un canal de comunicación donde se expongan las acciones que mantenimiento realiza.		Con el personal con el mejor nivel de preparación, realizar charlas de revisión de casos de fallas recurrentes para mejorar la atención de los equipos. Definición de los mecanismos de acción por parte del liderazgo para mejorar la comunicación entre áreas. Sensibilizar al personal sobre el impacto de su trabajo sobre el proceso productivo, así como la satisfacción del cliente interno	
<b>A2</b>	No se completan los niveles de producción deseados				
<b>A3</b>	Sub aprovechamiento del personal de operaciones mina				
<b>A4</b>	Insatisfacción del cliente interno				
<b>A5</b>	Que no se generen utilidades para todos en la empresa				

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)





## CAPÍTULO II

### REALIDAD PROBLEMÁTICA

#### 2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Los equipos principales de minería comúnmente utilizados en el proceso de extracción de mineral, como las palas eléctricas y camiones de acarreo, sirven para el movimiento de mineral desde el tajo hasta las chancadoras, que representan el punto de inicio el proceso de transformación del material en las plantas de procesamiento de mineral concentrado, son claves para la producción de las operaciones mineras. Estos equipos, dependiendo del diseño, construcción y facilidades de la mina, pueden ser elegidos de diferentes marcas como Caterpillar, Komatsu, Liebherr, P&H, Atlas Copco, O&K, Hitachi, entre otros, contando con una gran variedad de diseños, aplicación de tecnología y principios funcionamiento. Para fines del presente trabajo, se ha seleccionado la flota de camiones de acarreo de mineral, que normalmente en toda operación minera, representan la mayor población de equipos de su tipo entre las diferentes flotas.

Una de las preocupaciones de las operaciones mineras es obtener la mejor disponibilidad física de los equipos para poder alcanzar las metas de producción, ya que, al tener disponibles los equipos en mayor tiempo, es posible hacer una buena utilización de ellos. En este punto se resalta que el presente trabajo, busca precisamente aportar en la mejora de la disponibilidad física, esto se debe a que busca reducir los tiempos de mantenimiento a través de la identificación y acción sobre los tiempo muertos o vacíos que, en la práctica suman horas por cada evento a cada parada de equipo.

La confiabilidad de los equipos es también altamente importante para hacer que los equipos puedan dar mayor facilidad al personal de operaciones en la configuración de las actividades diarias que se programan con anticipación y se confirman al inicio de cada día, se resalta que la calidad con que se ejecuta cada mantenimiento es fundamental para evitar la recurrencia en fallas y paradas de los camiones. Sin embargo, es importante que estos resultados de la gestión





sean obtenidos al mejor costo y para ello, se tienen indicadores que se afectan de manera negativa cuando ocurren fallas catastróficas intempestivas o no programadas, producto de un proceso de mantenimiento con oportunidades de mejora.

Las estrategias de mantenimiento genéricas recomendadas por los fabricantes no son aplicables en su totalidad en todas las operaciones mineras, debido a factores naturales o características geográficas, por lo será necesario considerar las condiciones propias de cada operación para establecer los procesos de mantenimiento óptimos que permitan lograr los KPI determinados a un costo adecuado. Un mejor costo genera un escenario donde la inversión en proyectos menores con aportes significativos como el presente, tengan un espacio para revisión y/o aprobación.

Un claro análisis de las principales razones que llevan a la prolongación de las detenciones por temas de mantenimiento de los equipos de producción nos lleva a la identificación de esas oportunidades que, traen como resultado extensión innecesaria del tiempo por paradas debidas a actividades de mantenimiento programado o no programado.

La frecuencia de mantenimientos establecida en las estrategias está basada en estadísticas productivas como horas operativas, horas de funcionamiento, toneladas movidas, kilómetros o millas recorridas, entre otros, que definen la programación y ejecución de las actividades principales, lo cual permitirá establecer una proyección de disponibilidad de equipos.

La oportunidad de mejora en el proceso de mantenimiento utilizando metodologías sencillas como la observación, medición, análisis y establecimiento de planes de acción para mejorar la disponibilidad de los equipos de acarreo de mineral de la compañía minera, se implementará por pasos siguiendo los lineamientos estandarizados para el análisis adecuado y todos aquellos aspectos necesarios para llevar a cabo esta investigación, que buscarán dar solución al problema planteado, utilizando tácticas de mantenimiento propias de la operación y usando modelos de estrategias





probadas con éxito bajo la experiencia laboral, las cuales se describirán dentro del marco teórico y se plantearán soluciones empleando herramientas de gestión para optimizar el desempeño del área de mantenimiento mina, finalmente se describirán las conclusiones haciendo una comparación teórica entre la estrategia planteada y el resultado de los periodos anteriores.

### **Diagrama de causa y efecto para identificar las oportunidades de mejora**

La información para la elaboración del diagrama ha sido obtenida de los registros de tiempos de demora en el proceso de mantenimiento en Cerro Verde.

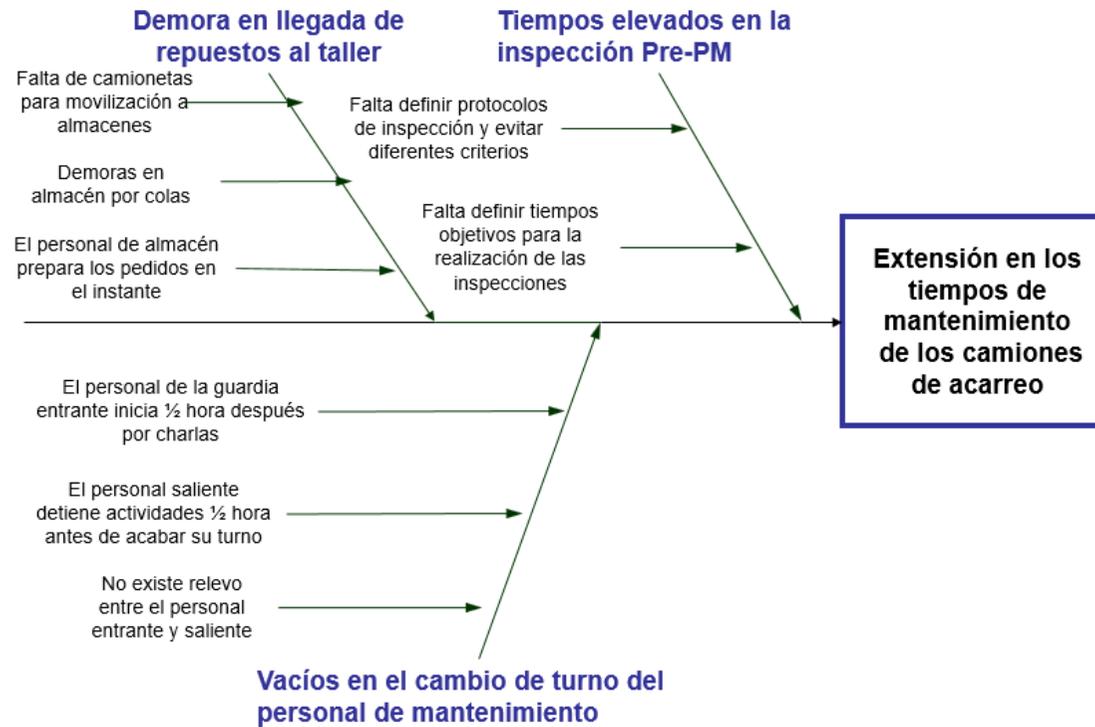




**Figura 5**

*Demoras en el Proceso de Mantenimiento*

**Causas de demora en el proceso de mantenimiento de camiones de acarreo**



<sup>3</sup> Fuente: (Cerro Verde, 2021)

<sup>3</sup> La ilustración ha sido generada con los datos de mantenimiento, el autor del TSP los ha usado bajo su criterio



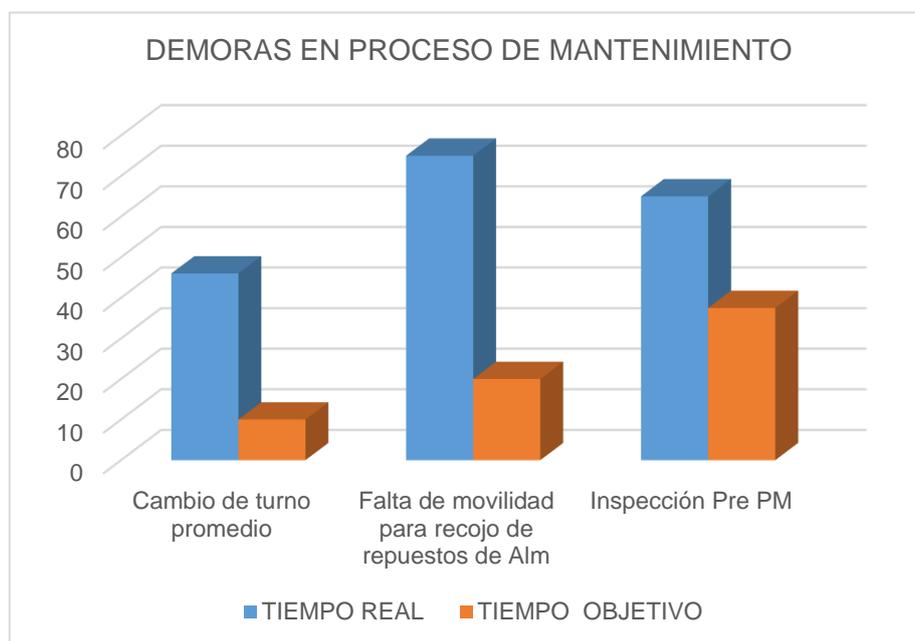


## 2.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Entre las oportunidades de mejora identificadas para reducir los tiempos de parada de los equipos, se ha tomado para el presente estudio los problemas identificados en el diagrama de causa y efecto previo, el cual postula que los equipos de trabajo deben utilizar esta herramienta para visualizar todas las posibles causas de un problema, concentrarse en la causa subyacente y anticipar las consecuencias con un análisis eficaz. (Miro, 2021)

Después del análisis de causa y efecto se pueden observar las causas que conducen a detenciones prolongadas de los camiones de acarreo en proceso de mantenimiento, entonces, representada de manera gráfica en el siguiente diagrama de Pareto, se puede observar los impactos de esas causas teniendo como referencia los tiempos objetivo para cada uno de los problemas en análisis:

**Gráfico 1**  
*Demoras en el Proceso*



<sup>4</sup>Fuente: (Rivero Díaz, 2021)

<sup>4</sup> La ilustración ha sido generada con los datos de mantenimiento, el autor del TSP los ha usado bajo su criterio para ilustrar de manera general la problemática que se aborda en el presente TSP.







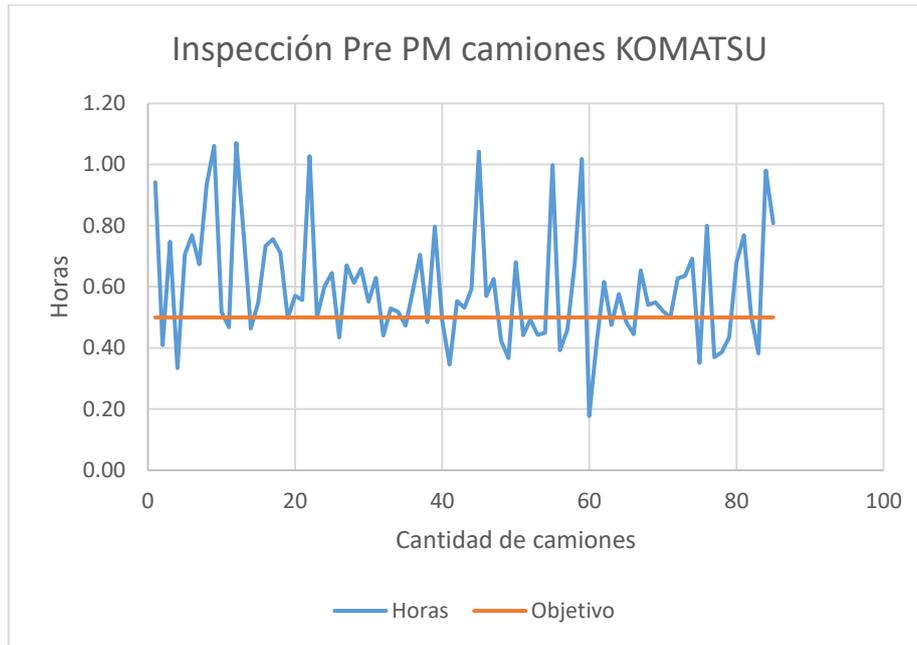
**Análisis del problema específico**

¿Cómo podemos reducir el tiempo total empleado por el personal de mantenimiento para la realización de las inspecciones Pre-PM?

**De la flota Komatsu:**

**Gráfico 3**

*Demora por Inspección Pre-PM Flota Komatsu*



<sup>6</sup>Fuente: (Rivero Díaz, 2021)

<sup>6</sup> La ilustración ha sido generada con los datos de mantenimiento, el autor del TSP los ha usado bajo su criterio. Data de demoras en las inspecciones de SMVC, reportes de SQL.

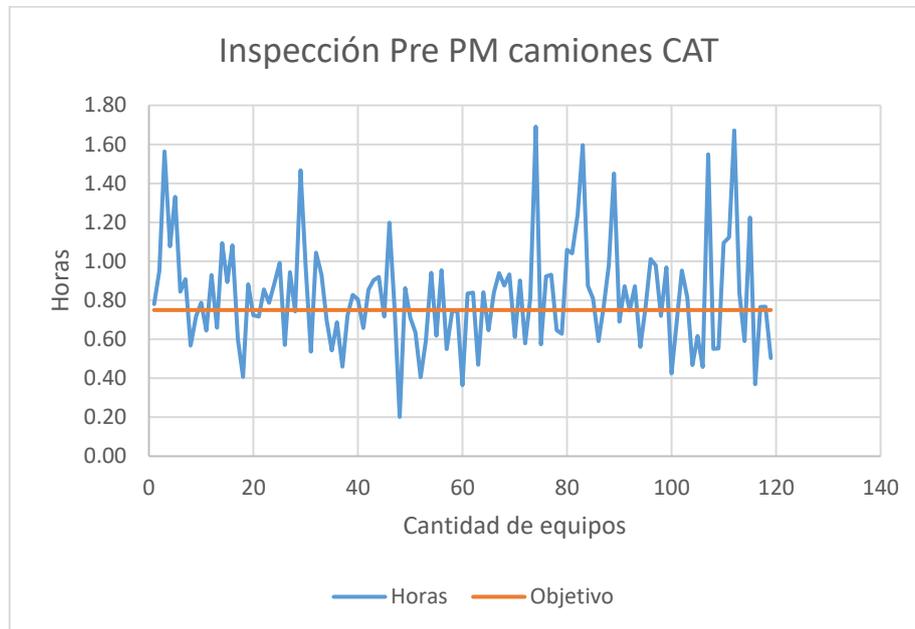




## De la flota Caterpillar:

**Gráfico 4**

*Demora por Inspección Pre-PM Flota Caterpillar*



<sup>7</sup> Fuente: (Rivero Díaz, 2021)

### Problema específico:

¿Cómo solucionar el problema de demora en la llegada de repuestos al taller para realizar las reparaciones y/o mantenimientos programados en el más breve plazo?

### 2.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el presente trabajo, se ha realizado la revisión de las oportunidades a través de la medición de los tiempos de trabajo comparados con los tiempos estándar recomendados por el fabricante, así como entre los diferentes grupos de trabajo o guardias, con toda esa información, se establecen tiempos estándar bajo ciertas condiciones que la mejora en el proceso plantea a fin de reducir las paradas de equipos prolongadas en el proceso de mantenimiento.

<sup>7</sup> La ilustración ha sido generada con los datos de mantenimiento, el autor del TSP los ha usado bajo su criterio para ilustrar la problemática en ambos casos. Data de demoras en las inspecciones de SMVC, reportes de SQL.





En el caso de las demoras en el proceso de inspección Pre-PM se tiene:

- Durante la inspección Pre-PM, el personal de las distintas guardias, establece procedimientos particulares y no se tiene un estándar, ello motiva que el criterio particular prime en lugar de un protocolo de inspección con una ruta estandarizada.

En el caso de las demoras para la llegada de los repuestos tenemos:

- El pedido de repuestos se genera, pero no se tiene camioneta para el recojo desde el almacén ubicado a unos 3 Km del taller de mantenimiento.
- El personal especialista en mantenimiento de equipos pesados debe realizar trabajos de recojo de repuestos, lo que infiere una pérdida de ese recurso especializado.
- Los repuestos no están listos en almacén, no se preparan a tiempo las listas de repuestos por backlogs o PM (Véase anexos 2 y 3 de formatos de backlog vacío y completado).

En el caso de las demoras por cambio de turno del personal tenemos las siguientes oportunidades:

- El personal entrante no tiene relevo efectivo con el personal saliente, no hay reportes cara a cara.
- El personal entrante debe pasar por la charla de seguridad antes de empezar sus actividades lo que se traduce en paradas de camiones en la estación de lavado sin atención mientras duran las charlas.





## 2.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

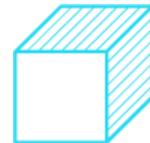
### 2.4.1. Objetivo general

Revisar e implementar tácticas al proceso de mantenimiento de camiones pesados de acarreo de mineral para mejorar su disponibilidad física en el proceso de operaciones mina, consiguiendo mejorar la productividad a través del acarreo de mayor cantidad de mineral desde los tajos hasta las chancadoras. De esa manera se incrementará la cantidad de ciclos o viajes de los camiones por hora/día/mes.

### 2.4.2. Objetivos específicos

- a. Establecer tiempos estándar para la inspección Pre-PM, a fin de asegurar que el personal a cargo tenga una métrica contra la cual pueda controlar sus tiempos en la ejecución de esa actividad. Así también, definir una ruta de trabajo esquematizada en un documento como hoja de ruta o Check List, con ello, los inspectores podrán realizar su trabajo alineados a un esquema definido, evitando que cada cual aplique el criterio particular. Ha quedado claramente establecido que cuando cada inspector aplica su propia metodología, el tiempo total de parada por inspección Pre-PM varía considerablemente, llegando a tener paradas muy prolongadas lo que impacta de manera directa en la disponibilidad física de la flota de camiones. Otra ventaja adicional del uso de una hoja de ruta se refleja en la calidad de la inspección, puesto que ello logra que las inspecciones abarquen todos los puntos necesarios sobre todo los de mayor criticidad, con ello, la generación de los backlogs concentra más y mejor información.
- b. Establecer un esquema de trabajo coordinado entre el personal de planificación y de logística, de tal forma que se preparen los repuestos requeridos para la ejecución de las actividades del mantenimiento a nivel programado y correctivo con la debida





anticipación, con ello se busca reducir los tiempos de espera en su entrega y traslado a los talleres de mantenimiento. Por otro lado, evaluar la posibilidad de implementar un servicio de delivery de esos repuestos de manera tercerizada, ya que en una rápida revisión se puede identificar que el recurso: “Personal de mantenimiento especialista”, se mal utiliza realizando actividades de menor complejidad cuando se tienen actividades detenidas en los camiones de acarreo que requieren su mejor y mayor enfoque.

- c. Implementar un equipo de trabajo que ingrese una hora antes del inicio de cada turno de trabajo, ello dará continuidad a las actividades en proceso de ejecución en los camiones iniciadas por el personal del turno saliente. El personal entrante podrá beneficiarse de un relevo más claro y sustancioso en cuanto al detalle de las actividades a continuar en cada camión de acarreo. Por otro lado, la continuidad en las actividades de mantenimiento, asegurarán que el camión de acarreo no quede sin atención en ningún momento y, por ende, el tiempo total de parada se reducirá considerablemente evitando hacer retrabajos, llamadas al personal del turno saliente, correr riesgos innecesarios que puedan llevar al camión de acarreo o a sus componentes a fallas por tareas incompletas debido a un relevo incompleto. Con esto, se contribuirá de manera positiva en el logro de una mejor disponibilidad física de los camiones de acarreo los que podrán mover mayor cantidad de mineral desde los diferentes frentes del proceso de minado hasta las chancadoras de los distintos circuitos productivos de la operación minera.





**Figura 6**

*A mayor tiempo de producción; Mayor beneficio*



Fuente: (Cerro Verde, 2021)





## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DEL PROYECTO

#### 3.1. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO

Para entender el fin del proyecto, la descripción y desarrollo del proceso se realiza haciendo referencia a las actividades principales de mantenimiento, donde los tiempos muertos o vacíos seleccionados en el presente, generan un impacto a la consecución del objetivo de disponibilidad de equipos de acarreo. Note como ese indicador mueve la aguja hacia condiciones desfavorables para la operación, ya que, al reducir la disponibilidad física de los camiones, se reduce también la productividad. El proceso de mantenimientos programados para camiones de acarreo en Cerro Verde se desarrolla de la siguiente manera:

Los camiones tienen un programa de mantenimientos rutinarios de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, que establecen que los equipos deben ser detenidos para cambio de aceite de motor y filtros con una frecuencia de 250 horas de trabajo  $\pm 10\%$  de ese tiempo, lo que luego podrá ser medido a través de cuadros de dispersión que ayuden a conocer la precisión del mantenimiento.

En Cerro Verde, los camiones trabajan en promedio 19 horas por día, lo que hace que asistan a taller para sus mantenimientos programados en promedio cada 14 días.

Con una flota de 126 camiones recorriendo la mina para acarrear el mineral hasta las chancadoras de los tres procesos que se tienen habilitados y una disponibilidad de 90% ofrecida se pueden hacer las siguientes inferencias:





**Tabla 2**

*Cálculo de Cantidad de PM por Día*

<b>Cant. Camiones</b>	<b>Frecuencia de PM</b>	<b>Veces por mes</b>	<b>Total PM al mes</b>	<b>PM's por día</b>
<b>126</b>	<b>14</b>	<b>2.14</b>	<b>270</b>	<b>9</b>

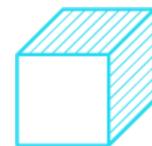
<sup>8</sup>Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

Por lo mostrado en la tabla previa, se tiene una necesidad de satisfacer 9 mantenimientos programados por día los cuales se dividen en dos turnos de 12 horas, es decir unos 5 PM en turno de día y 4 en turno de noche, realizando trabajos a razón de 24/7 o dicho de otra manera todos los días del año

Por otro lado, además de los mantenimientos programados o PM, tenemos otros trabajos también programados que se conocen como “Cambio de Componentes Mayores”, cuya razón obedece al tiempo de trabajo que se asignan a esos componentes como PCR (Programmed Component Repair) o “Reparación Programada de Componentes”, cuando éstos han llegado a completar horas de trabajo recomendadas por el fabricante, esa cantidad de horas representan un límite seguro de trabajo y promueven el retiro del componente para su reparación programada, antes de que se remuevan de manera No Programada y peor si su remoción obedece a la obligación por fallas que pueden llegar a ser catastróficas. Esas actividades representan detenciones que pueden ser entre 6 y hasta 60 horas cuando se realizan de manera programada. Los componentes principales se muestran en la siguiente tabla con la información de recursos para su remoción:

<sup>8</sup> La tabla ha sido generada en base a la realidad mostrada en la operación de Cerro Verde. (Data de proceso de programación de mantenimiento de equipos de acarreo).





**Tabla 3**

*Frecuencia de Cambio de Componentes Mayores por PCR*

<b>Componente</b>	<b>Horas parada</b>	<b>Cant. Personal</b>	<b>Horas Hombre</b>	<b>PCR Horas</b>	<b>Hrs al año</b>	<b>Frec. cambio</b>
<b>Motor</b>	<b>48</b>	<b>5</b>	<b>240</b>	20000	6970	<b>2.9</b>
<b>Convertidor</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	20000	6970	<b>2.9</b>
<b>Transmisión</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>24</b>	24000	6970	<b>3.4</b>
<b>Mando Final</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>36</b>	24000	6970	<b>3.4</b>
<b>Diferencial</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	24000	6970	<b>3.4</b>
<b>Rueda Delantera</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>24</b>	25000	6970	<b>3.6</b>
<b>Tolva</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>70</b>	12000	6970	<b>1.7</b>
<b>Suspensión delantera</b>	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>48</b>	30000	6970	<b>4.3</b>
<b>Suspensión posterior</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	30000	6970	<b>4.3</b>

<sup>9</sup>Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

**(Data de proceso de programación de mantenimiento de equipos de acarreo)**

Ambos tipos de actividades, Mantenimientos Programados o PM y los reemplazos de componentes mayores por PCR (Programa de Reemplazo de Componentes) son o pueden ser afectados por las demoras que se han definido como problemas específicos ya que, tanto las demoras por cambio de turno, en la llegada de los repuestos y las inspecciones Pre-PM afectan el indicador principal “Disponibilidad” con el que principalmente se mide la gestión de mantenimiento. La confiabilidad asegura la calidad de la gestión y los costos son también altamente importantes para lograr el mejor resultado para la operación.

Los indicadores mencionados Disponibilidad y Confiabilidad, se definen a través de las siguientes fórmulas:

**Disponibilidad:** Es el tiempo total que el área de operaciones tiene para usar el equipo para la producción de mineral, se calcula restando el total de horas calendario menos el tiempo que el equipo ha sido detenido para fines de

<sup>9</sup> La tabla ha sido generada en base a la realidad mostrada en la operación de Cerro Verde





mantenimiento programado y No programado entre las horas calendario por 100 (Caterpillar INC, 2005)

$$\% \text{ Disponibilidad física SMCV} = \frac{\text{Total Hrs Calendario} - \text{Tiempo malogrado (Prog y Nprog)}}{\text{Total Hrs Calendario}} * 100$$

**Confiabilidad:** Es una forma de definir qué tan confiables son los equipos para el usuario quien podría generar percepciones de calidad del servicio tomando como referencia la recurrencia de paradas por falla que pudieran tener los equipos y el tiempo que el equipo de mantenimiento se toma para poder repararlos y devolverlos a la operación. Está definida por los siguientes indicadores de calidad:

**a) Tiempo promedio entre eventos de mantenimiento MTBME**

Es el promedio de tiempo que opera el equipo entre eventos de mantenimiento, es decir la cantidad de horas que puede operar continuamente antes que se presente un evento de parada (programada y no programada). (Caterpillar INC, 2005)

$$MTBME \text{ (horas)} = \frac{\text{Horas Operativas} + \text{demoras operativas}}{\text{Número de Paradas por mantenimiento}}$$

**b) Tiempo promedio entre fallas (MTBF)**

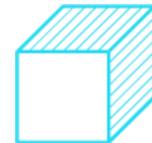
Es el promedio de tiempo que opera el equipo entre fallas, es decir la cantidad de horas que puede operar continuamente antes que se presente un evento de falla no programada. En este caso a diferencia del anterior se identifican solo las paradas repentinas sin que el equipo de planeamiento haya podido advertirlas y por lo tanto no están dentro del plan. (Caterpillar INC, 2005)

$$MTBF \text{ (horas)} = \frac{\text{Horas Operativas}}{\text{Número de Fallas}}$$

**c) Tiempo promedio para reparar (MTTR)**

Es el Tiempo Promedio para Reparar el equipo, es un indicador que mide la efectividad del equipo de mantenimiento en entregar el equipo





operativo. Incluye todos los eventos de mantenimiento correctivo. No incluye mantenimientos programados (PM). (Caterpillar INC, 2005)

$$MTTR(\text{horas}) = \frac{\text{Horas de parada por Mantenimiento correctivo}}{\text{Número de Paradas por mantenimiento correctivo}}$$

### 3.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Como se ha indicado a lo largo del presente trabajo, la gestión del mantenimiento tiene un impacto directo sobre el proceso productivo, es así que no representa un asunto de interés propio del área de mantenimiento solamente, sino que también lo es del cliente interno directo, es decir del área de operaciones mina.

Operaciones mina a su vez tiene como cliente interno al área de procesos tanto la Concentradora 1 o C1, Concentradora 2 o C2, así como Procesos Hidrometalúrgicos o Hidro. Con una demanda de mineral que se debe acarrear a las chancadoras de los 3 diferenciados procesos productivos de aproximadamente:

- 125,000 toneladas diarias para C1
- 295,000 toneladas diarias para C2
- 80,000 toneladas diarias para Hidro

Sabiendo además que para lograr que el proceso se alimente con mineral y que, para llegar al mineral, también se deben realizar trabajos de desbroce, mantenimiento de las vías y botaderos, creación de nuevas rutas de acarreo, etc. Se debe considerar que la proporción entre material que se debe mover a las chancadoras y el que se mueve para lo indicado es de 50% y 50% podemos inferir que la operación en general demanda de alrededor de 1 millón de toneladas de material movido por día.

Retomando lo indicado al principio de éste segmento, la injerencia del trabajo realizado por el área de mantenimiento mina en la operación es altamente importante, porque para que operaciones mina logre completar la cuota de





material movido por día, el área de mantenimiento debe asegurar una disponibilidad física de los equipos de al menos 90% de manera sostenida, considerando además que los equipos deben ser confiables para evitar paradas recurrentes que obliguen al equipo de operaciones a reconfigurar frecuentemente las asignaciones de equipos a los diferentes puntos del proceso. Entonces para asegurar la confiabilidad se trazan indicadores de calidad que se definen en 37 horas para el MTBME y 5 horas para el MTTR.

Sin embargo, en el análisis de desempeño que el área de confiabilidad de mantenimiento mina realiza y muestra de manera mensual, si bien es cierto, los resultados de la gestión de mantenimiento están cercanos a los objetivos, son resultados que varían mes a mes y lo que es más preocupante aún, día a día.

A continuación, se muestran en números y gráficamente los resultados de los últimos doce meses previos al mes de enero del 2021

**Tabla 4**

*Estadísticas de Desempeño Camiones Acarreo - Enero 2021*

Periodo	Disponib.	Target	Eficiencia	MTTR	MTBME	Hr Mtto	Eventos
<b>202002</b>	<b>88.2</b>	<b>89</b>	<b>74.9</b>	<b>5</b>	<b>34.7</b>	<b>7,579</b>	<b>1,525</b>
202003	92.1	88.8	38.8	6.2	33.5	5,453	878
202004	95.6	90	17.5	6.8	31.4	2,978	437
202005	91.7	90	52.2	4.7	35.7	5,048	1,066
<b>202006</b>	<b>88.8</b>	<b>89.7</b>	<b>67.6</b>	<b>5.6</b>	<b>39.7</b>	<b>5,996</b>	<b>1,067</b>
202007	89.9	88.7	71.6	5	38.8	5,455	1,085
202008	90	89.2	70.8	5.1	38.8	5,148	1,014
202009	90.1	88.8	72.8	5.2	41.1	4,936	952
<b>202010</b>	<b>88.5</b>	<b>88.9</b>	<b>71.7</b>	<b>5.4</b>	<b>36.4</b>	<b>6,147</b>	<b>1,135</b>
<b>202011</b>	<b>87.1</b>	<b>88.8</b>	<b>68.6</b>	<b>6</b>	<b>34.8</b>	<b>6,700</b>	<b>1,109</b>
202012	88.6	88.2	69.6	4.9	32.3	6,069	1,249
202101	89.2	88.1	70.4	5.1	36.2	5,707	1,119

<sup>10</sup> Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

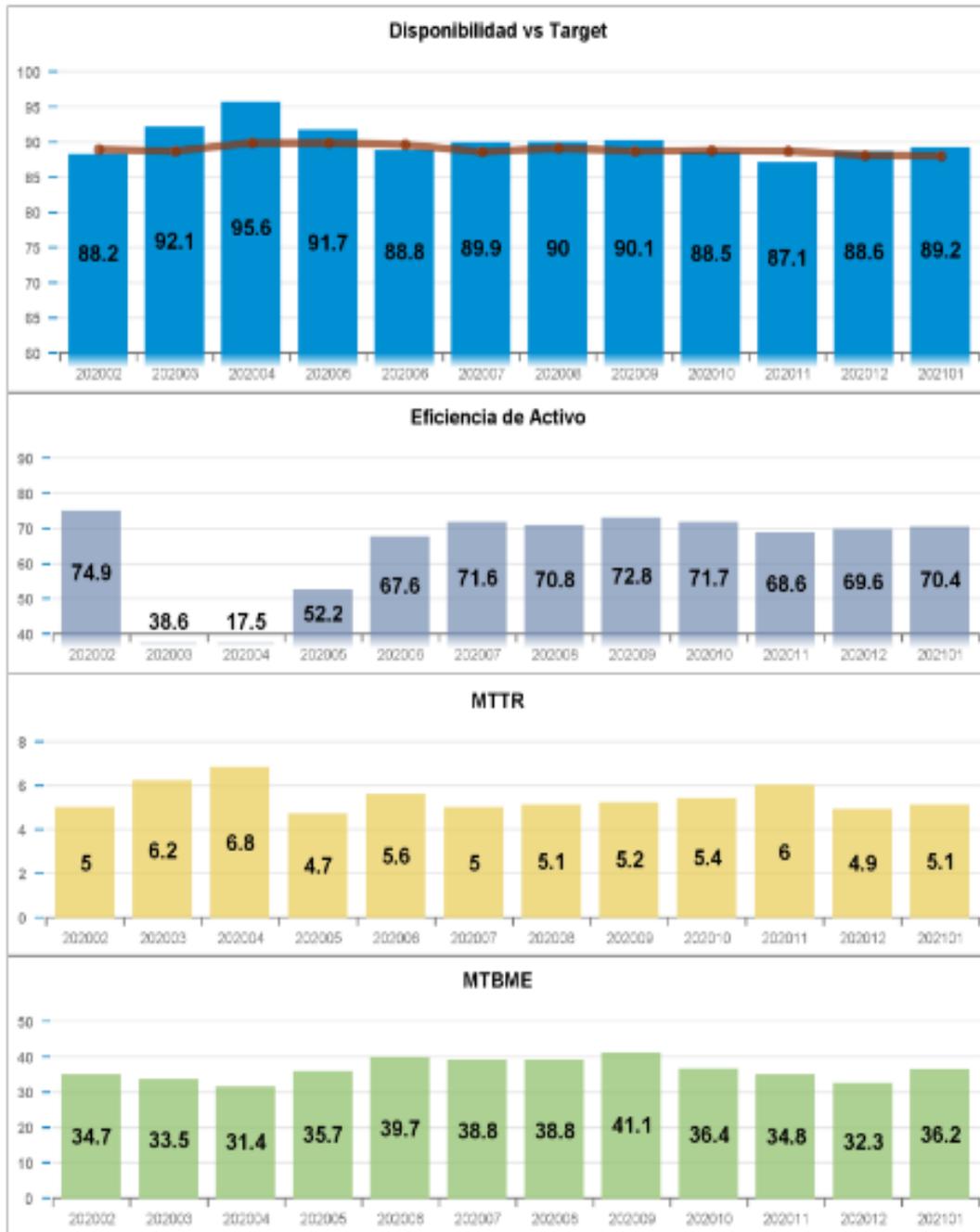
<sup>10</sup> La información es de la base de datos de confiabilidad de mantenimiento y se muestra como antecedente.





**Gráfico 5**

*KPI Gestión de Mantenimiento Camiones Acarreo - Enero 2021*



<sup>11</sup> Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

<sup>11</sup> La información es de la base de datos de confiabilidad de mantenimiento y se muestra como antecedente.





### 3.3. BASES TEÓRICAS

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante de equipos CATERPILLAR vertidas en el libro de Gestión de Mantenimiento “Performance Metrics for Mobile Mining Equipment” (Métricas de Rendimiento para Equipos Móviles de Minería) recomienda el benchmarking, proceso que sirve para identificar buenas prácticas para la industria.

Establecer comparaciones ayudará a la identificación de la posición de la empresa frente a la competencia, así como para generar el proceso de seguimiento en el logro de los objetivos que, de manera particular e interna, se trazan en el área de mantenimiento mina.

Los diferentes procesos que generan demoras y que afectan a la disponibilidad de los equipos de acarreo son sometidos al benchmarking para establecer líneas base y sobre ello, trabajar en el logro de los objetivos de reducción de los tiempos vacíos de mantenimiento.

Las referencias que CATERPILLAR define en la gestión de mantenimiento buscan desarrollar criterios de gestión sin métricas es más bien una gestión intuitiva centrada en controles para mejorar la administración con conceptos como:

- No puedes dirigir lo que no puedes controlar.
- No puedes controlar, lo que no puedes medir.
- No puedes (O al menos no debes) medir si no tienes un objetivo, y sin objetivos, no podrás mejorar. (Caterpillar INC, 2005)

Para realizar la evaluación por comparación se establecen métricas o KPI (Indicadores Clave de Rendimiento) que muestran de manera cuantificada los resultados de las mejores prácticas de un proceso u operación. Sirven además para mostrar la situación en la que la empresa o proceso se encuentra y ayudará también en un auto cuestionamiento a responder preguntas como:





- ¿Cuál es nuestra posición actual hoy?
- ¿Cuánto esfuerzo se ha invertido para llegar a la posición que se tiene?
- ¿Dónde se sitúan los puntos de dolor?
- ¿Se está usando la data de las fallas como fuente de información para las acciones correspondientes?
- ¿La situación actual refleja el resultado de un trabajo planificado?
- ¿La situación de la empresa refleja una situación estable?
- ¿Es posible hacer pronósticos para el futuro? (Caterpillar INC, 2005)

Una de las principales fuentes de información que Caterpillar usa, está centrada en la experiencia que los especialistas le transmiten. Con un equipo extendido por todo el mundo y monitoreado por el equipo de soporte al producto de la división Caterpillar Global Mining, contribuyen al desarrollo de los procesos compartiendo las buenas prácticas con quienes poseen equipos o los operan y que se aplican en los distintos lugares del planeta, hablando en materia de clima, geografía, aplicación, entorno en general, etc.

La continuidad de los trabajos en progreso, las actividades preventivas y proactivas, así como la asistencia con las facilidades y necesidades a nivel logística y del equipo del liderazgo se desprenden como aporte a los procesos de mantenimiento de maquinaria pesada y es perfectamente adaptable inclusive a otras marcas y procesos.

### **Métricas:**

Se definen como métricas a los indicadores claves de rendimiento o KPI por su definición en inglés “*Key Performance Indicator*”. Se usan para medir el rendimiento de los equipos de una flota en una operación y ayudan a determinar la calidad de la gestión de mantenimiento. Entre los principales tenemos:

Disponibilidad, Confiabilidad, Mantenibilidad y Utilización





Caterpillar define que, para poder medir la eficiencia del mantenimiento, los KPI de confiabilidad y disponibilidad de los equipos son los que destacan por su efectividad cuando buscamos conocer la calidad de la gestión del mantenimiento.

Los KPI son métricas de rendimiento, sin embargo, no todas las métricas de rendimiento son KPI, la revisión y aplicación de éstos pueden variar entre una operación y otra ya que dependen de las perspectivas de los representantes de la marca o dealers y los clientes, además se pueden aplicar necesidades de la operación y mantenimiento, así también los puntos de vista del área de control de contratos. (Caterpillar INC, 2005)

Caterpillar hace algunas recomendaciones sobre el MTBS como benchmarking y de acuerdo al libro “Performance Metrics for Mobile Mining Equipment” son:

**Tabla 5**  
*“Performance Metrics for Mobile Mining Equipment”*

<b>MTBS</b>	<b>ESTADO DE GESTIÓN</b>
<b>50 a 60 horas</b>	Excelente, alto porcentaje de Paradas Programadas, Organización de Gestión de Equipos es altamente Proactiva
<b>40 a 50 horas</b>	Aceptable, la mayoría de las paradas son Programadas, hay un énfasis sustancial en la Gestión de Equipo
<b>30 a 40 horas</b>	Margen, la mitad del tiempo de las paradas son Programadas, la Gestión de equipos no funciona totalmente
<b>20 a 30 horas</b>	Bajo, <40% de paradas son Programadas, mínimo esfuerzo en la Gestión de equipos
<b>&lt;20 horas</b>	Pobre, Solo los Mantenimientos Preventivos son Programados, Organización de Gestión de Equipos es puramente Reactiva

Fuente:(Caterpillar INC, 2005)





Así mismo las recomendaciones para el MTTR son:

**Tabla 6**  
*Recomendaciones MTTR del Libro PMMME*

MTTR	Estado de Gestión
< 03 horas	Bajo, falta de control de Backlogs, mejorar el Monitoreo de Condiciones, la Gestión de equipos no funciona totalmente.
03 a 06 horas	Excelente, alto porcentaje de Paradas Programadas, Organización de Gestión de Equipos es altamente Proactiva.
> 06 horas	Alto, más de la mitad del tiempo de las paradas no son Programadas, mínimo esfuerzo en la Gestión de equipos o es puramente Reactiva.

Fuente: (Caterpillar INC, 2005)<sup>12</sup>

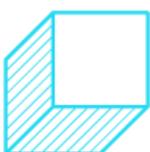
Por otro lado, tenemos procesos soportados sobre el ciclo Deming el cual se conforma de cuatro conceptos:

- Planear
- Ejecutar o hacer
- Verificar o controlar
- Actuar

Esta metodología brinda las pautas que una empresa/organización debe seguir en cada uno de sus procesos.

Se debe iniciar por los procesos más significativos y continuar con los procesos de menor envergadura y/o subprocesos. El presente trabajo, centra su enfoque en el análisis de 3 subprocesos que encierran oportunidades de mejora. El ciclo de Deming justamente se enfoca en la solución de problemas y el mejoramiento continuo valiéndose de un análisis que lleva a un diagnóstico inicial de la

<sup>12</sup>Se refiere a PMMME: "Performance Metrics for Mobile Mining Equipment"

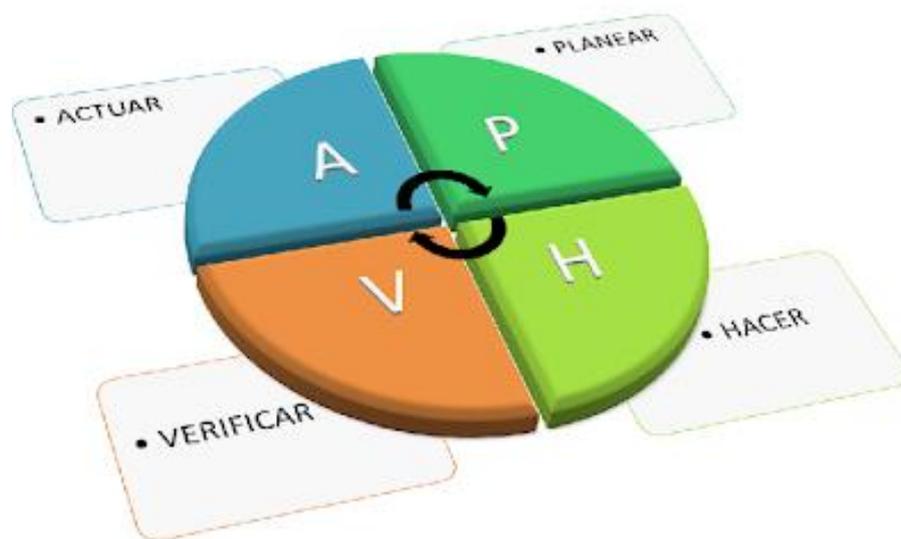




problemática existente, identificando las fallas/oportunidades para las cuales plantean soluciones, éstas se llevan a la ejecución. Posteriormente se analizan los resultados y de existir más oportunidades, se replantean acciones para corregir cualquier problema iterando así hasta conseguir el resultado óptimo. Eso no solo permite crecer y mejorar a nivel procesos, sino también es una puerta abierta a que todos, en los diferentes equipos de trabajo desarrollen cualidades innovadoras que puedan aportar, permitiéndose analizar y plantear alternativas. (The W. Edwards Deming Institute, 2021)

**Figura 7**

*Ciclo de Deming - Mejora Continua*



Fuente: (The W. Edwards Deming Institute, 2021)

### 3.4. BASES NORMATIVAS

Como bases normativas aplicables al presente tenemos las vertidas en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería: Decreto Supremo N° 024-2016-EM

En ese documento se definen responsabilidades y se establecen parámetros de seguridad aplicables al trabajo en el sector de minería. En adición se especifican parámetros sobre el plan de minado y producción que son considerados en el





cálculo de movimiento de tierras en la operación minera. (Ministerio de Energía y Minas, 2016)

### **3.5. DESARROLLO DEL PROYECTO**

En el presente segmento se va a desarrollar el proyecto de mejora de la disponibilidad de camiones de acarreo bajo las condiciones revisadas en el análisis y planteamiento del problema, siendo así, los puntos a mejorar se mencionan a continuación:

- Demoras en la llegada de los repuestos desde almacenes
- Demoras en las inspecciones Pre-PM
- Demoras generadas en los cambios de turno

#### **3.5.1. Análisis de oportunidades de mejorar el tiempo<sup>13</sup>**

A través de un diagrama de causa y efecto, se establecerán los controles para cada una de las razones que generan demoras en el proceso de mantenimiento y que afectan de manera directa a la disponibilidad, impactando la productividad

Revisemos el siguiente diagrama preparado donde se establecen los controles para cada una de las razones de demora:

---

<sup>13</sup> Dicho análisis consiste en analizar las oportunidades de mejorar el tiempo de atención de los camiones.





**Tabla 7**

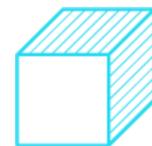
*Cuadro de Causas - Efectos y Planteamientos*

<b>DIAGRAMA DE CAUSAS - CONSECUENCIAS Y PLANTEAMIENTOS</b>			
<b>PROBLEMAS</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>	<b>PLANTEAMIENTOS</b>
<b>Demora en llegada de repuestos/Partes</b>	Falta de camionetas para poder ir a recoger los repuestos desde el taller hasta los almacenes	Extensión del tiempo de detención de los camiones de acarreo en mantenimiento por espera de los repuestos	Implementar un servicio de delivery tercerizado que proporcione sus propias movilidades
	Espera prolongada en almacenes por colas generadas por personal de distintas áreas esperando atención	El personal de mantenimiento con calificaciones especiales, se sub aprovecha por actividades de recojo de repuestos y espera en almacenes	El personal de la contratista no debe tener mayor calificación por tener un trabajo poco complejo, ello aporta a mejorar además los costos por oportunidad
	Demoras por espera a que el personal de almacenes prepare los pedidos de repuestos (cada pedido involucra varios ítems de acuerdo con el trabajo a realizar y el personal de almacén prepara cada pedido en el mismo momento)	Extensión del tiempo de detención de los camiones de acarreo en mantenimiento y sub aprovechamiento del personal especializado en mantenimiento de equipos pesados	Coordinar con el personal de almacenes que los pedidos se preparen con anticipación de tal manera que solo se entreguen los pedidos preparados al personal del delivery
<b>Tiempos elevados en inspección Pre PM</b>	Falta definir protocolos de inspección Pre-PM, cada inspector hace el trabajo a criterio particular	Los backlogs que el personal de inspección entrega, es diferente en cuanto a formatos y calidad	Establecer un formato especial para definir la ruta a seguir durante las inspecciones, con ello se evitarán los diferentes criterios
	Falla de establecimiento de tiempos objetivo para la realización de la actividad	Los tiempos de inspección varían demasiado aún cuando se evalúen equipos similares	Establecer tiempos para la ejecución de las inspecciones entre una y otra flota de equipos
<b>Cambio de turno del personal</b>	El personal entrante inicia trabajos a las 7:30 am/pm pero va directo a la charla de seguridad de inicio de turno	El turno entrante dejó de atender los equipos media hora	Establecer un equipo de trabajadores que ingrese una hora antes a laborar, con ello se asegura que los trabajos tengan continuidad en los equipos
	El personal saliente debe hacer reportes de trabajo, devolver herramientas a pañol y ordenar su área de trabajo, para ello, detienen sus actividades a las 7:00 am/pm aproximadamente	El turno saliente dejó de atender los equipos media hora	
	Entre las 7:00 am/pm y 8:00 am/pm no hay espacio de tiempo para que se haga un relevo de los trabajos de manera presencial y en los equipos entre las guardias en relevo	Los relevos son vagos y ello afecta la calidad de los trabajos.	Con el ingreso del equipo de trabajadores una hora antes, se mejorará el relevo del personal haciéndose cara a cara y en el taller

<sup>14</sup> Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

<sup>14</sup> La tabla ha sido elaborada en base al análisis realizado en la operación por el autor del TSP y se ha aplicado el criterio del autor





### 3.5.2. Formulación de costos para el alcance del plan

Para la formulación de los costos vamos a utilizar algunos datos claves para poder establecer de manera sustentada la viabilidad económicamente hablando para poder llevar adelante la implementación de los planteamientos.

**Tabla 8**

*Costos promedio de Mantenimiento y Producción*

Operación	Toneladas movidas por hora (Promedio anual)	Costo promedio por hora de detención de camión de acarreo	Costo H/H técnico especializado en mantenimiento
<b>Cerro Verde</b>	<b>438 T</b>	<b>\$350.00</b>	<b>\$34.00</b>

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

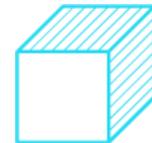
### 3.5.3. Demoras en la llegada de los repuestos desde almacenes

Se plantea que el personal para realizar el servicio de mantenimiento de los equipos de acarreo debe ser especializado y para ello se paga un costo razonable por HH y que además es competente estando dentro del promedio salarial actual en minería y que sus labores fundamentalmente deben estar referidas a los mantenimientos, evaluación, diagnóstico y reparación de equipos pesados de acarreo.

Siendo así, el recojo y traslado de los suministros, debería ser un tiempo asumido por el área de logística o en su defecto, por una empresa contratista especializada que, brinde el servicio de recojo y traslado de los repuestos desde los almacenes hasta los talleres de mantenimiento mina, para ello, la empresa contratista deberá brindar el soporte con:

- Un camión plataforma para el traslado de los repuestos e insumos
- Personal operario del camión
- Una persona de apoyo para la carga/descarga y guiado del camión en donde sea necesario.



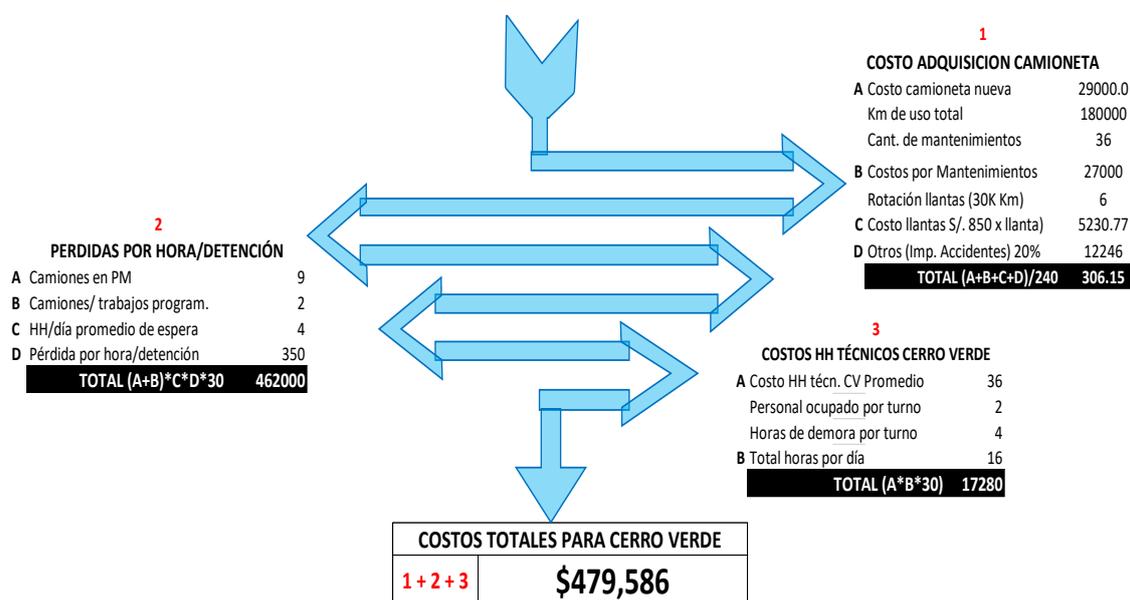


- Trabajar en programas de trabajo de 7 X 7 cubriendo ambos turnos es decir 24/7

Así presentamos la siguiente ilustración que detalla los costos que se asumen de manera directa e indirecta por realizar el trabajo con personal propio. Para mejor interpretación, véase la tabla # 8 (Costos promedio de Mantenimiento y Producción).

**Figura 8**

*Costos Asumidos por Cerro Verde Antes del Servicio Delivery*



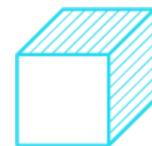
Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

### 3.5.4. Demoras en las inspecciones Pre-PM:

Para este caso, la evaluación se ha centrado en el análisis de las oportunidades que se desprenden de la actividad de inspección Pre-PM. Algunos importantes puntos revisados son:

- Se realizan alrededor de 5 inspecciones Pre-PM por día.
- Las inspecciones inician a las 8:00 am y para ello, los camiones de acarreo deben salir del proceso productivo para ingresar a las zonas de inspección establecidas (Ello involucra tiempo de





traslado del equipo al ingresar al área de inspección, así también para el retorno a la operación).

- Las detenciones para cumplir con esta actividad varían en tiempo porque cada inspector la realiza bajo criterio propio (No existe una hoja de ruta o Check List).
- No se tienen establecidos tiempos objetivo para la realización de esta actividad.
- En un periodo de medición apropiado.
- Se ha validado lo mencionado, encontrando oportunidades de reducir los costos por demoras durante las inspecciones Pre-PM que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 9**

*Costos por Demoras en Inspección Pre-PM*

	<b>KOMATSU</b>	<b>CAT</b>
<b>Minutos</b>	1452	2,660
<b>Horas</b>	24	44
<b>H/detención</b>	800	800
<b>Costo</b>	19354	35470
<b>Ahorro total</b>	<b>54824</b>	

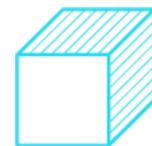
Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

### 3.5.5. Demoras generadas en los cambios de turno

Para este caso se han realizado mediciones de los tiempos vacíos sin atención de los camiones de acarreo debido a que el personal especializado se encuentra en relevo de funciones, recibiendo charlas de seguridad de inicio de turno o en otras actividades distintas.

Los principales vacíos se encuentran en los siguientes puntos:





- Equipos en lavadero de camiones listos para ingresar a taller, no ingresan por falta de personal para conducción y para guiado en el ingreso
- Equipos listos para retirar de taller y ser puestos en la zona de recojo de equipos operativos
- Equipos que llegan al taller para mantenimiento esperando a ser guiados, no ingresan y quedan detenidos en el acceso principal

**Tabla 10**

*Demoras en Cambio de Turno del Personal – Muestra un Turno*

<b>DEMORAS EN CAMBIO DE TURNO</b>			
	<b>Cant. camiones</b>	<b>Tiempo promedio espera</b>	<b>Horas</b>
<b>Lavadero</b>	2	1.5	3
<b>Ing. A Taller</b>	2	0.75	1.5
<b>Espera traslado a li</b>	2	2	4
	<b>GRAND TOTAL</b>		<b>8.5</b>

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

En la evaluación se observa que en promedio se tienen 8.5 horas de máquina detenida por día en turno de día y un número similar en turno de noche, es decir un total de 17 horas de detención por día.

Con ese dato y tomando en consideración los datos de la tabla # 8 (Costos promedio de Mantenimiento y Producción) el cálculo de pérdida por horas de detención de camiones de acarreo sería:

17 horas de detención diaria por \$ 350 por hora de detención de camión  
= \$ 5950 diarios, por mes, el costo asciende a \$ 178500

### **3.6. COSTOS DEL PROYECTO**

Para el caso de la llegada de los repuestos al taller tenemos la propuesta económica de una empresa contratista que, al adjudicarse el servicio, generará





un costo para el área de mantenimiento mina de \$ 19001, como se muestra en la tabla # 11:

**Tabla 11**  
*Costos a Pagar a una Contratista por Servicio de Delivery*

<b>COSTOS POR SERVICIO DE DELIVERY 24/7</b>				
<b>Naturaleza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo horario</b>	<b>Costo por día</b>	<b>Costo por mes</b>
Camión de servicio 8T	1	-	136.9	4108.00
Personal	4	9	94.5	11340.00
<b>Sub Total</b>				<b>15448.00</b>
Gastos administrativos 6%				926.88
Utilidad 17%				2626.16
<b>Grand Total</b>				<b>19001.04</b>

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

Para el caso de las demoras por inspección Pre-PM no se incurren en gastos dado que sólo ha sido necesario establecer una hoja de ruta o CHECKLIST (Véase Anexo Número 1) y fijar tiempos objetivo para la realización de esas actividades tanto para camiones CAT como para KOMATSU

Para el caso de los cambios de turno, se ha establecido una guardia de enganche entre turnos que ingresa una hora antes en ambos turnos, esa guardia consta de 2 técnicos electricistas y 6 mecánicos a ellos se les incentiva con lo siguiente:

- Asisten a laborar en movilidad especial.
- Ganan sobre tiempo tipo 2 o al 100% por esa hora extra
- Se les provee de un refrigerio especial a la hora de ingresar a la operación

Los costos para estos beneficios se calculan en la tabla # 12:





**Tabla 12**

*Costos por Implementación de Guardia de Enganche de Turnos un Mes*

<b>DEMORAS EN CAMBIO DE TURNO</b>					
	Cantidad	Cant. Personal	Costo unitario	Periodo días	Costo \$
Movilidad 2 turnos	1		7800	30	7800
Horas extras personal		16	68	30	32640
Refrigerios		16	7	30	3360
<b>GRAND TOTAL</b>					<b>43800</b>

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

**En resumen:**

Los costos en los que el área incurría antes de la implementación de las ideas ascendían a:

**Tabla 13**

*Costos antes de la Implementación de las Ideas de Mejora*

<b>COSTOS ANTES DE LA IMPLEMENTACION DE IDEAS</b>	
Actividad	COSTO \$
Demoras en la llegada de los repuestos desde almacenes	473586
Demoras en las inspecciones Pre-PM	54824
Demoras generadas en los cambios de turno	178500
<b>GRAND TOTAL</b>	<b>706910</b>

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

Los costos luego de la implementación de las tres ideas se han reducido considerablemente como se muestra en la siguiente tabla:





**Tabla 14**

*Costos por Implementación de Ideas de Mejora*

<b>COSTOS POR IMPLEMENTACION DE LAS IDEAS</b>	
<b>IDEA</b>	<b>COSTO \$</b>
Demoras en la llegada de los repuestos desde almacenes	19001.04
Demoras en las inspecciones Pre-PM	0
Demoras generadas en los cambios de turno	43800
<b>GRAND TOTAL</b>	<b>62801.04</b>

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

Con ello se establece que el ahorro generado con la implementación de las 3 ideas asciende a:

\$ 644108.96 por mes de manera aproximada

### 3.7. CRONOGRAMA DEL PROYECTO

Como planes de acción definidos para la implementación de las actividades desprendidas del presente análisis, se establecen los alcances del proyecto en términos de tiempo bajo el esquema GANTT que se muestra líneas abajo.

La mejora continua, basada en el ciclo PHVA el cual deriva del Ciclo Shewhart de W. Edwards Deming, llamado así en honor a Walter Shewhart, ha sido aplicada en el desarrollo de cada uno de los proyectos que se enfocan en la reducción de los tiempos de parada por mantenimiento y consiguientemente, la mejora en la disponibilidad de los camiones de acarreo de mineral.

Las actividades han merecido periodos de:

- Tiempo de evaluación de la problemática.
- Medición de los tiempos totales por paradas de los camiones con cargo a mantenimiento.
- Análisis abierto de cada actividad para identificar las oportunidades de mejora.





- Una vez identificada la oportunidad: Planteamiento de ideas para mejorar.
- Análisis de aplicabilidad de cada una de las ideas de mejora.
- Análisis de factibilidad a nivel técnico y económico.

Una vez aprobada la ejecución de los planes de acción: Procesos de implementación que incluyen:

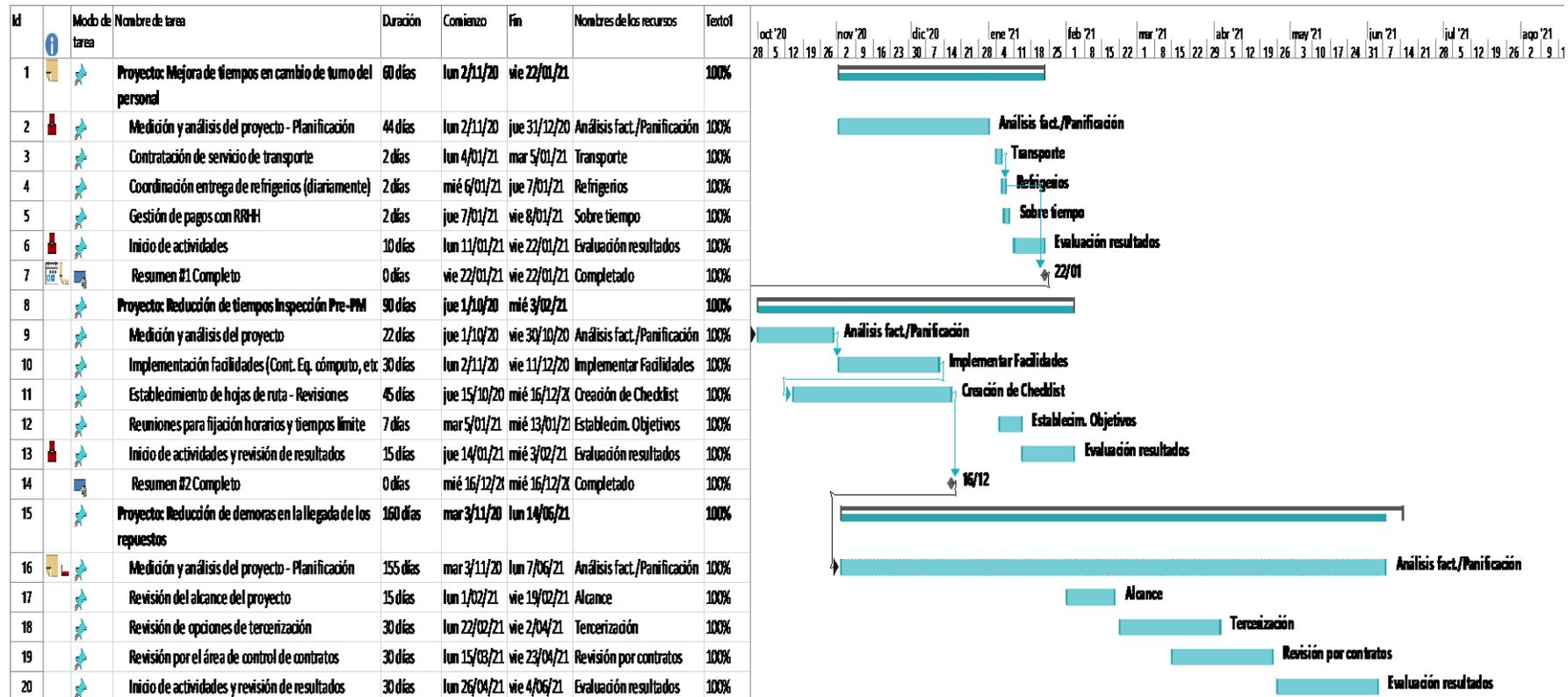
- Localización de servicios.
- Contratación de movilidades especiales.
- Gestión de recursos.
- Gestión de recursos humanos.
- Gestión de Control de Contratos.
- Aprobaciones.
- Procedimientos.





**Tabla 15**

*Gantt Para la Aplicación de Ideas de Mejora de Disponibilidad*



<sup>15</sup> Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

<sup>15</sup> La información es de la base de datos que el autor del TSP ha registrado en cuanto a la aplicación de las ideas de mejora para mejora de la disponibilidad.





### 3.8. CONCLUSIONES

- Como conclusiones al presente trabajo, es necesario indicar que las actividades de minería encierran diversos procesos que se enlazan y concatenan para lograr el objetivo final de producción, la seguridad, el cuidado del entorno y los costos que son vitales para mantenerse en el mercado y subsistir como empresa, sin embargo, éstos tienen enemigos que podrían detener el crecimiento y lo que es peor, podrían llevar a la empresa al fracaso.
- Operaciones mina (Cliente interno directo del área de mantenimiento mina) también tiene su cliente interno por satisfacer, ese cliente es el área de procesos que demanda de la suficiente cantidad de mineral por día para poder mantener las plantas concentradoras y el proceso hidrometalúrgico produciendo.
- Por ello, operaciones mina demanda de mantenimiento la entrega de equipos operativos y confiables en niveles de clase mundial, las disponibilidades físicas de esos equipos deben alcanzar en promedio un 90%.
- El área de mantenimiento mina debe sostener una gestión cimentada en estrategias que aseguren que los camiones de acarreo trabajen de manera confiable, sin embargo, en el proceso de mantenimiento como en todos, existen oportunidades.
- En el presente TSP se han identificado algunas y se ha trabajado en ellas, estableciendo planes de acción que han conducido al proceso a reducir los tiempos de parada de los camiones de acarreo de mineral, ello, aporta en la mejora de la ansiada disponibilidad física y consiguientemente la mejora en la capacidad de producción para inyectarle vigor a la economía de la empresa minera.





- En la siguiente tabla se explica en números y por mes los aportes de las ideas tantos en porcentaje de disponibilidad, así como en cantidad de toneladas movidas en adición:

**Tabla 16**

*Aportes en Disponibilidad y Producción*

CANT CAMIONES	HRS. TOT POR MES	90%
124	89280	80352
PERDIDA DE HORAS POR DEMORAS ANALIZADAS		
INSPECCIÓN PRE-PM	68	
RECOJO REPUESTOS	1320	
CAMBIO DE TURNO	510	
TOTAL	1898	
<b>OPORTUNIDAD DE MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD</b>	<b>2.13%</b>	
<b>OPORTUNIDAD DE MEJORA EN LA PRODUCCION (TONELADAS)</b>	<b>831324</b>	

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

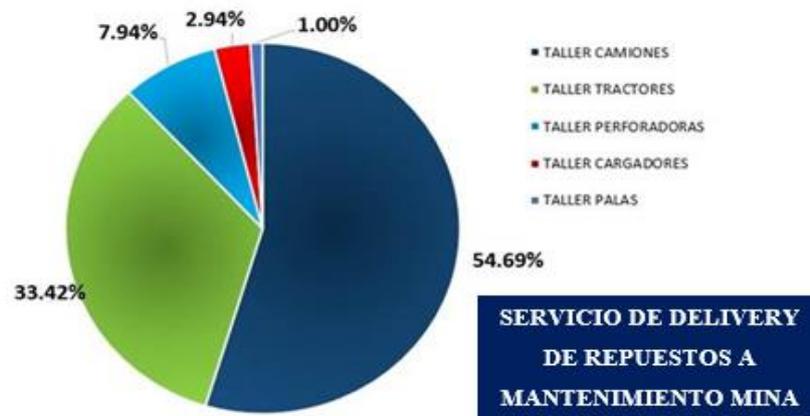
- Entonces de manera concluyente, tenemos oportunidades de ahorros de costos de alrededor 644000 dólares por mes o unos 7.7 millones de dólares al año.
- Por otro lado, tenemos oportunidades de mejorar la disponibilidad de los camiones hasta en un 2.13% por mes con ello,
- Se podría mejorar la productividad incrementando las toneladas movidas por mes en alrededor de 831000 T adicionales o unas 9.9 millones de toneladas en un año.
- Por otro lado, el proyecto de Delivery de repuestos, al ser un servicio 24/7, ha encontrado oportunidades de atender a otros talleres de la gerencia manteniendo el mismo costo como se muestra en el siguiente gráfico:





**Gráfico 6**

*Alcance del Servicio de Delivery a Otros Talleres*



Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)

### 3.9. RECOMENDACIONES

- Las operaciones donde existen grandes flotas de maquinaria, encierran generalmente muchas oportunidades en dimensión y cantidad, mantener los ojos abiertos en la constante búsqueda de esas oportunidades, así como aplicar metodologías científicas para establecer planes de acción que brinden soluciones prácticas y económicas, deben ser las acciones que mueven a los profesionales en el logro de los objetivos de crecimiento personal, profesional y por supuesto de las empresas que dirigen o por las cuales trabajan
- La eficiencia de los procesos de la mano con el uso responsable de los recursos, hoy en día están estrechamente ligados a los grandes desafíos para la preservación del ecosistema, por ello, los profesionales tienen grandes desafíos por afrontar y en la mayor cantidad de casos, exigen de la mayor y mejor preparación, así como del despliegue de las habilidades y experiencia que multiplicados a la mejor actitud darán los resultados deseados.
- Finalmente, cada proceso encierra oportunidades, para identificarlas, es necesario conocer en primer lugar su proceso, hacer caminatas





constantes en el terreno de trabajo, tender el puente de comunicación con las supervisiones o personal de primera línea de acción, registrar cada idea o comentario (No hay idea mala) investigar y examinar las posibilidades de establecer planes para mejorar las observaciones y convocar a los equipos de liderazgo a nivel horizontal y vertical para fomentar la participación en cuanto a aporte de nuevas ideas y también la investigación de tendencias fuera de la operación para poder evaluar opciones de aplicabilidad en el proceso propio.





## CAPÍTULO IV

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

#### BIBLIOGRAFÍA

Caterpillar INC. (2005). *Performance Metrics for Mobile Mining Equipment*. Peoria Illinois: NA.

Cerro Verde. (2021). *Cerro Verde -Minería*. Retrieved from [www.cerroverde.pe](http://www.cerroverde.pe):  
<https://www.cerroverde.pe/>

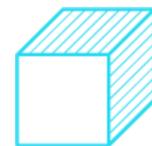
Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería - Decreto Supremo N° 024-2016-EM*. Lima - Perú.

Miro. (2021). *Fishbone Diagram template*. [https://miro.com/aq/ps/templates/fishbone-diagram/?utm\\_source%3Dgoogle%26utm\\_medium%3Dcpc%26utm\\_campaign%3DS|GOO|NB|LATAM|ES-ES|Core%26utm\\_adgroup=%26adgroupid=118384035512%26utm\\_custom](https://miro.com/aq/ps/templates/fishbone-diagram/?utm_source%3Dgoogle%26utm_medium%3Dcpc%26utm_campaign%3DS|GOO|NB|LATAM|ES-ES|Core%26utm_adgroup=%26adgroupid=118384035512%26utm_custom).

Rivero Díaz, F. A. (2021). Trabajo de Suficiencia Profesional de la EPII/UAP - Para obtener el título de Ingeniero Industrial. *“Proceso de mantenimiento de camiones pesados de acarreo de mineral, para mejorar la disponibilidad en Sociedad Minera Cerro Verde”*. Arequipa, Perú: Electrónico&Digital.

The W. Edwards Deming Institute. (2021). *Ciclo PHVA*. Contents Copyright ©2021 The W. Edwards Deming Institute®, a 501(c)(3) nonprofit organization.





## CAPÍTULO V

### GLOSARIO DE TÉRMINOS

#### **AGILE**

##### **AGILE**

Metodología para el desarrollo de proyectos que precisan de rapidez y flexibilidad, es una filosofía que supone una forma distinta de trabajar y de organizarse, 10

#### **backlogs**

##### **Backlog**

Trabajo correctivo cuya ejecución se programa en la mejor ventana de oportunidad, 21

#### **CAT**

##### **CAT**

Es el nick de CATERPILLAR, una de las más grandes y prestigiosas marcas de maquinaria pesada en el mundo, 43

#### **CHECKLIST**

##### **CHECKLIST**

Es una lista de verificaciones ordenada en un formato y que sirve como hoja de ruta para la ejecución de una actividad, 22

#### **DISPONIBILIDAD**

##### **DISPONIBILIDAD**

Es el tiempo que la operación puede usar un equipo para procesos productivos, a ese tiempo se le ha descontado el total de horas de parada por mantenimiento, V

#### **EISA**

##### **EISA**

Estudio de Impacto Social y Ambiental para el desarrollo de un proyecto, 2

#### **FODA**

##### **FODA**

(Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas), es una herramienta de estudio de la

situación de una empresa, institución, proyecto o persona, analizando sus características internas (Debilidades y Fortalezas) y su situación externa (Amenazas y Oportunidades) en una matriz cuadrada., 10

#### **GANTT**

##### **GANTT**

Es una herramienta de gestión de proyectos en la que se recoge la planificación de un proyecto, 45

#### **ICMM**

##### **ICMM**

Concejo Internacional de Minería y Metales, es una organización internacional que se dedica a mejorar el desempeño social y ambiental de la industria de minería y metales, 9

#### **INNOVA**

##### **INNOVA**

Es un programa establecido en SMCV que busca la participación de todos los trabajadores de la empresa en el desarrollo de ideas innovadoras para mejorar el proceso en el cual trabajan, 10

#### **ISO**

##### **ISO**

Organización Internacional para la Estandarización, 1

#### **KOMATSU**

##### **KOMATSU**

Al igual que CAT es una de las más grandes y prestigiosas marcas de maquinaria pesada en el mundo. Es competencia directa de CAT, 43

#### **KPI**

##### **KPI**





es un indicador clave de rendimiento usado como métrica para poder medir los resultados de una gestión., IV

**MTBF**

MTBF

Es el tiempo promedio de operación de un equipo hasta que se da una falla no programada o calculada, 28

**MTBME**

MTBME

Es el promedio de tiempo que opera el equipo entre eventos de mantenimiento, es decir la cantidad de horas que puede operar continuamente antes que se presente un evento de parada (programada y no programada), 28

**MTTR**

MTTR

Es el tiempo promedio que se utiliza para reparar una falla no programada, 28

**PBI**

PBI

Es el valor de los bienes y servicios finales producidos durante un

período de tiempo en un territorio, 3

**PCR**

PCR

Es un Programa de Reparación de Componente cuyo plazo es fijado por el fabricante como tiempo de vida hasta la reparación, 26

**PHVA**

PHVA

El ciclo PHVA implica 4 pasos planear, hacer, verificar y actuar. El proceso se realiza de manera lineal y la finalización de un ciclo precede el inicio del siguiente, 45

**Pre-PM**

Pre-PM

Inspección general de un equipo que se realiza 5 días antes de que ingrese a taller para Mantenimiento Programado, 19

**The Copper Mark**

The Copper Mark

Es un marco de garantía creado para promover la producción responsable de cobre., 2





## CAPÍTULO VI

### ANEXOS

#### Anexo 1

#### Check List de Inspección Pre-PM 1 de 1

FORMATO HOJA DE RUTA DE INSPECCION PREPM CATERPILLAR 793		
EQUIPO		FECHA
INSPECTORES		
<b>1 PASOS INSPECCION SUPERIOR CAMION</b>		
1	INSPECCION ESCALERAS	
2	INSPECCION CABINA	
3	INSPECCION PLATAFORMA SUPERIOR	
4	INSPECCION TANQUE DIRECCION	
5	INSPECCION PARTE POSTERIOR / TOLVA ELEVADA/ CON ESLINGA	
6	INSPECCION MOTOR	
		OK/NO
		Observación
1	<b>INSPECCION ESCALERAS</b>	
1	Inspección de escalera rebatible	
2	Chequear juego buje LH escalera rebatible	
3	Chequear juego buje RH escalera rebatible	
4	Inspección de escalera principal ( Verificar correcto anclaje)	
5	Inspección de escalera auxiliar ( Verificar gomas no estén rotas)	
2	<b>INSPECCION CABINA</b>	
6	Verificar estado de cinturón de seguridad operador/ copiloto	
7	Verificar estado asiento operador	
8	Verificar estado de parabrisas	
9	Verificar estado de vidrios cabina ( que no se encuentre trizadas)	
10	Verificar estado de ventana operador (verificar que no se encuentre rayado)	
11	Verificar funcionamiento de claxon	
12	Chequear juego de columna dirección	
13	Verificar estado pedal freno servicio	
14	Verificar estado de pedal gobernador ( acelerador)	
15	Verificar estado de pedal freno emergencia	
16	Verificar estado de piso cabina	
17	Verificar estado de palanca liberación freno	
18	Verificar estado hermetización cabina	
19	Verificar estado de plumilla	
20	Verificar estado de tanque agua limpiaparabrisas	
21	Verificar funcionamiento limpiaparabrisas	
22	Verificar estado de chapas puertas	
23	Verificar funcionamiento direccionales	
24	Verificar que no exista fuga pistola limpiera cabina	
25	Revisar bitácora de equipo	
26	Otros	
3	<b>INSPECCION PLATAFORMA SUPERIOR</b>	
27	Verificar estado de baranda posterior cabina	
28	Verificar estado de espejo LH	
29	Verificar estado de Espejo RH	
30	Verificar estado de baranda delantera	
31	Verificar estado de baranda cabina	
32	Verificación instalación rodapiés	
33	Verificación mangueras gran flujo tanque aire	
34	Verificar estado rebajes/ tapas tanque radiador	
35	Verificar estado soporte espejo LH	
36	Verificar estado soporte espejo RH	
37	Verificar estado soporte antena DISPATCH	
38	Verificar correcta apertura puerta tanque limpiaparabrisas	
39	Verificar estado mangueras purgado aire	
40	Verificar hermeticidad tapo posterior de cabina	
41	Verificar hermeticidad cables cabina lado RH	
42	Chequear sujeción de tubos escape dierras de tanque dirección	
43	Inspección que no exista fugas grasa / tanque grasa	
44	Otros	

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)







**Anexo 3**

*Check List de Inspección Pre-PM 1 de 3*

<b>1 PARTE POSTERIOR MOTOR RH</b>			
85 Bomba de pre-lube :fugas de aceite , soportes , conectores eléctricos			
86 Filtros separadores de agua: fugas por base y por líneas , soportes.			
87 Bomba de transferencia de combustible : fugas de aceite y/o combustible			
88 Bomba de cebado eléctrico (793D) : fugas , hoses dañadas			
89 Bomba de aceite motor: fugas , pernos sueltos			
90 Chequear anclaje turbos			
91 Chequear que no exista fuga gases por turbos			
92 Chequear que no exista fuga gases por TUBOS ESCAPE RH ( revisar clamp, uniones)			
93 Revisar estado mangueras salida de tanque direccion			
94 Revisar estado de acumuladores direccion			
95 Verificar tapas de balancines: fugas de aceite ; pernos faltantes.			
96 Revisar trunion superior SUSPENSION DELANTERA RH			
97 Verificar tubería principales del sistema de admisión RH: abrazaderas, inspección de las mangas de unión y codos que van hacia los turbos : abrazaderas y fugas			
98 Verificar tuberías de ingreso de refrigerante hacia los aftercooler : fugas , abrazaderas y pernos de sujeción.			
99 Verificar tuberías principales de combustible que van a cada culata RH : ingreso y retorno : fugas de combustible , fisuras , abolladuras			
100 Verificar conjunto de respiraderos de motor lado RH : fugas , abrazaderas dañadas , tuberías sueltas o mal direccionadas			
101 Verificar culatas de motor RH : fugas de aceite , fugas de refrigerante , pernos faltantes, tuberías de admisión y de escape .			
102 Verificar aftercoolers : fisuras , rozamientos , pernos de anclaje dañados o faltantes .			
103 Verificar estado mangueras enfriamiento RUEDA RH			
<b>104 PARTE DELANTERA MOTOR RH</b>			
105 Alternador: estado de fajas , fuga de aceite por polea , soportes .			
106 Bomba de refrigerante principal : fuga de aceite por base , agujero testigo			
107 793 D Compresor de A/C : estado de fajas , fuga de aceite por polea , soportes			
108 Templadores de radiador RH : pines , sujetadores			
109 Caja de termostatos : fugas de refrigerante , pernos sueltos/faltantes			
110 Radiador de motor : parte superior : fugas de ELC , rejillas dañadas , fugas , abrazaderas dañadas , tuberías sueltas o mal direccionadas			
111 Inspección de conjunto de ventilador: Fugas por motor hidráulico, soportes ( Para el caso de 793C-B			
112 793D Revisar líneas a motor fan			
113 793 B C Revisar líneas lubricacion FAN ( si tuviera FAN CLUTCH)			
114 793 B C Revisar líneas lubricacion engrase FAN			
115 Revisar gancho motor ( que no choque con caja termostatos)			
<b>3 PARTE POSTERIOR MOTOR LH</b>			
116 Verificar tubería principales del sistema de admisiónLH: abrazaderas, inspección de las mangas de unión y codos que van hacia los turbos : abrazaderas y fugas			
117 verificar tuberías de ingreso de refrigerante hacia los aftercooler : fugas , abrazaderas y pernos de sujeción.			
118 Verificar conjunto de respiraderos de motor lado LH : fugas , abrazaderas dañadas , tuberías sueltas o mal direccionadas			
119 Verificar culatas de motor LH: fugas de aceite , fugas de refrigerante , pernos faltantes, tuberías de admisión y de escape .			
120 Verificar tuberías principales de combustible que van a cada culata LH : ingreso y retorno : fugas de combustible , fisuras , abolladuras			
121 Verificar tapas de balancines: Fugas de aceite ; pernos faltantes.			
122 Chequear anclaje turbos			
123 Chequear que no exista fuga gases por turbos			
124 Chequear que no exista fuga gases por TUBOS ESCAPE LH ( revisar clamp, uniones)			
125 Revisar trunion superior SUSPENSION DELANTERA LH			
126 Arrancador neumático : fugas de aceite , pernos sueltos , líneas de aire			
127 Verificar estado mangueras enfriamiento RUEDA RH			
<b>4 PARTE DELANTERA MOTOR LH</b>			
128 Verificar templadores de radiador : pines , sujetadores			
129 Verificar tubería de aceite motor : Fugas , pernos sueltos			
130 verificar filtros de aceite motor : fugas , pernos de soporte dañados o faltantes,			
131 Verificar tapa de llenado de aceite motor : Fugas , estado de gomas , ajuste			
132 Verificar tubería de succión de bomba de ELC auxiliar : Abrazaderas , fugas			
133 Verificar bomba de refrigerante auxiliar: fugas de aceite por base , agujero testigo			
134 Verificar compresor de aire : Fugas de aceite motor , fugas de aire por líneas , rozamiento , grietas			
135 Verificar damper de motor: fugas de aceite , juego			
136 Chequear fugas debajo cabina( si la hubiera determinar de donde proviene)			
137 Chequear líneas a secadores aire			

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)





**Anexo 4**

*Check List de Inspección Pre-PM 1 de 4*

FORMATO HOJA RUTA DE INSPECCION PREPM CATERPILLAR 793			
II PASOS INSPECCION INFERIOR CAMION			
1	INSPECCION LADO LH INFERIOR		
2	INSPECCION LADO RH INFERIOR		
3	INSPECCION FISURAS FRAME		
1	INSPECCION LADO LH INFERIOR	OK/NO	Observación
138	Inspeccionar estado de valvula neumatica bloqueo		
139	Verificar presencia de barretilla		
140	Chequear tapas tazas de CAJA FILTROS LH		
141	Chequear estado soporte de CAJA FILTROS LH		
142	Radiador de motor parte inferior: tuberías de succión, fugas de ELC , estado de rejillas inferiores, tuberías/ mangueras sueltas o mal direccionadas		
143	Inspección MANGUERAS SALIDA REFRIGERANTE BOMBA AUXILIAR ( fugas , abrazaderas dañadas , tuberías/ mangueras sueltas o mal direccionadas)		
144	Inspeccionar SOPORTE DELANTERO LH MOTOR		
145	Inspección BOMBA AUXILIAR REFRIGERANTE		
146	Inspeccion de COMPRESOR AIRE ( fugas ,tuberías/ mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas)		
147	Inspeccionar protector motor( pernos sueltos/ pernos faltantes)		
148	Inspeccionar valvula llenado aceite motor		
149	Inspeccionar CARTER DELANTERO( fugas)		
150	Inspeccionar tapa llenado aceite motor		
151	Inspeccionar mangueras VALVULA CONTROL DIRECCION ( fugas ,mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas)		
152	Inspeccionar VALVULA CONTROL DIRECCION		
153	Inspeccionar RUEDA DELANTERA LH *(FUGAS)		
154	Inspeccionar mangueras enfriamiento RUEDA DELANTERA LH		
155	Inspeccionar manguera freno RUEDA DELANTERA LH		
156	Inspeccionar SUSPENSION DELANTERA LH ( FUGAS)		
157	Inspeccionar pernos soporte SUSPENSION DELANTERA LH		
158	Inspeccionar pernos soporte RUEDA DELANTERA LH		
159	Inspeccionar SOPORTE POSTERIOR LH MOTOR		
160	Inspeccionar SECADOR AIRE		
161	Arrancador neumático : fugas de aceite , pernos sueltos , líneas de aire		
162	Arrancador neumatico : fugas por línea de gran flujo y líneas de pilotaje.		
163	Inspeccionar CILINDRO DIRECCION LH		
164	Inspeccionar BARRA DIRECCION LH		
165	Inspeccionar TRIANGULO DIRECCION ( que no exista corrimiento pin/ juego)		
166	Inspeccionar mangueras DIRECCION CILINDRO DIRECCION LH		
167	Inspeccionar CARTER POSTERIOR(fugas)		
168	Inspeccionar TUBERIA SALIDA FILTROS ACEITE MOTOR ( verificar pernos, clamp sujecion)		
169	Inspeccionar mangueras combustible (fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
170	Inspeccionar BANCO GRASA LH		
171	Inspeccionar TANQUE COMBUSTIBLE		
172	Inspeccionar mirilla de TANQUE COMBUSTIBLE		
173	Inspeccionar VALVULA LLENADO COMBUSTIBLE		
174	Inspeccionar MANGUERAS ENFRIAMIENTO LADO LH (fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
175	Inspeccionar CONVERTIDOR		
176	Inspeccionar SEAL LIP CONVERTIDOR		
177	Inspeccionar CRUCETA LADO CONVERTIDOR		
178	Inspeccionar CARDAN PRINCIPAL		
179	Inspeccionar BOMBAS CONVERTIDOR ( fuga empaque anclaje, fuga entre cuerpos bombas)		
180	Inspeccionar MANGUERAS CONVERTIDOR ( fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)





**Anexo 5**

*Check List de Inspección Pre-PM 1 de 5*

181	Inspeccionar MANGUERAS FRENO ( fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
182	Inspeccionar PERNOS PIN CENTRAL ( verificar correcto engrase )		
183	Inspeccionar CILINDRO LEVANTE LH		
184	Inspeccionar SOPORTE CILINDRO LEVANTE LH		
185	Inspeccionar MANGUERAS ENFRIAMIENTO MANDO FINAL LH		
186	Inspeccionar SOPORTES GRATING TRANSMISION		
187	Inspeccionar TRANSMISION		
188	Inspeccionar SEAL LIP LADO TRANSMISION		
189	Inspeccionar CRUCETA CARDAN PRINCIPAL LADO TRANSMISION		
190	Inspeccionar MANGUERAS DIFERENCIAL ( fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
191	Mando Final LH: Fugas externas por duo cone.		
192	Inspeccionar anclaje DIFERENCIAL/ TRANSMISION		
193	Filtro de aceite de diferencial : fugas , pernos de sujeción		
194	Inspeccionar SUSPENSION POSTERIOR LH		
195	Inspeccionar engrase de SUSPENSION POSTERIOR LH INFERIOR		
196	Inspeccionar BANCO GRASA POSTERIOR		
197	Inspeccionar seguro BOTAPIEDRA LH		
198	Inspeccionar mirilla de DIFERENCIAL		
<b>2</b>	<b>INSPECCION LADO RH INFERIOR</b>	<b>OK/NO</b>	<b>Observación</b>
199	Inspeccionar seguro BOTAPIEDRA RH		
200	Inspeccionar engrase de SUSPENSION POSTERIOR RH INFERIOR		
201	Inspeccionar SUSPENSION POSTERIOR RH		
202	FDB Inspeccionar mangueras BOMBA RAX ( fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
203	Mando Final RH: Fugas externas por duo cone.		
204	Inspeccionar MANGUERAS TRANSMISION( fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
205	Inspeccionar MANGUERAS ENFRIAMIENTO MANDO FINAL RH		
206	Inspeccionar CILINDRO LEVANTE RH		
207	Inspeccionar SOPORTE CILINDRO LEVANTE RH		
208	Inspeccionar MANGUERAS LEVANTE( fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
209	Inspeccionar VALVULA CONTROL LEVANTE		
210	Inspeccionar MANGUERAS A TANQUE HIDRAULICO ( fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
211	Inspeccionar TANQUE HIDRAULICO		
212	Inspeccionar mangueras a MANDO BOMBAS ( fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
213	FDB Inspeccionar MOTOR ENFRIAMIENTO FRENOS		
214	FDB Inspeccionar BOMBA DIRECCION / BOMBA FAN/ BOMBA LEVANTE ( fuga por sello anclaje)		
215	1HL / 4AR Inspeccionar BOMBAS MANDO BOMBAS ( fuga por sello anclaje)		
216	FDB Inspeccionar tuberías manguera enfriamiento ( fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
217	Inspeccionar MANGUERAS DIRECCION ( fugas , mangueras sueltas o mal direccionadas / dañadas )		
218	Inspeccionar BANCO GRASA RH		
219	Inspeccionar SOPORTE POSTERIOR RH MOTOR		
220	Inspeccionar Tapa de ingreso del piñón de giro de motor : fuga de aceite motor )		
221	Inspeccionar enfriador de aceite motor y de transmisión : fugas de aceite		
222	Inspeccionar CARTER POSTERIOR(fugas)		
223	Inspeccionar RUEDA DELANTERA RH (FUGAS)		
224	Inspeccionar mangueras enfriamiento RUEDA DELANTERA LH		
225	Inspeccionar manguera freno RUEDA DELANTERA LH		
226	Inspeccionar SUSPENSION DELANTERA LH ( FUGAS)		
227	Inspeccionar pernos soporte SUSPENSION DELANTERA RH		
228	Inspeccionar pernos soporte RUEDA DELANTERA RH		
229	Inspeccionar Bomba de pre-lube :fugas de aceite , soportes , conectores eléctricos		
330	Inspeccionar Filtros separadores de agua: fugas por base y por líneas , soportes.		
331	Inspeccionar Bomba de transferencia de combustible : fugas de aceite y/o combustible		
332	Inspeccionar Bomba de aceite motor: fugas , pernos sueltos		
333	Inspeccionar Bomba de refrigerante principal : fuga de aceite por base , agujero testigo		
334	Inspeccionar Radiador de motor : parte delantera : fugas		
335	Inspeccionar SOPORTE DELANTERO RH MOTOR		
336	Inspeccionar Dámper de motor: fugas de aceite , estado de rejillas		
337	Chequear estado soporte de CAJA FILTROS RH		
338	Chequear tapas tazas de CAJA FILTROS RH		

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)





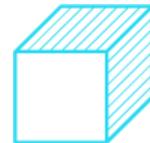
**Anexo 6**

*Check List de Inspección Pre-PM 1 de 6*

3	INSPECCION FISURAS FRAME	OK/NO	Observación
1	ZONA A		
2	ZONA B		
3	ZONA C		
4	ZONA D		
5	ZONA E		
6	ZONA F		
7	ZONA G		
8	ZONA H		
9	ZONA I		
10	ZONA J		
11	ZONA K		
12	ZONA L		
13	ZONA M		
14	ZONA N		
15	ZONA P		

Fuente propia: (Rivero Díaz, 2021)





**Anexo 7**

*Formato de Ruta de Inspección Caterpillar*

FORMATO HOJA RUTA DE INSPECCION PREPM CATERPILLAR 793									
III PASOS PARA REALIZAR EQUIPO ENCENDIDO									
1	EVALUAR FUGAS POR ROTOCHAMBERS								
2	MEDICION VIBRACION EQUIPO								
3	MEDICION JUEGO PINES								
4	MEDICION JUEGO PINES TREN DIRECCION								
5	EVALUACION PIN ARM CENTER								
6	EVALUACION CILINDRO LEVANTE								
7	EVALUACION TERMOGRAFIA								
1 EVALUAR FUGAS POR ROTOCHAMBERS									
Aplicar freno retardo, y verificar que por los respiraderos de rotochambers no exista fuga aire.									
2 MEDICION VIBRACION EQUIPO									
<b>Condiciones</b>	Equipo parqueado con trancallantas. Realizar pruebas en altas RPM								
<b>Componente</b>	MOTOR					C/T	XMSN	MANDO BBS	
<b>Ubicación</b>	Damper	Soporte Delantero LH	Soporte Delantero RH	Soporte Posterior LH	Soporte Posterior RH	Vibracion C/T Axial	Caja Reductora Radial	Mando de bombas	
<b>Punto</b>	A	C	B	G	H	K	P	R	
<b>Medida Altas RPM</b>									
<b>Limite</b>	14.93	25.82	25.82	13.47	13.47	13.98	4.69	1.8	

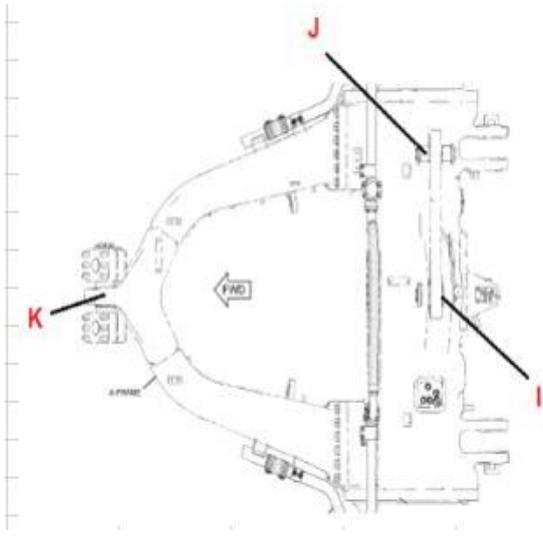
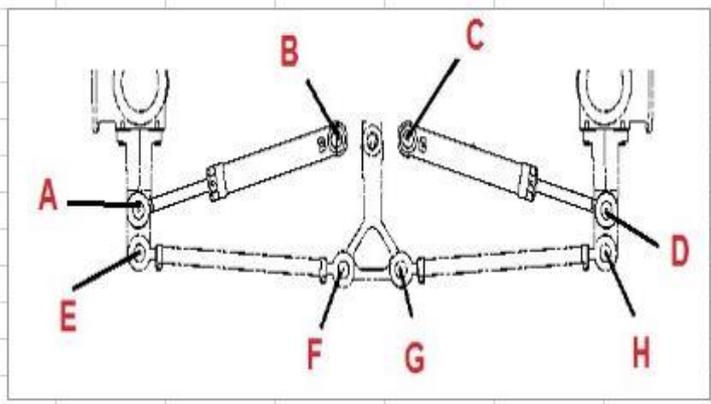
  

Fuente: (Caterpillar INC, 2005)





**Anexo 8**  
*Medición Juego Pin Central*

3 MEDICION JUEGO PIN CENTRAL								
Verificar pernos sujecion de pin central								
Si medida en punto K supera 0.26` , enviar correo para pronta atencion								
Componente	Pin Central	Rod Control						
Ubicación	Pin Central	Pin Superior	Pin Inferior					
Punto	K	I	J					
Medida								
Limite	0.26"	0.1"	0.1"					
								
4 MEDICION JUEGO PIN CENTRAL								
Verificar que las rotulas no tengan juego, ni presenten desgaste, al momento de realizar juego direccion.								
Componente	Tren Direccion							
Ubicación	Cilindro LH		Cilindro RH		Barra LH		Barra RH	
Punto	A	B	C	D	E	F	G	H
Medida								
Limite	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
								

Fuente: (Cerro Verde, 2021)





**Anexo 9**  
*Evaluación Pin Arm Center*

<p><b>5 EVALUACION PIN ARM CENTER</b></p> <p>Verificar que pin arm center no presente desgaste, ni juego, al momento de realizar juego direccion.</p>
<p><b>6 EVALUACION CILINDRO LEVANTE</b></p> <p>Evaluar que cilindros de levante LH RH, no presenten juego bearing SUPERIOR.</p>
<p><b>7 EVALUACION TERMOGRAFIA</b></p> <p>CONDICIONES. Apagar A/C. Maxima rpm.</p> <p>Puntos de medicion</p> <p>1 Radiador</p> <p>2 Salida, tina inferior</p> <p>3 Entrada, tina superior</p>

Fuente: (Cerro Verde, 2021)





