

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTION DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL SISTEMA DE FLOTA “MINESTAR” PARA REDUCIR COSTOS EN UNA EMPRESA MINERA EN JUNÍN

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Victor Fernando Landeo Guerra

Asesor:

Ing. Mg. Rafael Luis Alberto Castillo Cabrera

Cajamarca - Perú

2021



DEDICATORIA

A mi **HERMANA**, por creer siempre en mí, por sus enseñanzas, por sus consejos y por el aliento que siempre me dedica, sin esperar recibir nada a cambio. A mis **PADRES** por enseñarme el amor a Dios, a tener buenos valores, la unión familiar por sobre todas las cosas, querer y respetar a nuestro prójimo. A mi **ESPOSA e HIJOS** por ser mi aliento para seguir adelante en la vida y continuar estudiando.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fortaleza a pesar de muchas adversidades de la vida, a mis padres por su apoyo a seguir estudiando pensando en mi futuro, por los consejos para alcanzar mis metas y objetivos, a mi hermana por su respaldo y aliento a seguir adelante.

También, agradecer a mi asesor Ing. Rafael Castillo Cabrera, quien me apoyó en el desarrollo del presente proyecto.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
INDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Realidad problemática	13
1.2 Formulación del problema.....	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo general	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 Hipótesis	16
1.4.1 Hipótesis general	16
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	17
2.1 Tipo de investigación.....	17
2.2 Población y muestra.....	18
2.2.1 Población	18
2.2.2 Muestra	18
2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	19
2.3.1 Técnica de observación directa	19
2.3.2 Técnica de análisis estadístico.....	20
2.3.3 Método Ishikawa	21
2.4 Procedimiento.....	21

2.4.1	Análisis Estadístico	21
2.4.2	Diagnostico Ishikawa	21
2.4.3	Matriz de prioridades.....	24
2.4.4	Diagrama Pareto	24
2.4.5	Indicadores	26
2.4.6	Causa raíz 1: No existe plan de mantenimiento	27
2.4.7	Causa raíz 2: No se cuenta con procedimientos estándares de trabajo.....	53
2.4.8	Causa raíz 3: Falta de repuestos en stock	75
2.4.9	Evaluación económico financiero	82
2.5	Aspectos éticos	86
CAPÍTULO III. RESULTADOS		87
3.1	Resultado total del estudio.....	87
3.1.1	Resultado de causa raíz 1	89
3.1.2	Resultado de causa raíz 2	91
3.1.3	Resultado de causa raíz 3	94
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		96
4.1	Discusión	96
4.2	Conclusiones.....	98
REFERENCIAS.....		100
ANEXOS		103

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño transversal.....	17
Tabla 2. Población total de equipos en mina	18
Tabla 3. Reporte anual de fallas del sistema minestar	19
Tabla 4. Muestras camiones y palas	19
Tabla 5. Reporte de paradas de los equipos durante un año	20
Tabla 6. Matriz de prioridades	24
Tabla 7. Matriz de indicadores.....	26
Tabla 8. Sobrecosto por falta de plan de mantenimiento.....	28
Tabla 9. Porcentaje de mantenimiento correctivo.....	29
Tabla 10. Cálculo de MTBF y número de fallas al año en camiones	40
Tabla 11. Programa anual de mantenimiento sistema minestar en camiones.....	41
Tabla 12. Cálculo de MTBF y número de fallas al año en palas	48
Tabla 13. Programa anual de mantenimiento sistema minestar en palas.....	49
Tabla 14. Plan de capacitación.....	50
Tabla 15. Cursos de capacitación para ingenieros y técnicos.....	51
Tabla 16. Programa de capacitación anual	52
Tabla 17. Costo por reparaciones correctivas en campo para camiones.....	53
Tabla 18. Porcentaje de procedimientos estándares	54
Tabla 19. Costo por parada de equipos auxiliares	76

Tabla 20. Incumplimiento de componentes por parte de logística	77
Tabla 21. Lote económico de compra.....	79
Tabla 22. Punto de reposición.....	80
Tabla 23. Costos propuesta de solución causa raíz 1.....	82
Tabla 24. Costos propuesta de solución causa raíz 2.....	83
Tabla 25. Costos propuesta de solución causa raíz 3.....	83
Tabla 26. Flujo de caja y análisis costo beneficio	84
Tabla 27. Pérdida antes de la implementación vs pérdida después de la implementación de las propuestas de mejora.....	88
Tabla 28. Costos antes de plan versus costos después de implementación del plan de mantenimiento.....	90
Tabla 29. Costo por componente antes de plan versus costo después de implementación del plan de mantenimiento.....	90
Tabla 30. Pérdida antes de implementación de plan de mantenimiento versus beneficio de la implementación de plan de mantenimiento	91
Tabla 31. Costo antes de la propuesta versus costo después de la implementación de procedimientos de mantenimiento	92
Tabla 32. Costo por componente antes de procedimientos versus costo después de implementación de procedimientos de mantenimiento.....	93
Tabla 33. Pérdida de causa raíz 2 antes de la propuesta versus el beneficio de procedimientos de mantenimiento.....	93

Tabla 34. Costo antes de la propuesta versus costo después de diseño del requerimiento de órdenes de compra94

Tabla 35. Costo por componente antes de implementación versus costo después de implementación EOQ – ROP.....95

Tabla 36. Costo antes de la propuesta versus costo después de diseño del requerimiento de órdenes de compra95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grafica de método Ishikawa	21
Figura 2. Diagnóstico Ishikawa	23
Figura 3. Diagrama Pareto	25
Figura 4. Flujo de proceso para mantenimiento preventivo	30
Figura 5. Flujo de evaluación de falla para pantallas.....	31
Figura 6. Flujo de evaluación de falla Módulo de control electrónico	32
Figura 7. Flujo de evaluación de falla para GPS en camiones.....	33
Figura 8. Flujo de evaluación de falla para GPS en palas	34
Figura 9. Actividades de mantenimiento preventivo en camiones	36
Figura 10. Check list de actividades de mantenimiento en camiones.....	37
Figura 11. Inspección y flasheo de ECM y Receptor GPS	38
Figura 12. Inspección de antena GPS y cableado	38
Figura 13. Inspección y flasheo de pantalla CMPD	39
Figura 14. Inspección de alimentación eléctrica y batería.....	39
Figura 15. Actividades de mantenimiento preventivo a palas CAT 7495	44
Figura 16. Check list de inspección en palas	45
Figura 17. Inspección de pantalla táctil G610	46
Figura 18. Flasheo y configuración de componentes.....	46
Figura 19. Inspección de antenas GPS´s.....	47

Figura 20. Inspección de alimentación eléctrica y UPS	47
Figura 21. Flujo para la aprobación de los procedimientos estándares de trabajo	55
Figura 22. Punto de reorden en camiones	81
Figura 23. Punto de reorden en camiones	81
Figura 24. Almacén de componentes minestar	82
Figura 25. Variable independiente sobre variable dependiente	87

RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación fue diseñar un sistema de gestión de mantenimiento al sistema de flota minestar para reducir los costos en una empresa minera a tajo abierto. Para ello se ha establecido objetivos específicos que fueron realizar el diagnóstico actual del área, diseñar un plan de mantenimiento preventivo, elaborar procedimientos de mantenimiento, aplicar EOQ – ROP y realizar el análisis económico de la gestión de mantenimiento. La investigación fue de nivel aplicativo y diseño cuasiexperimental. La población fueron todos los equipos de la flota de mina y la muestra fueron los 30 camiones CAT-797F y las 5 palas CAT-7495 para lo cual se utilizó criterios de selección porque son los equipos relacionados directamente con la producción. El diagnóstico mediante el análisis Ishikawa determinó que el problema principal que afecta a la empresa es el sobre costo de mantenimiento que asciende a una pérdida anual de S/. 1,598,015.20. El plan de mantenimiento y los procedimientos estándares del hardware consiste en la elaboración de diagramas de flujos de los procesos, checklist de mantenimiento, programación de mantenimiento, detalle de las actividades de mantenimiento, plan y programa de capacitación, EOQ – ROP. Con la gestión de mantenimiento los costos se redujeron anualmente a S/. 639,206.08, lo cual evidenció un beneficio anual de S/ 958,809.12 con una reducción del 60% en los costos de operación para los trabajos de mantenimiento. Además, el estudio es viable ya que tiene un VAN de S/. 696,133, un TIR de 65% y B/C de 2.41.

Palabras clave: Plan de mantenimiento, costos, EOQ, ROP.

ABSTRACT

The main objective of the present research was to design a maintenance management system for the Minestar fleet system to reduce costs in an open pit mining company. For this, specific objectives have been established, which were carried out with the current diagnosis of the area, design a preventive maintenance plan, develop maintenance procedures, apply EOQ - ROP and perform the economic analysis of maintenance management. The research was of an applicative level and a quasi-experimental design. The population consisted of all the equipment of the mine fleet and the sample was the 30 CAT-797F trucks and the 5 CAT-7495 shovels for which selection criteria were used because they are the equipment directly related to production. The diagnosis through the Ishikawa analysis determined that the main problem affecting the company is the high maintenance cost that amounts to an annual loss of S / 1,598,015.20. The maintenance plan and hardware standards procedures consists of the elaboration of process flow diagrams, maintenance checklist, maintenance schedule, detail of maintenance activities, training plan and program, EOQ - ROP. With maintenance management, costs were reduced annually to S / 639,206.08, which shows an annual benefit of S / 958,809.12 with a 60% reduction in operating costs for maintenance work. In addition, the study is viable since it has a NPV of S / 696,133, an IRR of 65% and B / C of 2.41.

Keywords: Maintenance plan, costs, EOQ, ROP.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

En la actualidad las empresas mineras a tajo abierto buscan la eficiencia total en los procesos de producción y contar con la mayor productividad posible de la maquinaria pesada por su gran envergadura y altos costos. Esta maquinaria depende de sistemas de tecnología para la recolección, análisis y toma de decisiones; en base a información de producción recolectada en tiempo real. Por tal motivo León (2020) en su tesis “Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y aplicación de herramientas logísticas y de gestión de procesos para reducir los costos operacionales en el área de mantenimiento de la empresa servicios Santa Gabriela S.A.C.” utilizó herramientas de ingeniería basado al mantenimiento autónomo. Obteniendo una recuperación del 70% de las pérdidas iniciales relacionados a los costos de operación, con este resultado manifiesta que se debe poner énfasis en la prevención de los equipos. Por otra parte Palomino (2019) en su tesis “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para los equipos e instalaciones del hospital San José Lima – Perú”, indica que, Hoy en día el mantenimiento industrial, es la función que se encarga de la planificación y ejecución de ciertas acciones que tienen como función preservar o restablecer un sistema productivo o equipo a un estado específico, para que así pueda cumplir con las metas propuestas, pero sin embargo; uno de los problemas actuales es que la mayoría de las empresas funcionan de tal manera que el mantenimiento tiende a reducirse a las acciones correctivas, es por ello que en toda gestión de mantenimiento debe existir un programa en el cual se planifique y ejecute con diversas acciones de prevención las cuales va a permitir lograr una mejor y mayor coordinación en la ejecución de los proyectos.

Ramos, Villar (2020) en su tesis “Diseño de estrategias de mantenimiento con la metodología TPM para mejorar la disponibilidad de las electrobombas flygt 2400 en el área de drenaje de una empresa Minera en Cajamarca” diseñaron estrategias de mantenimiento específicas para este tipo de equipos, las cuales se lograron con el uso de la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM), con estas estrategias propuestas lograron representar ahorros para la empresa minera en su estudio.

Por otro lado, Valderrama (2020) en su tesis “Diseño de un plan de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de una flota de cargadores frontales modelo 966-G de la

empresa Autocentro Cajamarca S.R.L.” Para su estudio indica que estableció objetivos específicos que fueron: Realizar el diagnóstico actual del mantenimiento, diseñar el plan de mantenimiento, evaluar las posibles mejoras en la disponibilidad, la cual obtuvo mediante la elaboración de formatos de inspección, checklist de los equipos, programas de mantenimiento y un plan para la ejecución de los trabajos.

La empresa minera a tajo abierto en estudio está ubicada en el departamento de Junín donde el área de Operaciones Mina realiza el control de producción del material movido (mineral y/o desmonte) por los equipos de producción (camiones y palas) automáticamente mediante el sistema de flota Minestar, el cual es instalado independientemente a cada equipo de acuerdo al hardware correspondiente. Con la información que se cuenta del área como especificaciones técnicas de los equipos, “special instruction” e inventario de flota se encontró que uno de los problemas principales es la falta de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para el hardware, esto ocasiona que el 100% de los trabajos sean puramente correctivos y al no contar con los repuestos necesarios en el momento de la falla se retiran un promedio de 23 veces al mes los componentes de otros equipos de menor prioridad como son los tractores de rueda, tractores de oruga, motoniveladoras, camiones cisternas para reemplazarlos temporalmente hasta solicitar la compra y llegada de repuestos de los equipos de alta prioridad que son camiones y palas.

Cuando los equipos están en estado de producción y deja de funcionar el hardware del sistema de flota Minestar, el despachador de control mina deja de percibir la producción y la ubicación del equipo en tiempo real lo que conlleva a que realice asignaciones manuales de carguío y acarreo a través de la radio de comunicación, el número de asignaciones manuales son 15 veces aproximadamente por turno de 12 horas de trabajo en cada camión o hasta que se repare el sistema de flota deteniendo la producción para su reparación en campo.

Al no contar con un sistema de gestión de mantenimiento preventivo al hardware del sistema de flota minestar se produce un sobrecosto de operación, un inadecuado control de los tiempos de cada actividad de mantenimiento ya que no se cuenta con un plan. También no cuenta con un programa de mantenimiento preventivo anual y una falta adecuada de control de inventarios de repuestos para cambios y compras.

Por ello la presente investigación pretende reducir los costos de operación con la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo al hardware del sistema de flota Minestar en todos los equipos de producción (camiones y palas) por su importancia en la reducción de trabajos correctivos en campo y mejorar la productividad de los equipos.

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es el impacto de la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo del sistema de flota “Minestar” sobre los costos en una empresa minera, del departamento de Junín?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar el impacto de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo del sistema de flota “Minestar” sobre los costos en una empresa minera en Junín.

1.3.2 Objetivos específicos

- Hacer el diagnóstico de los costos de la situación actual del mantenimiento de un sistema flota en una empresa minera.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo y elaborar procedimientos estándares de trabajo para el mantenimiento preventivo del hardware de acuerdo con el equipo de cada flota. Además, aplicar las herramientas logísticas EOQ – ROP con las demandas reales de componentes.
- Evaluar económicamente la propuesta del sistema de gestión de mantenimiento preventivo.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo del sistema de flota “Minestar” reduce los costos en una empresa minera ubicada en el departamento de Junín.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

Por su propósito: La presente investigación fue aplicada porque se orienta a resolver problemas al proponer una implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo de acuerdo a las fallas, características y problemas encontrados en el hardware del sistema Minestar en la empresa minera en estudio.

Por su Enfoque: La investigación es cuantitativa ya que la variable dependiente es numérica (costos) y se utiliza herramientas de ingeniería como gestión de mantenimiento, procedimientos de mantenimiento y herramientas logísticas para así obtener resultados positivos como propuestas de mejora para el problema principal que es el sobre costo de mantenimiento.

Por su Diseño: La investigación fue de tipo cuasiexperimental ya que se manipula la variable independiente (gestión de mantenimiento) sobre la variable dependiente (costos), además en dicho proyecto se utilizó los camiones y palas que son un grupo preestablecido por criterios de selección y se realizó una pre prueba (diagnóstico actual de los costos), un tratamiento (gestión de mantenimiento) y una post prueba (reducción de costos con las propuestas de mejora). Tabla N° 1: Diseño transversal.

Tabla 1.

Diseño transversal

Grupo de estudio	Asignación	Pre prueba	Tratamiento	Post prueba
Camiones y palas	Por conveniencia	Diagnóstico actual de los costos	Gestión de mantenimiento	Reducción de costos con las propuestas de mejora

Fuente: Elaboración propia

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

Para el estudio de la presente tesis se consideró como población a toda la flota actual de equipos pesados que cuenta la compañía minera, el cual se muestra en la tabla N° 2: Población total de equipos en mina.

Tabla 2.

Población total de equipos en mina

Cantidad	Tipo de equipo	Equipos	Modelos	Códigos
30	Producción	Camiones	CAT-797F	Camión Minero "CM"
5	Producción	Palas eléctricas	CAT-7495	Palas "PL"
5	Auxiliar	Perforadoras Eléctricas	PV-351	Perforadoras "PD"
5	Auxiliar	Tractores de Oruga	CAT-D11T	Tractores de Oruga "TO"
5	Auxiliar	Tractores de Rueda	CAT-854K	Tractores de Rueda "TR"
5	Auxiliar	Motoniveladoras	CAT-24M	Motoniveladoras "MN"
3	Auxiliar	Camiones Cisternas	CAT-777G	Camiones Cisternas de Agua "CMA"

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Muestra

Para el estudio de la presente tesis el autor utiliza criterios de selección por considerar que los equipos que tienen mayor impacto en la producción son los camiones y palas. Esto se debe a que ellos realizan el movimiento de material (mineral y/o desmonte), también se tuvo en cuenta el reporte de fallas de todos los equipos de mina y se determinó que los equipos que tienen la mayor cantidad de fallas son los camiones con 54% de las fallas totales y las palas con 15% de las fallas totales al año, en la tabla N° 3: se muestra el reporte de fallas de los equipos de mina durante el año en estudio y en la tabla N° 4: Muestra camiones y palas, se observa la cantidad de equipos para el presente estudio.

Tabla 3.

Reporte anual de fallas del sistema minestar

Reporte anual de número de fallas de componentes minestar									
Equipos de mina	CMPD y/o G610	ECM	Antena GPS 1	Antena GPS 2	Receptor GPS	Batería	UPS	Total, de paradas	Porcentaje de fallas
Camiones CAT-797F	48	48	48	N/A	48	48	N/A	240	54%
Palas CAT-7495	19	N/A	16	16	N/A	N/A	17	68	15%
Equipos auxiliares de mediana precisión	20	17	21	N/A	8	24	N/A	89	20%
Equipos auxiliares de alta precisión	11	N/A	16	16	N/A	N/A	8	50	11%
								448	100%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.

Muestras camiones y palas

Cantidad	Tipo de equipo	Equipos	Modelos	Códigos
30	Producción	Camiones	CAT-797F	Camión Minero "CM"
5	Producción	Palas eléctricas	CAT-7495	Palas "PL"

Fuente: Elaboración propia

2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1 Técnica de observación directa

Para el desarrollo de la tesis se utilizó la técnica de observación directa en campo. Se utilizó como instrumentos: cámara fotográfica, cuaderno de apuntes y lapiceros.

Se utilizó para el análisis de la información: 1 laptop. Se realizó el reconocimiento del trabajo de los camiones y palas y con ello se realiza el listado respectivo de cada componente del sistema de flota Minestar instalado en estos equipos, los cuales se asocian al número de serie. (ver anexo 1 y 2)

Sistema Minestar en camiones CAT-797F cuenta con los siguientes componentes:

- Pantalla táctil CMPD.
- ECM Modulo electrónico de control.
- Receptor GPS.
- Batería de protección.
- Antena GPS.

Sistema Minestar en palas CAT-7495 cuenta con los siguientes componentes:

- Pantalla táctil G610
- Antena GPS 1.
- Antena GPS 2.
- UPS de protección.

2.3.2 Técnica de análisis estadístico

Con la información que se cuenta del área de operaciones mina se determinó que todas las fallas ocurridas fueron solucionadas al 100% por acciones correctivas, además se obtuvo que las fallas más comunes en camiones son: las pantallas CMPD, módulos de control electrónico y en las palas es: la pantalla G610, los cuales son los equipos tomados como muestra. Como instrumento se elaboró una tabla con el contenido total de cambios realizados de todos los componentes durante el año, tabla N° 5: Reporte de paradas de los equipos durante el año en estudio.

Tabla 5.

Reporte de paradas de los equipos durante un año

Reporte anual de número de cambio de componentes							
EQUIPOS DE PRODUCCION	CMPD y/o G610	ECM	Antena GPS 1	Antena GPS 2	Receptor GPS	Batería	UPS
Camiones CAT-797F	48	48	48	N/A	48	48	N/A
Palas CAT-7495	19	N/A	16	16	N/A	N/A	17

Fuente: Área de Operaciones mina

2.3.3 Método Ishikawa

Para la presente investigación se utilizó el método Ishikawa identificando las causas que originan el problema principal, figura 1: Gráfica de método Ishikawa.

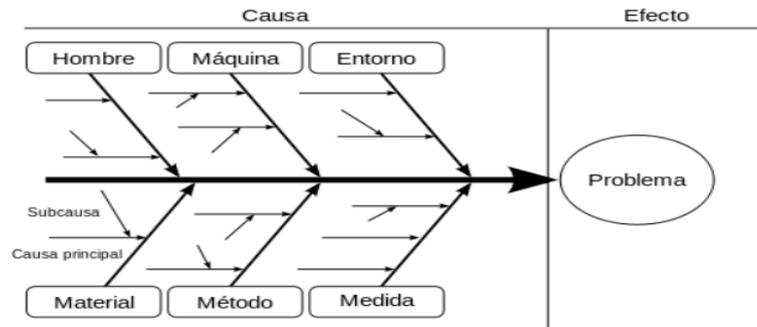


Figura 1. Gráfica de método Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

2.4 Procedimiento

Para contrastar la Hipótesis del trabajo de investigación y elaborar el desarrollo de la tesis se siguieron los siguientes pasos:

2.4.1 Análisis Estadístico

- Se revisó el control de componentes en cada equipo.
- Fecha de instalación de componentes Minestar a los camiones y palas.
- Se revisó los reportes de paradas de los equipos: camiones y palas.
- Se revisó los reportes de paradas de equipos auxiliares.

2.4.2 Diagnostico Ishikawa

Utilizando el método Ishikawa se pudo identificar los problemas con sus causas raíces que originan sobrecostos en el área de Operaciones mina de la empresa minera ubicado en el departamento de Junín

Con la información obtenida del área se pudo determinar 4 problemas:

- Problema 1: Rendimiento inadecuado de los componentes, se determinó obteniendo el sobrecosto de los componentes por tiempo de vida útil

relacionado por el tiempo de vida real, el cual tuvo como causa raíz “No existe plan de mantenimiento”.

- Problema 2: Mantenimiento inadecuado, se determinó obteniendo el sobrecosto por reparaciones correctivas en campo, el cual tuvo como causa raíz “No se cuenta con procedimientos estándares de trabajo seguro”.
- Problema 3: Retiro de componentes en equipos de baja prioridad, se determinó obteniendo el costo de paradas de equipos auxiliares para retiro de componentes por falta de stock, el cual tuvo como causa raíz “Falta de repuestos en stock”.
- Problema 4: Técnicos con poca experiencia para el sistema, se determinó obteniendo el sobrecosto por exceso de tiempo en la reparación, el cual tuvo como causa raíz “Falta de capacitación a los técnicos”.

En la figura 2: Diagnóstico Ishikawa, muestra los 4 problemas con sus causas raíz y el problema principal “Sobrecosto de mantenimiento al sistema de flota minestar”.

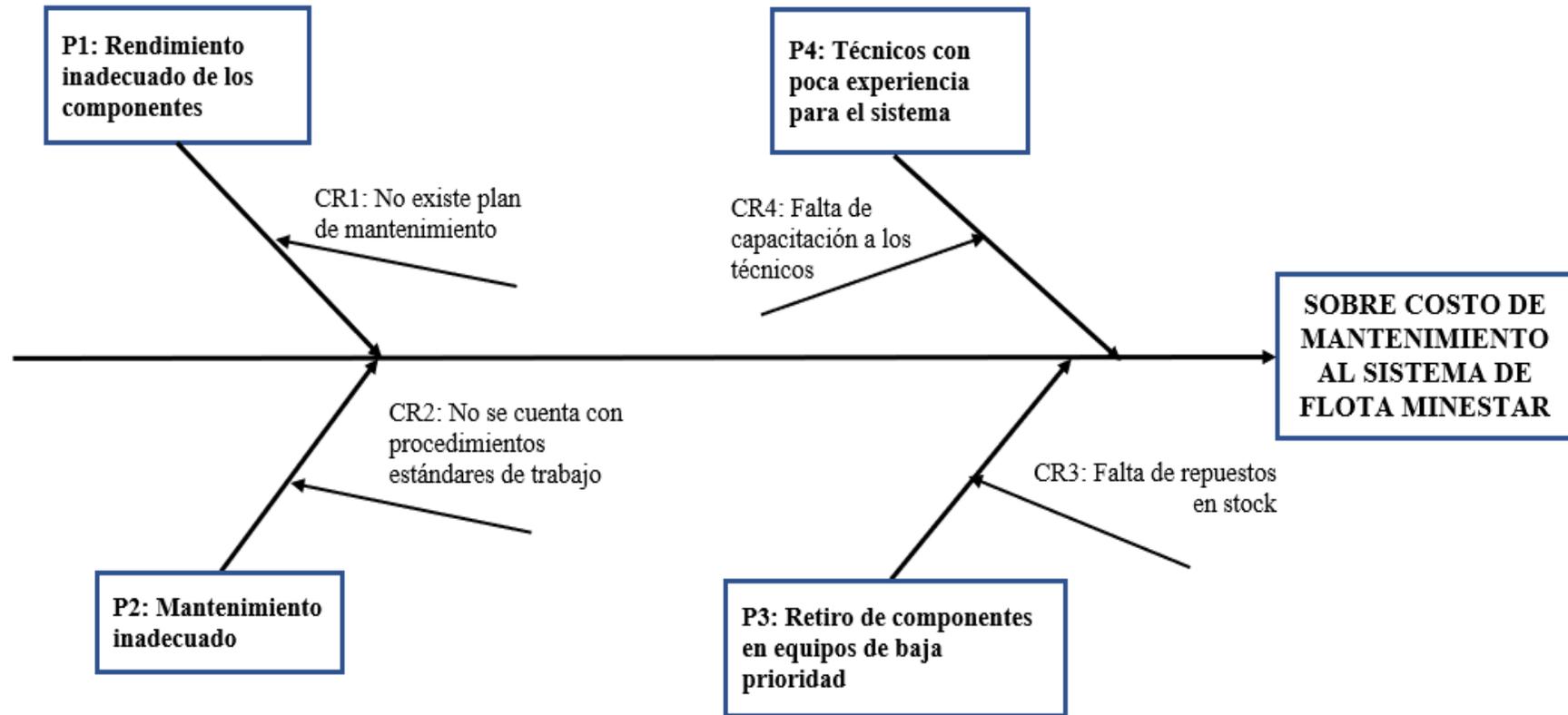


Figura 2. Diagnóstico Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

2.4.3 Matriz de prioridades

Una vez determinado los problemas con sus causas raíz. En la Tabla 6: Matriz de Prioridades, se observa los cálculos de los sobrecostos de cada causa que afectan directamente a la empresa. CR1 y CR2 son los que originan los sobrecostos más altos y en la tabla: Matriz de indicadores.

Tabla 6.

Matriz de prioridades

Pérdidas por falta de gestión de mantenimiento				
Causa Raíz	Frecuencia	%	Acumulado	%Acumulado
CR1	S/ 60,925.01	41.98%	S/ 60,925.01	41.98%
CR2	S/ 45,511.60	31.36%	S/ 106,436.61	73.35%
CR3	S/ 26,731.32	18.42%	S/ 133,167.93	91.77%
CR4	S/ 11,945.38	8.23%	S/ 145,113.31	100.00%
Total	S/ 145,113.31	100.00%		

Fuente: Elaboración propia

2.4.4 Diagrama Pareto

Con el diagrama Pareto se identificó que el 80% de los sobrecostos que originan pérdidas a la empresa están entre CR2 y CR3, para el desarrollo de la investigación se consideró como vitales: CR1, CR2, y CR3 y como triviales solo a CR4. Figura 3: Diagrama Pareto

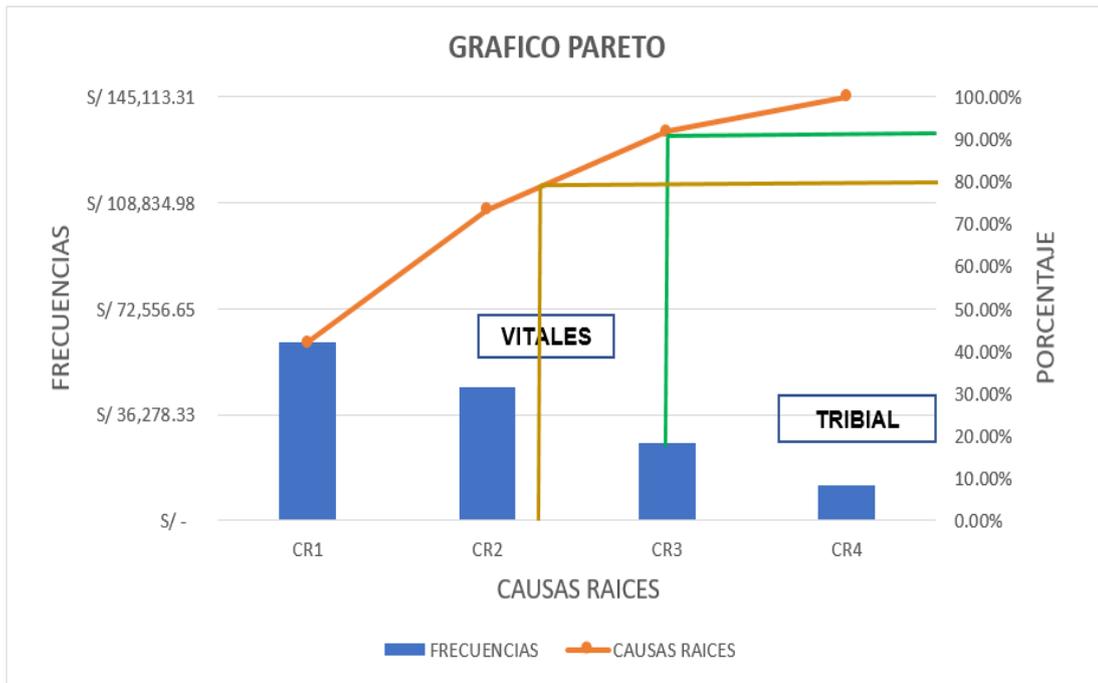


Figura 3. Diagrama Pareto

Fuente: Elaboración propia

2.4.5 Indicadores

Tabla 7.

Matriz de indicadores

Matriz de indicadores						
CAUSA RAIZ	INDICADOR	FORMULA	V.A.	V.M.	BENEFICIO	HERRAMIENTA
CR1: No existe plan de mantenimiento	Costo mensual por inexistencia de plan de mantenimiento	$\sum (\text{N}^\circ \text{ de equipos} \times \% \text{ de inoperatividad} \times \text{precio unitario})$	S/ 60,925.01	S/ 24,370.01	S/ 36,555.01	Plan de mantenimiento preventivo
	% Mantenimiento correctivo	$\frac{\text{Mantenimiento correctivo existente}}{\text{Mantenimiento total}} \times 100\%$	100%	40%		
CR2: No se cuenta con procedimientos estándares de trabajo	Costo mensual por no contar con procedimientos estándares de trabajo	$\sum (\text{Tiempo promedio para reparaciones} \times \text{costo de } T_n \text{ movida} \times \# \text{ promedio de paradas})$	S/ 45,511.60	S/ 18,204.64	S/ 27,306.96	Procedimientos estándares de trabajo seguro para el mantenimiento
	% de procedimientos estándares de trabajos seguro	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de procedimientos estandarizados}}{\text{N}^\circ \text{ de procedimientos totales}} \times 100\%$	0%	100%		
CR3: Falta de repuestos en stock	Costo por falta de repuestos en stock	$\sum (\text{Tiempo promedio para reparaciones} \times \# \text{ promedio de paradas} \times \text{costo de hora de trabajo})$	S/ 26,731.32	S/ 10,692.53	S/ 16,038.79	EOQ / ROP
	Incumplimiento de componentes a logística	$\sum (\text{N}^\circ \text{ de componentes solicitados incumplidos})$	23	9		

Fuente: Elaboración propia

2.4.6 Causa raíz 1: No existe plan de mantenimiento

En esta causa raíz se determinaron 2 indicadores:

Indicador 1: Sobrecosto mensual por inexistencia de plan de mantenimiento

Para determinar el sobrecosto primero se obtuvo información del proveedor con respecto al tiempo de vida útil de cada componente y el tiempo real de vida teniendo en cuenta las condiciones climáticas extremas de la mina (lluvias, nieve, polvo, frío, vibraciones, entre otras) con esta información se obtuvo un porcentaje de inoperatividad, luego se obtuvo el precio de cada componente y finalmente se tomó la muestra de 30 camiones y 5 palas. Teniendo estos 3 valores se obtuvo un lucro cesante anual de cada componente para luego determinar el lucro cesante mensual. En la tabla N° 8: Sobrecosto por falta de plan de mantenimiento, se observa que el lucro cesante mensual asciende a S/. 60,925.01; este valor indica que hay una pérdida en la empresa por falta de mantenimiento preventivo al sistema de flota de la empresa minera.

Tabla 8.

Sobrecosto por falta de plan de mantenimiento

Sobrecosto por falta de plan de mantenimiento									
Equipos	Componentes	Número de equipos	Tiempo promedio de Vida útil (años)	Tiempo de vida sin MP (años)	Tiempo perdido de vida útil (años)	% de inoperatividad	Precio unitario (S/)	Costo total (S/)	Lucro cesante (S/)
Hardware en camiones 797F	Pantalla CMPD	30	3	1.2	1.8	60%	S/ 5,517.60	S/ 165,528.00	S/ 99,316.80
	Módulo de control electrónico		2	0.8	1.2	60%	S/ 10,349.13	S/ 310,473.90	S/ 186,284.34
	Receptor GPS		3	1.2	1.8	60%	S/ 7,107.54	S/ 213,226.20	S/ 127,935.72
	Antena GPS		2	0.8	1.2	60%	S/ 1,404.81	S/ 42,144.30	S/ 25,286.58
	Batería de protección		1	0.4	0.6	60%	S/ 3,176.25	S/ 95,287.50	S/ 57,172.50
Hardware en palas CAT 7495	Pantalla G610	5	3	1.2	1.8	60%	S/ 30,698.91	S/ 153,494.55	S/ 92,096.73
	Antena GPS 1		3	1.2	1.8	60%	S/ 16,650.81	S/ 83,254.05	S/ 49,952.43
	Antena GPS 2		3	1.2	1.8	60%	S/ 16,650.81	S/ 83,254.05	S/ 49,952.43
	UPS de protección		3	1.2	1.8	60%	S/ 14,367.54	S/ 71,837.70	S/ 43,102.62
								Anual	731,100.15
								Mensual	60,925.01

Fuente: Elaboración propia

Indicador 2: Porcentaje de mantenimiento correctivo

Para determinar este indicador se obtuvo la información de la cantidad de paradas por mantenimientos correctivos y la cantidad de mantenimientos totales. Tabla N° 9: Porcentaje de mantenimiento correctivo, muestra la información obtenida se encontró que la empresa realiza trabajos puramente correctivos por lo que la cantidad de paradas por mantenimiento correctivos es igual a la cantidad de mantenimientos totales que sería el 100%.

Tabla 9.

Porcentaje de mantenimiento correctivo

Porcentaje de mantenimiento correctivo				
Equipos	Componentes	#Promedio de paradas - año	#Promedio total de paradas - año	% de mantenimiento correctivo
Hardware en camiones 797F	Pantalla CMPD	48	48	100%
	Módulo de control electrónico	48	48	100%
	Receptor GPS	48	48	100%
	Antena GPS	48	48	100%
	Batería de protección	48	48	100%
Hardware en palas CAT 7495	Pantalla G610	19	19	100%
	Antena GPS 1	16	16	100%
	Antena GPS 2	16	16	100%
	UPS de protección	17	17	100%
		337	337	100%

Fuente: Elaboración propia

Propuesta de solución para la causa raíz 1

Como primer paso para la propuesta de solución de esta causa raíz se elaboró el flujo para el proceso de mantenimiento preventivo y los flujos de evaluación de componentes en caso de fallas. Figura 4: Flujo de proceso para mantenimiento.

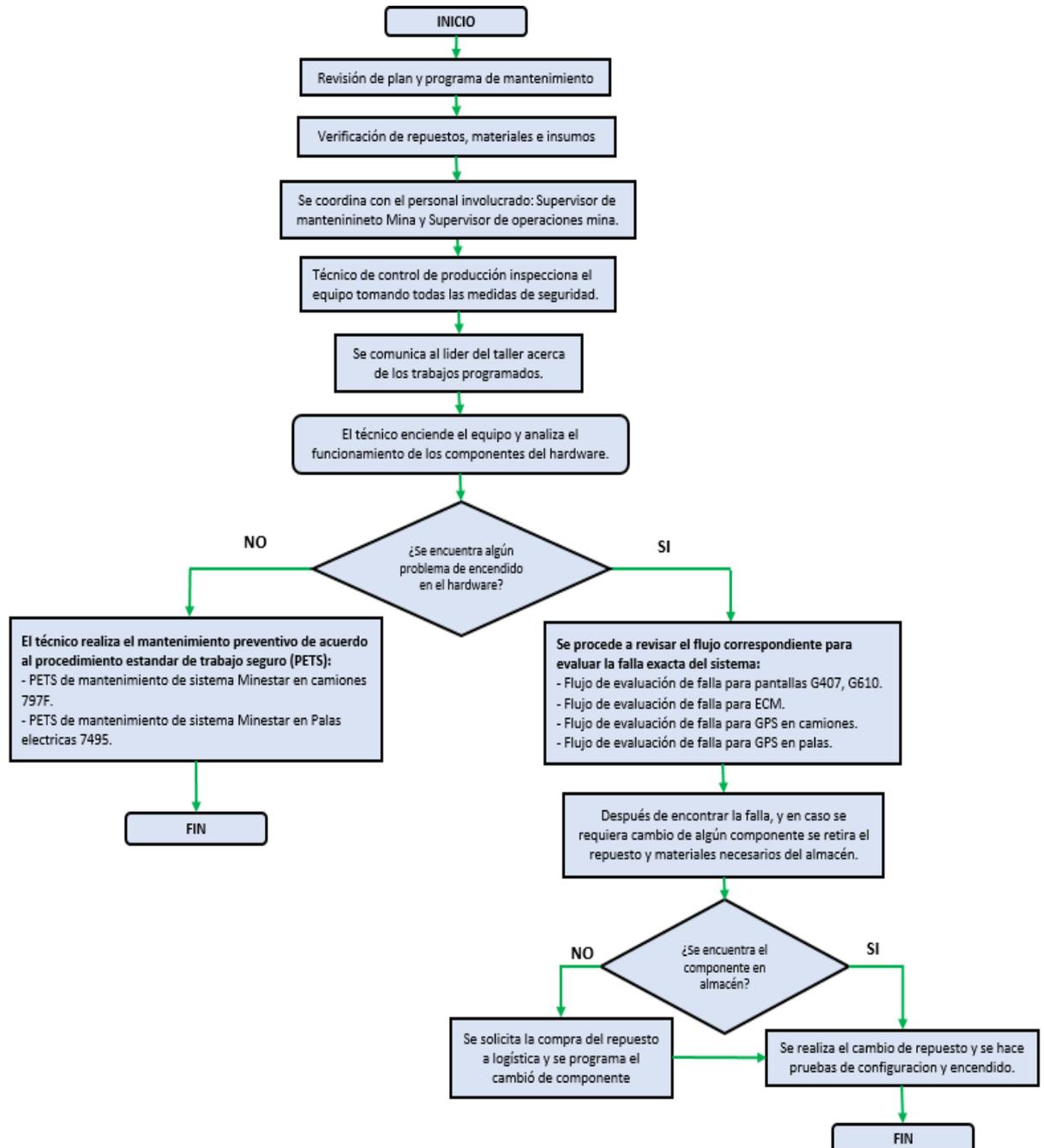


Figura 4. Flujo de proceso para mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia

Falla de componentes críticos:

En la figura 5: Flujo de evaluación de falla para pantallas CMPD y G610, se observa el proceso para encontrar la falla en caso de que las pantallas se encontrarán inoperativas al momento de realizar el mantenimiento preventivo.

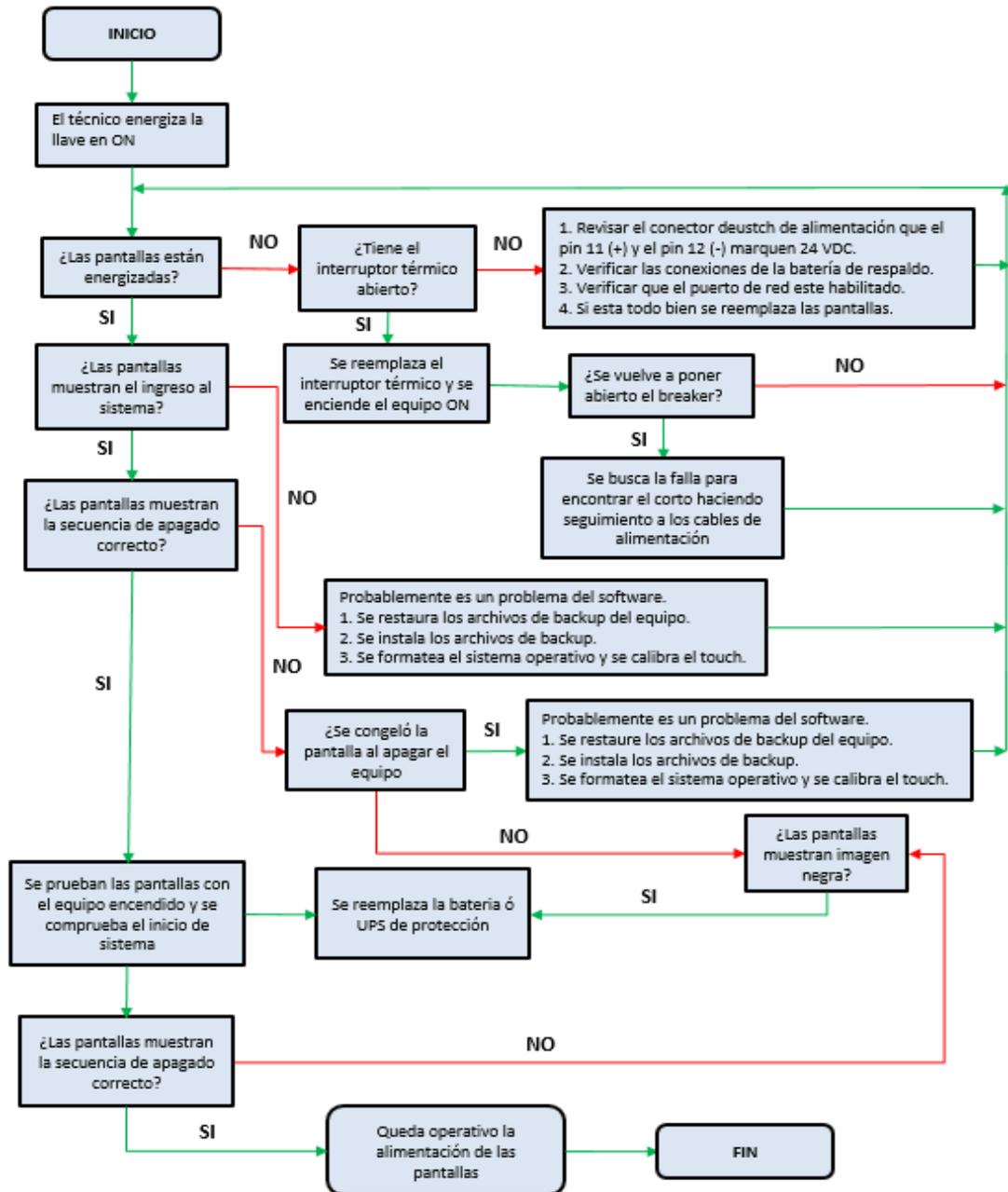


Figura 5. Flujo de evaluación de falla para pantallas

Fuente: propia.

En la figura N° 6: Flujo de evaluación de falla para Módulo de control electrónico, se observa el proceso para encontrar la falla en caso de que el ECM presente fallas al momento de realizar el mantenimiento preventivo.

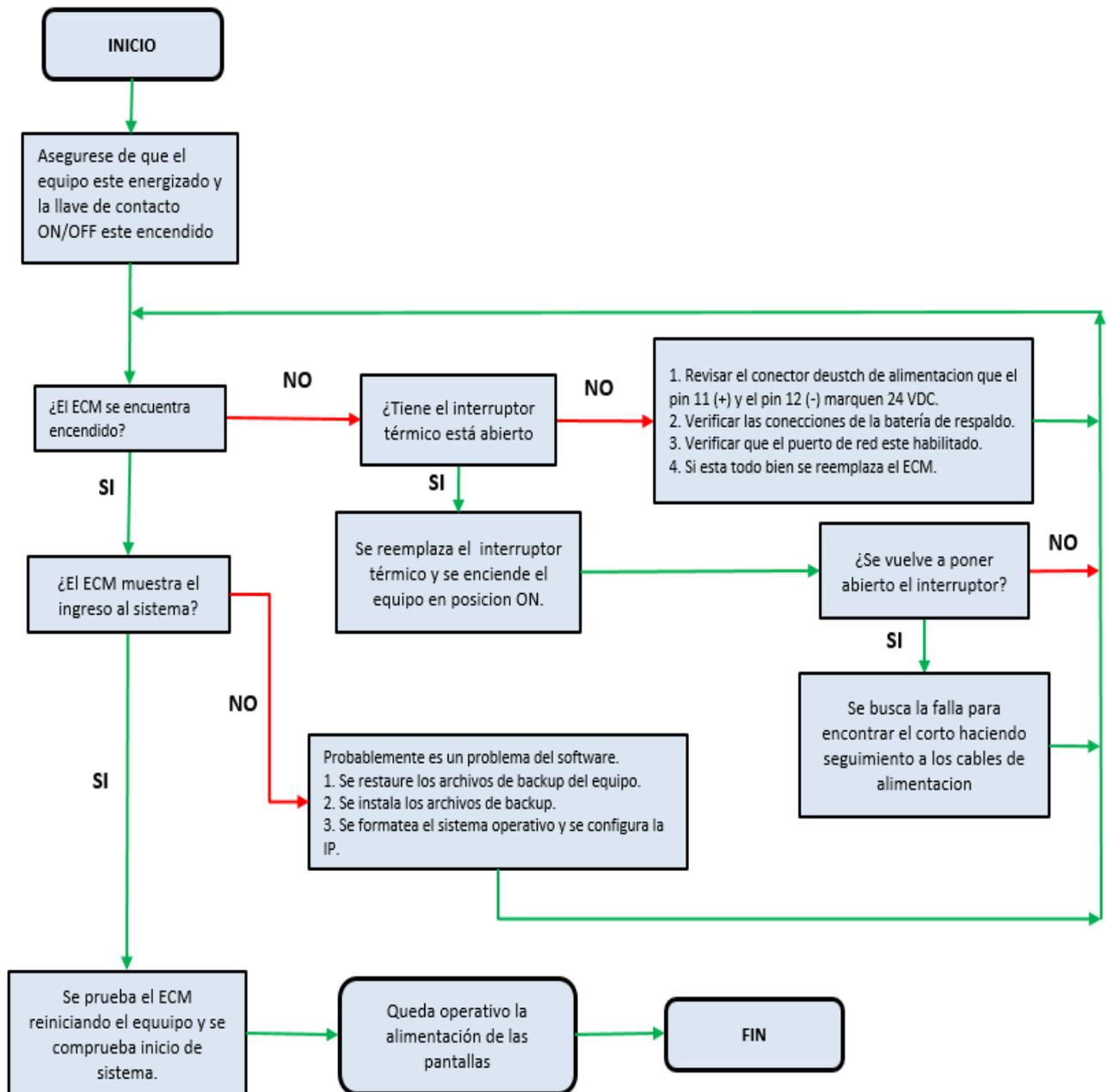


Figura 6. Flujo de evaluación de falla Módulo de control electrónico

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 7: Flujo de evaluación de falla para GPS en camiones, se observa el proceso para encontrar la falla en caso que el GPS se encontrará inoperativo al momento de realizar el mantenimiento preventivo.

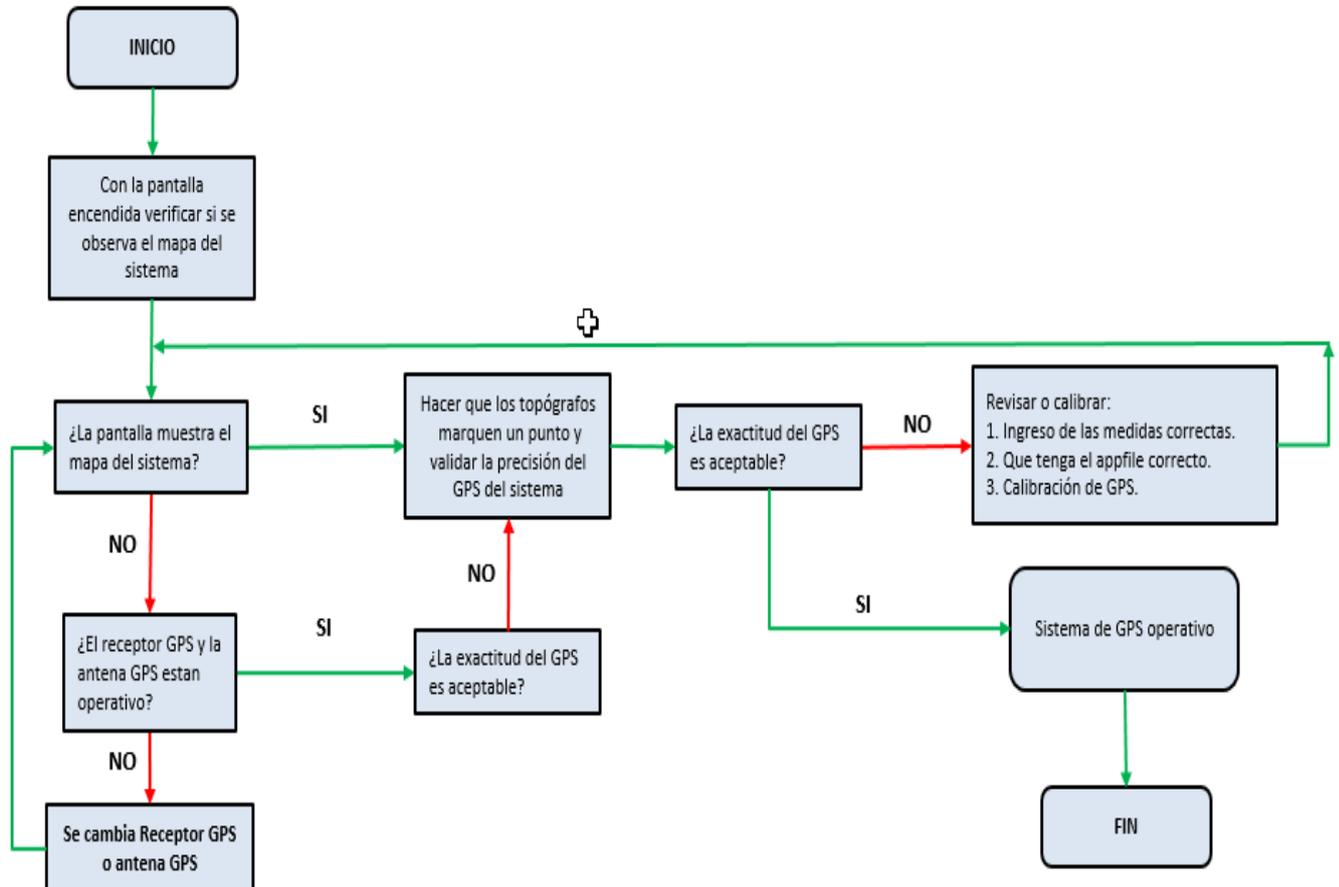


Figura 7. Flujo de evaluación de falla para GPS en camiones

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 8: Flujo de evaluación de falla para GPS en palas, se observa el proceso para encontrar la falla en caso de que los GPS’s se encontrarán inoperativos al momento de realizar el mantenimiento preventivo.

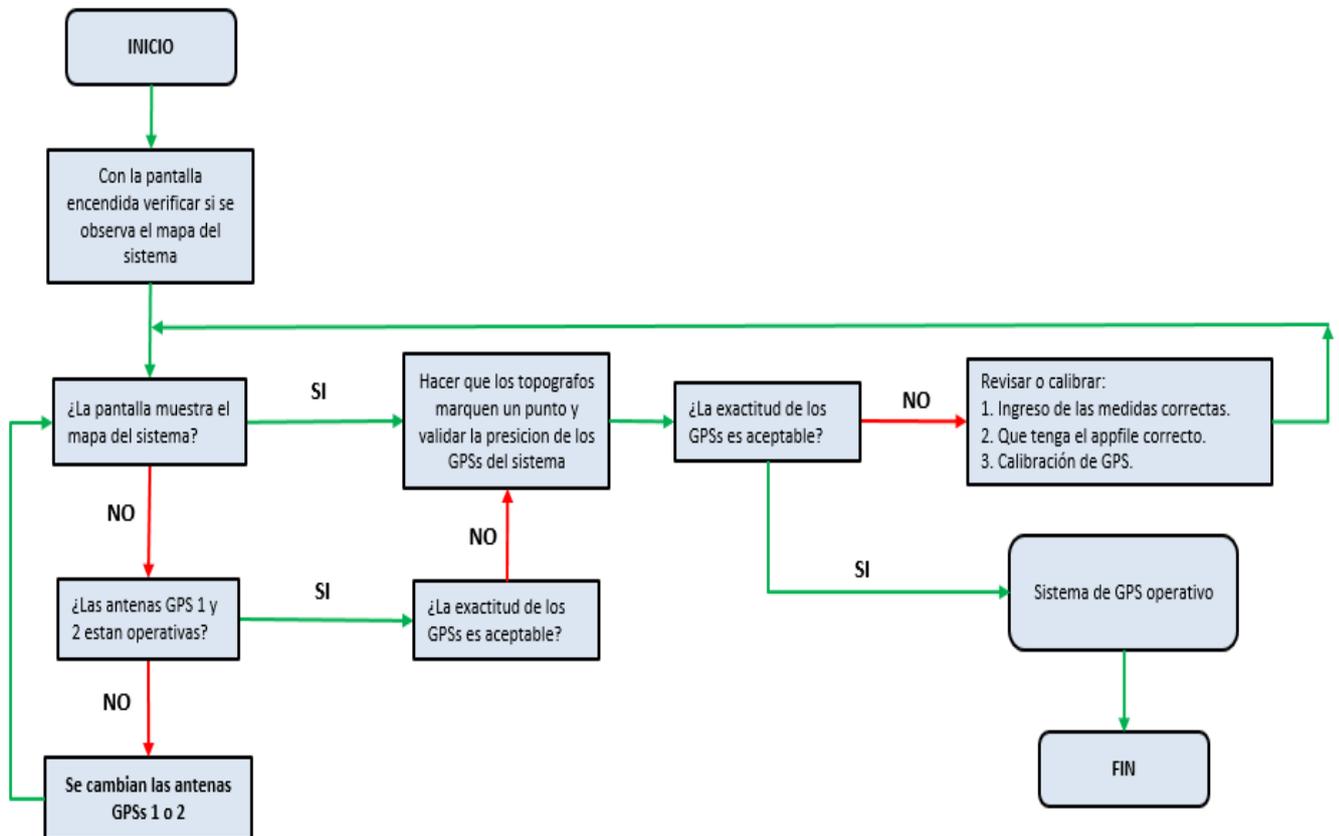


Figura 8. Flujo de evaluación de falla para GPS en palas

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento del sistema de flota minestar para camiones 797F.

Para el plan de mantenimiento preventivo se descompuso el kit del sistema minestar que incluyen sus diversos componentes, cables, conexiones e interfaces que se obtuvo de los manuales de instalación (ver anexo 8) ya que el sistema no cuenta con catálogos y manuales de mantenimiento. Se diseñó una lista de actividades que tiene un tiempo estándar de 5 horas para el desarrollo del mantenimiento preventivo. Estos trabajos están incluidos en el programa de mantenimiento cada 1000 horas aproximadamente cuando los camiones entran a los talleres de mantenimiento. En la figura N° 9: Actividades de mantenimiento preventivo a camiones 797F, muestra las 5 actividades además en cada actividad se determinó las tareas que se detallan en los Procedimientos estándares de trabajo seguro (ver propuesta de solución de la causa raíz 2).

Además, en la figura N° 10: check list de inspección, muestra cómo se debe inspeccionar el sistema y debe ser llenado por los técnicos con los datos del equipo y datos de los componentes del sistema minestar. En este check list se detalla el número de orden de trabajo, el código del equipo, nombre de los técnicos o código de fotocheck, fecha y hora del mantenimiento, ubicación del equipo, revisión de software o hardware, el número de serie de los componentes que están instalados, si en caso requiere cambio de algún componente se colocará un check en el componente y se colocará el número de serie del componente cambiado, luego se colocará un check si en caso requiera cambio o ajuste del cableado o soportería y por último llenar las observaciones o recomendaciones necesarias. La información de la lista de actividades y el check list se deberá llenar en un registro. Este registro debe incluir las tareas realizadas, los cambios de componentes y estado del sistema minestar antes y después de los mantenimientos. Y por último las siguientes figuras 11, 12, 13 y 14 muestran los trabajos de cada actividad de mantenimiento en los camiones. Figura 11: Inspección y flasheo de ECM y Receptor GPS, figura 12: Inspección de antena GPS y cableado, figura 13: Inspección y flasheo de pantalla CMPD, figura 14: Inspección de alimentación eléctrica y batería.

Mantenimiento de hardware Minestar a camiones CAT-797F						
Nº	Actividades de Mantenimiento	Tiempo en horas				
		1	2	3	4	5
1	Inspeccion de componentes E-bay: ECM y Receptor GPS					
1.1	Inspeccion de soportería y ajuste de componentes					
1.2	Inspeccion de receptor GPS, limpieza y ajuste de conectores					
1.3	Inspeccion de ECM, limpieza y ajuste de conectores					
1.4	Ajuste y verificación de cables y conectores					
2	Inspeccion de antena GPS y cableado					
2.1	Inspeccion y ajuste de soportes y estado de soldadura					
2.2	Limpieza de cables y conector con limpiacontactos					
2.3	Cambio de cintas de proteccion a los conectores					
2.4	Revisión y ajuste de cable de antena GPS hasta receptor GPS					
3	Inspeccion de pantalla CMPD					
3.1	Verificacion de brillo y contraste de la pantalla					
3.2	Se verifica la conexión del cable y ajuste del conector					
3.3	Inspeccion y ajuste de cable de comunicación					
3.4	Inspeccion de soportería y ajuste de componentes					
4	Inspeccion de alimentacion electrica y batería					
4.1	Inspeccion y ajuste de fusibles					
4.2	Inspeccion y ajuste de cable de alimentación					
5	Flasheo y configuración de componentes					
5.1	Se verifica conectividad de los componentes					
5.2	Se verifica la configuracion de parámetros e IP					
5.3	Se verifica la conectividad del equipo en el software de control mina					

Figura 9. Actividades de mantenimiento preventivo en camiones

Fuente: Elaboración propia

MANTENIMIENTO PREVENTIVO CAMIONES

OT PM: EQUIPO:

PERSONAL

Técnico 1: Fecha: Ubicación:

Técnico 2: Hora de inicio: Hora fin:

Hardware Software

NÚMERO DE SERIE DE COMPONENTES ACTUALES

ECM BATERIA

PANTALLA CMPD ANTENA GPS

RECEPTOR GPS

N/S COMPONENTES CAMBIADOS EN EL PM	CABLEADO Y SOPORTERIA
<input type="checkbox"/> Cambio de ECM <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Cambio cable de alimentación <input type="checkbox"/> Ajuste de cable de poder
<input type="checkbox"/> Cambio de antena GPS <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Cambio cable de ECM <input type="checkbox"/> Ajuste de cable ECM
<input type="checkbox"/> Cambio de receptor GPS <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Cambio de soporte ECM <input type="checkbox"/> Ajuste de soporte GPS
<input type="checkbox"/> Cambio de pantalla G407 <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Cambio de cable GPS <input type="checkbox"/> Ajuste de cable GPS
<input type="checkbox"/> Cambio de batería <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Cambio de soporte GPS <input type="checkbox"/> Ajuste de soporte GPS
	<input type="checkbox"/> Cambio cable de receptor GPS <input type="checkbox"/> Ajuste de cable receptor
	<input type="checkbox"/> Cambio soporte receptor GPS <input type="checkbox"/> Ajuste de soporte receptor
	<input type="checkbox"/> Cambio de cable Pantalla <input type="checkbox"/> Ajuste de cable de pantalla
	<input type="checkbox"/> Cambio de soporte pantalla <input type="checkbox"/> Ajuste soporte de pantalla
	<input type="checkbox"/> Cambio de cable de batería <input type="checkbox"/> Ajuste de cable de batería
	<input type="checkbox"/> Cambio de soporte de batería <input type="checkbox"/> Cambio soporte de batería

OBSERVACIONES

Figura 10. Check list de actividades de mantenimiento en camiones

Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Inspección y flasheo de ECM y Receptor GPS

Fuente: Captura de imagen en campo.



Figura 12. Inspección de antena GPS y cableado

Fuente: Captura de imagen en campo.

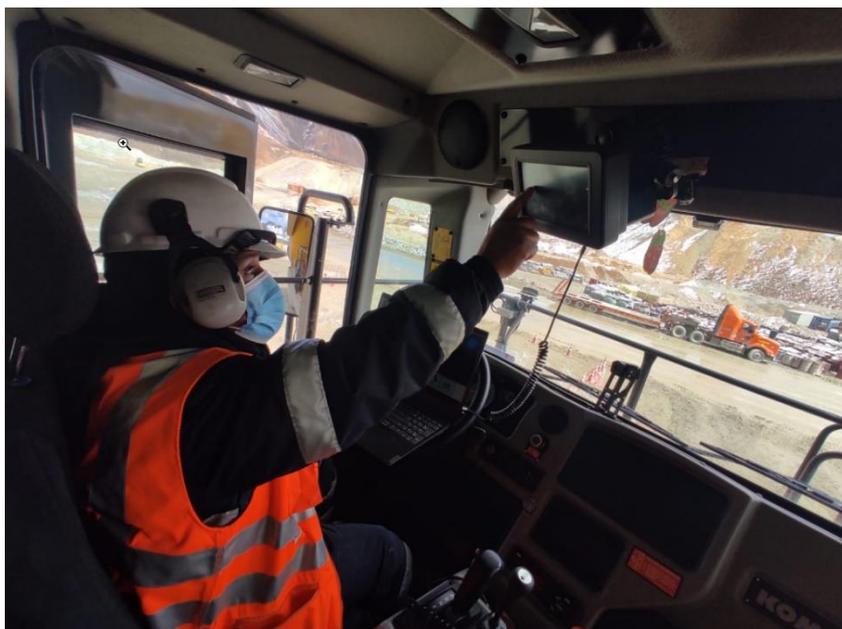


Figura 13. Inspección y flasheo de pantalla CMPD

Fuente: Captura de imagen en campo.

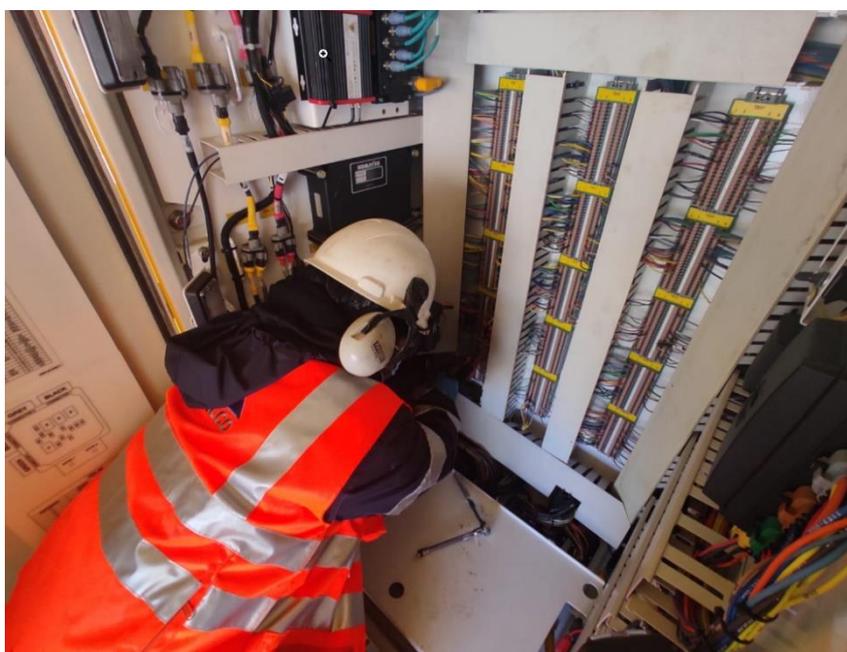


Figura 14. Inspección de alimentación eléctrica y batería

Fuente: Captura de imagen en campo.

Programación y frecuencia de mantenimiento del sistema de flota minestar para camiones 797F.

Se revisó el cálculo del MTBF (Tiempo promedio entre fallas) obteniéndose un valor promedio de 1042.47 horas que son aproximadamente cada 2 meses de fallas en los camiones teniendo en cuenta que los camiones tienen 680 horas operativas al mes aproximadamente. En la tabla 10: Cálculo MTBF y número de fallas al año. Quiere decir que se realizó el programa de mantenimiento cada 2 meses para tener el sistema confiable y evitar paradas correctivas en campo.

Cuando los camiones ingresan a los talleres para su TPM (Mantenimiento productivo total), los trabajos del sistema minestar están incluidos en este programa de mantenimiento. En la tabla 11: Programa anual de mantenimiento minestar en camiones, se observa la programación anual de mantenimiento sistema minestar en camiones, el cual indica que a cada camión se realizará el mantenimiento 6 veces al año tomando en cuenta el cálculo de predicción de fallas al año que son 6 veces al año aproximadamente como muestra en la tabla 10. Y en cada mes se realizará mantenimiento a 15 camiones aproximadamente.

Tabla 10.

Cálculo de MTBF y número de fallas al año en camiones

# Promedio paradas - año	# Promedio de paradas - mes	Tiempo de horas operativas - mes	MTBF - mes	Tasa de fallas	# de fallas - año
8	0.67	680	1042.47	0.0010	6.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.

Programa anual de mantenimiento sistema minestar en camiones

Programa de mantenimiento sistema minestar en camiones 797F													
Unidad	Modelo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
CM101	797F	X		X		X		X		X		X	
CM102	797F		X		X		X		X		X		X
CM103	797F	X		X		X		X		X		X	
CM104	797F		X		X		X		X		X		X
CM105	797F	X		X		X		X		X		X	
CM106	797F		X		X		X		X		X		X
CM107	797F	X		X		X		X		X		X	
CM108	797F		X		X		X		X		X		X
CM109	797F	X		X		X		X		X		X	
CM110	797F		X		X		X		X		X		X
CM111	797F	X		X		X		X		X		X	
CM112	797F		X		X		X		X		X		X
CM113	797F	X		X		X		X		X		X	
CM114	797F		X		X		X		X		X		X
CM115	797F	X		X		X		X		X		X	
CM116	797F		X		X		X		X		X		X
CM117	797F	X		X		X		X		X		X	
CM118	797F		X		X		X		X		X		X
CM119	797F	X		X		X		X		X		X	
CM120	797F		X		X		X		X		X		X
CM121	797F	X		X		X		X		X		X	
CM122	797F		X		X		X		X		X		X

CM123	797F	X		X		X		X		X		X	
CM124	797F		X		X		X		X		X		X
CM125	797F	X		X		X		X		X		X	
CM126	797F		X		X		X		X		X		X
CM127	797F	X		X		X		X		X		X	
CM128	797F		X		X		X		X		X		X
CM129	797F	X		X		X		X		X		X	
CM130	797F		X		X		X		X		X		X

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento del sistema de flota minestar para palas eléctricas 7495.

Para el plan de mantenimiento se descompuso el kit del sistema minestar de palas que incluyen: pantalla G610, antena 1, antena 2, UPS, cables, conexiones e interfaces que se obtuvo del manual de instalación (ver anexo 14) ya que el sistema no cuenta con catálogos y manuales de mantenimiento. Se diseñó una lista de actividades que tiene un tiempo estándar de 4 horas para el desarrollo del mantenimiento preventivo de los componentes. Estos trabajos están incluidos en el programa de mantenimiento total cada 550 horas. En la figura N° 15: Actividades de mantenimiento preventivo a palas CAT-7495, muestra las 4 actividades además en cada actividad se determinó las tareas que se detallan en los Procedimientos estándares de trabajo seguro (ver propuesta de solución de la causa raíz 2).

En la figura N° 16: check list de inspección en palas, muestra cómo se debe realizar la inspección del sistema y que debe ser llenado por los técnicos con los datos del equipo y datos de los componentes del sistema minestar. En este check list se detalla el número de orden de trabajo, el código del equipo, nombre de los técnicos o código de fotocheck, fecha y hora del mantenimiento, ubicación del equipo, revisión de software o hardware, el número de serie de los componentes que están instalados, si en caso requiere cambio de algún componente se colocará un check en el componente y se colocará el número de serie del componente cambiado, luego se colocará un check si en caso requiera cambio o ajuste del cableado o soportería y por último llenar las observaciones o recomendaciones necesarias. La información de la lista de actividades y el check list se deberá llenar en un registro. Este registro debe incluir las tareas realizadas, los cambios de componentes y estado del sistema minestar antes y después de los mantenimientos. Y por último las siguientes figuras 17, 18, 19 y 20 muestran los trabajos de cada actividad de mantenimiento en las palas. Figura 17: Inspección de pantalla táctil G610, figura 18: Flasheo y configuración de componentes, figura 19: Inspección de antenas GPS's y cableado, figura 20: Inspección de alimentación eléctrica y UPS

Mantenimiento de hardware Minestar a palas CAT-7495					
N°	Actividades de Mantenimiento	Tiempo en horas			
		1	2	3	4
1	Inspeccion de pantalla Tactil G610				
1.1	Verificacion de brillo y contraste de la pantalla				
1.2	Se verifica la conexión del cable y ajuste del conector				
1.3	Inspeccion y ajuste de cable de comunicación				
1.4	Inspeccion de soportería y ajuste de componentes				
2	Inspeccion de antenas GPS's y cableado				
2.1	Inspeccion y ajuste de soportes y estado de soldadura				
2.2	Limpieza de cables y conector con limpiacontactos				
2.3	Cambio de cintas de proteccion a los conectores				
2.4	Revision y ajuste de cable de antena GPS hasta receptor GPS				
3	Inspeccion de alimentacion electrica y batería				
3.1	Inspeccion y ajuste de fusibles				
3.2	Inspeccion y ajuste de cable de alimentación				
4	Flasheo y configuración de componentes				
4.1	Se verifica conectividad de los componentes				
4.2	Se verifica la configuracion de parámetros e IP				
4.3	Se verifica la conectividad del equipo en el software de control mina				

Figura 15. Actividades de mantenimiento preventivo a palas CAT 7495

Fuente: Elaboración propia

MANTENIMIENTO PREVENTIVO PALAS

OT PM: EQUIPO:

PERSONAL

Técnico 1: Fecha: Ubicación:

Técnico 2: Hora de inicio: Hora fin:

Hardware Software

NÚMERO DE SERIE COMPONENTES ACTUALES

PANTALLA G610 GPS MAESTRO

GPS ESCLAVO UPS

N/S COMPONENTES CAMBIADOS EN EL PM

Cambio de pantalla G610

Cambio de GPS maestro

Cambio de GPS esclavo

Cambio de UPS

CABLEADO Y SOPORTERIA CAMBIADOS

<input type="checkbox"/> Cambio cable de poder	<input type="checkbox"/> Ajuste de cable de poder
<input type="checkbox"/> Cambio cable de pantalla	<input type="checkbox"/> Ajuste de cable pantalla
<input type="checkbox"/> Cambio de soporte pantalla	<input type="checkbox"/> Ajuste de soporte pantalla
<input type="checkbox"/> Cambio de cable GPS maestro	<input type="checkbox"/> Ajuste de cable GPS maestro
<input type="checkbox"/> Cambio de soporte GPS maestro	<input type="checkbox"/> Ajuste de soporte GPS maestro
<input type="checkbox"/> Cambio de cable GPS esclavo	<input type="checkbox"/> Ajuste de cable GPS esclavo
<input type="checkbox"/> Cambio de soporte GPS esclavo	<input type="checkbox"/> Ajuste de soporte GPS esclavo
<input type="checkbox"/> Cambio de cable UPS	<input type="checkbox"/> Ajuste de cable de UPS
<input type="checkbox"/> Cambio de soporte de UPS	<input type="checkbox"/> Ajuste soporte de UPS

OBSERVACIONES

Figura 16. Check list de inspección en palas

Fuente: Elaboración propia

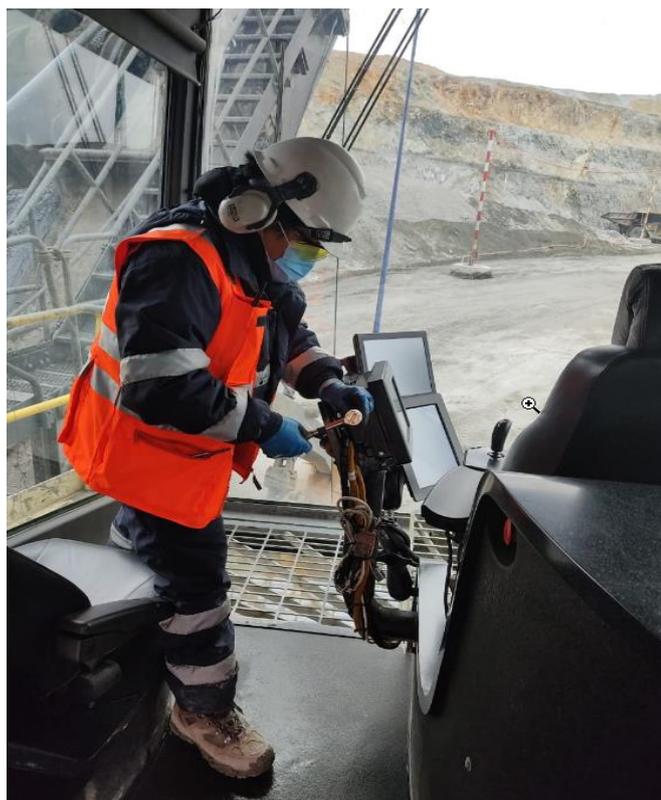


Figura 17. Inspección de pantalla táctil G610

Fuente: Captura de imagen en campo.



Figura 18. Flasheo y configuración de componentes

Fuente: Captura de imagen en campo.



Figura 19. Inspección de antenas GPS's

Fuente: Captura de imagen en campo.



Figura 20. Inspección de alimentación eléctrica y UPS

Fuente: Captura de imagen en campo.

Programación y frecuencia de mantenimiento del sistema de flota para palas eléctricas 7495

Se revisó el cálculo del MTBF (Tiempo promedio entre fallas) obteniéndose un valor promedio de 626 horas al mes que son aproximadamente cada mes de trabajo en las palas teniendo en cuenta que la palas tienen 700 horas operativas al mes aproximadamente. En la tabla 12: Cálculo de MTBF y Número de fallas al año en palas. Quiere decir que se realizó el programa de mantenimiento cada mes para mantener el sistema confiable y evitar paradas correctivas en campo.

Cuando las palas ingresan a su TPM (Mantenimiento productivo total) los trabajos del sistema minestar están incluidos en el programa de mantenimiento. En la tabla 13: Programa anual de mantenimiento sistema minestar en palas, muestra que a cada pala se realizará el mantenimiento 12 veces al año tomando en cuenta el cálculo de predicción de fallas al año que según el cálculo indica 10.52 como muestra en la tabla 12. Y en cada mes se realizará mantenimiento a las 5 palas aproximadamente.

Tabla 12.

Cálculo de MTBF y número de fallas al año en palas

#Paradas - año	# Promedio de paradas - mes	Tiempo de horas operativas -mes	MTBF - mes	Tasa de fallas	#Número de fallas - año
13.6	1.13	700	626	0.0016	10.52

Fuente: propia.

Tabla 13.

Programa anual de mantenimiento sistema minestar en palas

Programa de mantenimiento sistema minestar en palas													
Unidad	Modelo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PL001	797F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PL002	797F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PL003	797F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PL004	797F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PL005	797F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Plan y programa de capacitación

Para complementar el plan de mantenimiento se realizó capacitaciones y se hizo un programa para su realización. En la tabla N° 14: Plan de capacitación, en la tabla N° 15 Cursos de capacitación para ingenieros y técnicos y en la tabla N° 16 Programación anual para los cursos de capacitación.

Tabla 14.

Plan de capacitación

Plan de capacitación	
DIRIGIDO A:	Ingenieros de control de producción y Técnicos de control de producción.
LUGAR N° DE PARTICIPANTES	Operaciones mina – Junín 4
OBJETIVO	Instruir sobre el funcionamiento del sistema minestar, hardware, software y componentes.
CONTENIDOS	1. Introducción al sistema minestar. 2. Terrain para palas. 3. Fleet para camiones. 4. Procedimientos estándares de trabajo seguro. 5. Seguridad.
MEDICION DE LA EFICACIA	Trimestral, según reporte de fallas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15.

Cursos de capacitación para ingenieros y técnicos

Programación de capacitaciones	
INTRODUCCION AL SISTEMA MINESTAR	Definición del Sistema de gestión de flota. Tipos de sistemas de gestión de flota. Lógica de funcionamiento al sistema de gestión de flota. Funcionamiento de GPS.
TERRAIN PARA PALAS	Sistemas de alta precision Instalación del sistema minestar en palas. Configuración del software terrain V.5.1 Plan y programa de mantenimiento Llenado de check list y registro de trabajos para palas.
FLEET PARA CAMIONES	Sistemas de baja y mediana precisión Instalación del sistema minestar en camiones. Configuración del software fleet. Plan y programa de mantenimiento Llenado de check list y registro de trabajos para camiones.
PROCEDIMIENTOS ESTANDARES DE TRABAJO	Uso de flujo de fallas de componentes Capacitación del procedimiento estándar de trabajo seguro. Uso de herramientas de electricista. Tiempo de trabajos para mantenimiento sistema minestar en camiones y palas. Informar desviaciones a los procedimientos. Elaboración y cambios de procedimientos.
SEGURIDAD	Controles de riesgos críticos. Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. Curso teórico y práctico para trabajos en altura. Curso teórico y práctico para bloqueo y etiquetado. IPERC Equipos de protección personal Trabajo eléctricos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16.

Programa de capacitación anual

Programa de cursos de capacitación para el sistema mnestar													
Cursos	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Técnicos e ingenieros			Técnicos e ingenieros			Técnicos e ingenieros			Técnicos e ingenieros			Técnicos e ingenieros
Capacitación para el curso del sistema minestar	X			X			X			X			X
Capacitación para el curso de terrain para palas	X			X			X			X			X
Capacitación para el curso de fleet para camiones	X			X			X			X			X
Curso de seguridad	X			X			X			X			X
Procedimientos estándares de trabajo seguro	X			X			X			X			X

Fuente: Elaboración propia.

2.4.7 Causa raíz 2: No se cuenta con procedimientos estándares de trabajo

En esta causa raíz se determinaron 2 indicadores.

Sobrecosto mensual por no contar con procedimientos estándares de trabajo

Para determinar el sobrecosto de este indicador primero se obtuvo información del tiempo medio en reparación al mes de cada componente en los 30 camiones y 5 palas, luego se obtuvo el número de paradas mensual y por último el costo de pérdida de tonelada movida por hora. Teniendo estos 3 valores se obtuvo un costo total por paradas en campo de forma mensual para luego determinar dicho costo de forma anual. En la tabla N° 17: Costo por reparaciones correctivas en campo para camiones, se observa que el sobrecosto total por paradas en campo mensual haciende a S/. 45,511.60; este valor indica que hay una perdida en la empresa minera por falta de procedimientos estándares de trabajo.

Tabla 17.

Costo por reparaciones correctivas en campo para camiones

Costo por reparaciones correctivas en campo						
Equipos	Componentes	MTTR	Costo de pérdida de tonelada movida (Soles/H)	# paradas al año	# promedio de paradas mensual	Costo total por paradas en campo (S/.)
Hardware en camiones 797F	Pantalla CMPD	1.5	S/ 744.15	48	4	S/ 4,459.33
	ECM	1.9	S/ 744.15	48	4	S/ 5,655.54
	Receptor GPS	1.5	S/ 744.15	48	4	S/ 4,464.90
	Antena GPS	4.0	S/ 744.15	48	4	S/ 11,906.40
	Batería	2.0	S/ 744.15	48	4	S/ 5,953.20
Hardware en palas CAT 7495	Pantalla G610	1.4	S/ 1,488.30	19	2	S/ 3,299.07
	Antena GPS 1	1.4	S/ 1,488.30	16	2	S/ 2,778.16
	Antena GPS 2	1.4	S/ 1,488.30	16	2	S/ 2,778.16
	UPS de protección	2.0	S/ 1,488.30	17	2	S/ 4,216.85
					Mensual	45,511.60
					Annual	546,139.21

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de procedimientos estándares de trabajo

Para determinar este indicador se obtuvo la información de la cantidad de procedimientos estándares de trabajo que se requieren y la cantidad de procedimientos estándares total de trabajo existentes en el área tabla N° 18: Porcentaje de procedimientos estándares.

Con la información obtenida se determinó que el área no cuenta con procedimientos estándares que sería igual a 0%, para lo cual se necesita 1 procedimiento estándar de trabajo para camiones y 1 procedimiento estándar de trabajo para palas.

Tabla 18.

Porcentaje de procedimientos estándares

Porcentaje de procedimientos estándares				
Procedimientos estándares de trabajo	Equipos	# de procedimientos estándares de trabajo	# de procedimientos estándares de trabajo totales	% de procedimientos estándares
PET-SCT-018 Mantenimiento del sistema minestar de mediana precisión en camiones 797F	30 camiones	1	0	0%
PET-SCT-015 Mantenimiento del sistema minestar de alta precisión en palas eléctricas 7495	5 palas	1	0	0%
				0%

Fuente: Elaboración propia.

Propuesta de solución para la causa raíz 2

Para el desarrollo de la solución de la causa raíz 2 se elaboró en la figura 21: Flujo para aprobación de los procedimientos estándares de trabajo, el cual muestra la aprobación de los trabajos por el área de operaciones mina.

Flujo para diseño de los procedimientos estándares de trabajo

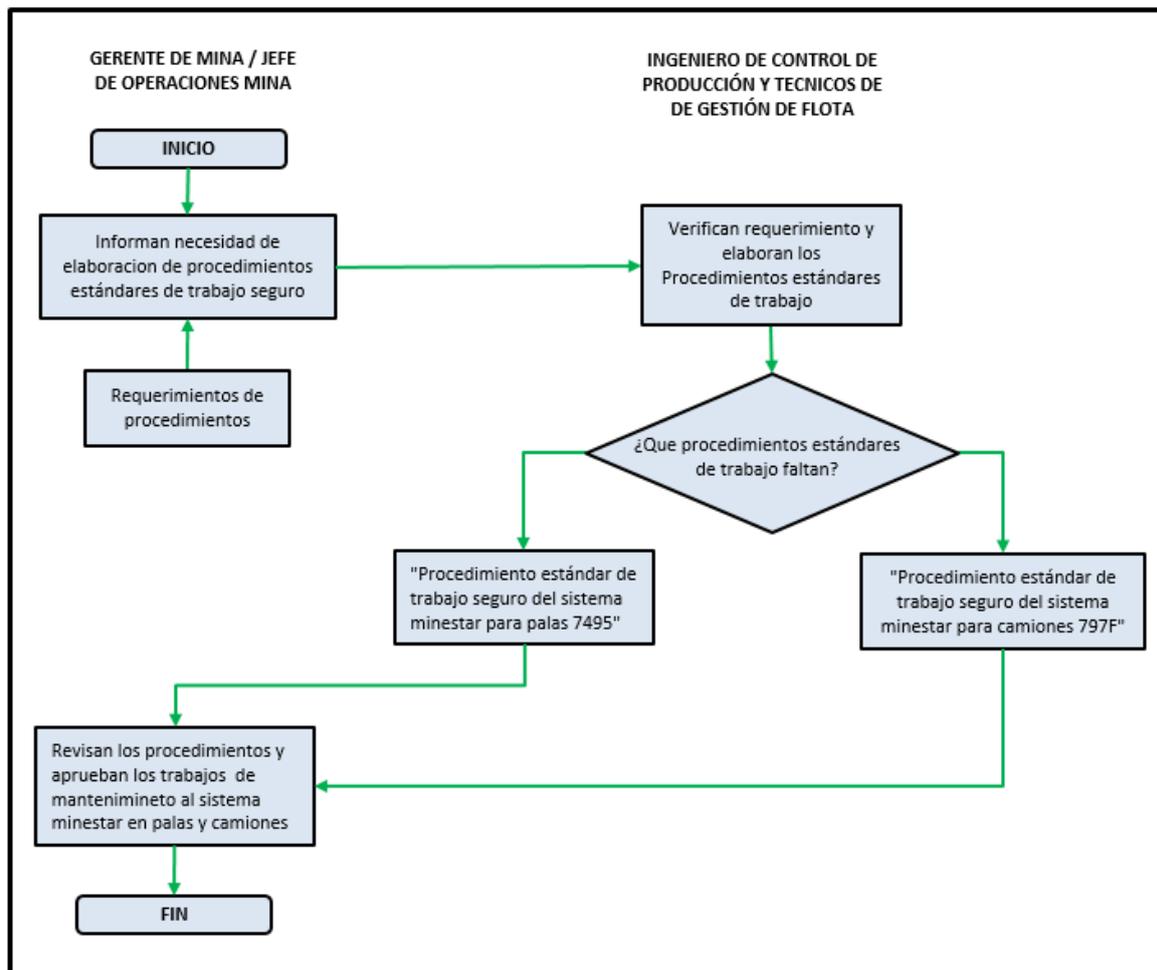


Figura 21. Flujo para la aprobación de los procedimientos estándares de trabajo

Fuente: Elaboración propia.

1. Elaboración de procedimientos estándares de trabajo seguro para camiones

PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE TRABAJO SEGURO DEL SISTEMA MINESTAR PARA CAMIONES 797F

Objetivo

Conocer y describir los pasos a seguir para realizar el mantenimiento en campo del sistema MINESTART de Mediana Precisión en Equipos Caterpillar 797F que contienen los componentes TRUCK para la mejora de los procesos de inspección y cambio de componentes del sistema, manteniendo el orden y limpieza en todo momento para así mejorar la eficiencia del sistema y la tarea se realice de manera segura.

Alcance

Aplica a todos los trabajadores del área de Operaciones Mina, técnicos y operadores que apoyen en el trabajo.

Responsabilidades

Jefe de Confiabilidad Operacional

- Cumplir y hacer cumplir el siguiente procedimiento de trabajo para el mantenimiento del sistema MineStar de Media precisión en camiones. Además de brindar el apoyo y dar los recursos necesarios para la instalación del sistema.

Ingenieros de Control de Producción

- Desarrollar el procedimiento de trabajo para los diferentes procesos.
- Realizar la evaluación de riesgos diariamente al inicio del turno.

Técnicos de Control de Producción

- Velar que las actividades se ejecuten de acuerdo al procedimiento.
- Informar cualquier desviación al procedimiento normal de trabajo.

Definiciones

- **Antena GPS:** Componente MineStar (Sistema de Posicionamiento Global) donde recibe la señal de los satélites para la ubicación del equipo.
- **BOSS:** Tuercas cilíndricas metálicas.
- **CMPD:** Monitor del sistema MineStar que se instala en la cabina del camión.
- **Conduit:** Protector plástico para cables expuestos.
- **E-BAY:** Bahía electrónica ubicada en la parte posterior del operador.
- **Flasheo:** Procedimiento de configuración a nivel software de dispositivo.
- **Procedimiento:** Forma específica para llevar a cabo un proceso.
- **Sistema MineStar:** Sistema de información por el cual se lleva el control de la producción, mejora la efectividad y la productividad en los equipos pesados y lleva una buena administración la mina.
- **Truck:** Hardware MineStar asignado a los equipos de Acarreo con MPGPS.

Abreviaturas

- **IPERC:** Identificación de Peligros, evaluación de riesgos y control.
- **EPP:** Equipo de Protección Personal.
- **GPS:** Sistema de posicionamiento global.
- **PETS:** Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro.

Restricciones, Lineamientos y/o Consideraciones

Restricciones Climáticas

- Lluvia agresiva
- Nevada
- Tormenta Eléctrica (Roja - Naranja)
- Neblina
- Hipotermia

Acción:

- Abandonar las instalaciones de trabajo hasta que las condiciones climáticas mejoren.

Restricciones Administrativas

- No tener curso de Bloqueo y Etiquetado
- No tener curso de Trabajo en Altura
- No haber realizado el **IPERC CONTINUO** ni contar con las firmas de:
 - El trabajador.
 - Respectivos Supervisores.
 - Respectivos Jefes de Áreas involucradas.
- No tener candado y tarjeta de bloqueo.
- No contar con la autorización del Supervisor de Mantenimiento Mina encargado de los talleres.
- No contar con la autorización del Supervisor de Operaciones Mina (O1 y/o O2) encargado de las operaciones del Tajo.

Acción:

- No podrá trabajar en el equipo.

Equipos de Protección Personal

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Casco y lentes 	6
2	Protectores auditivos. 	6
3	Guantes de cuero y nylon. (Pares) 	6
4	Zapatos de seguridad. 	6
5	Mameluco y chaleco reflectivo. 	6
6	Candado y tarjeta de bloqueo. 	2
7	Arnés, línea de vida y barbiquejo. 	2
8	Respirador 	6
9	Bloqueador Solar 	6

Equipos / Herramientas / Materiales

Herramientas

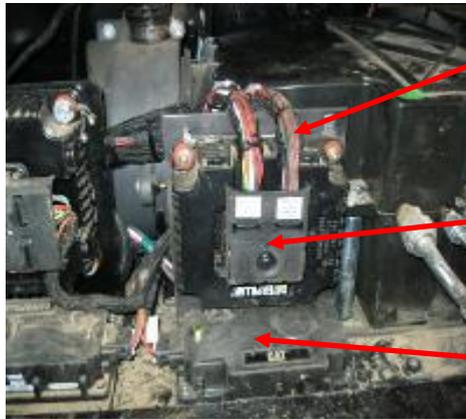
- **Caja de Herramientas manuales y herramientas eléctricas portátiles.**
- **Cable para testear**
- **Baterías de 12VDC.**
- **Multímetro**
- **Radio de Comunicación canal OPERACIONES MINA**

Materiales

- Cinta Aislante.
- Cinta Vulcanizante.
- Terminales tipo ojo.
- Silicona.
- Cintillos
- Trapo Industrial.
- Pernos y Tuercas
- **Componentes MineStar de Backup.**
- Brocas
- Limpia Contacto Electrónico.

Desarrollo	
N°	Pasos
Inspección de Componentes	
	<p>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</p> <p>Para poder realizar la inspección del Sistema CAT MineStar, se han agrupado en 5 tareas principales. De acuerdo al análisis de falla de los componentes se puede revisar una o más de una tarea y se realiza el estándar de bloqueo y etiquetado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección de componentes: Módulo de control electrónico y receptor GPS • Inspección de las Antenas GPS´s y cableado. • Inspección de CMPD (pantalla). • Inspección de alimentación eléctrica. • Flasheo y configuración de componentes.
	
Inspección de Componentes Módulo de control electrónico, receptor GPS y batería de protección	
1	<p>Se saca la tapa de la parte posterior del asiento del operador y se revisa el estado de los componentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección de soportería y ajuste de componentes • Inspección de Battery Supply. • Inspección de receptor GPS. • Inspección de ECM. • Verificación de Harmess y conectores, así como de la interface MineStar – Switch.

Componentes E-BAY Hardware VIMS



Harness

ECM

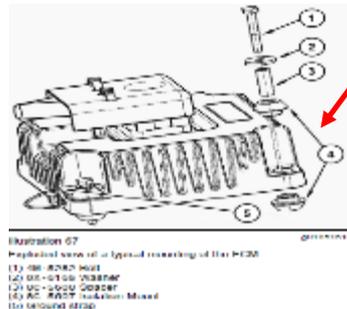
Receptor



Batería

Una vez terminada la inspección y/o determinada la falla, se analiza si es necesario el cambio de algún componente y se procede lo siguiente:

- Se desconectan los cables.
- Se aflojan sus pernos de sujeción.
- Se cambia el componente.
- Se vuelve ajustar sus pernos de sujeción.
- Se conectan los cables.



Para el cambio de los componentes se aflojan y se retiran los pernos.

- Los pernos y tuercas deben ir bien ajustados, además por cuestiones de permeabilidad y vibración del equipo se aplican capas de silicona.
- Se asegura y se peinan los cables con cintillos dentro del compartimiento e-Bay para no impedir otros trabajos.

- Se realiza pruebas de funcionamiento.



El harness debe ir
peinado y asegurado

Inspección de la Antena GPS y Cableado

Se inspecciona el estado de los GPS:

- Se inspecciona el estado de los soportes y la soldadura.
- Se retira las cintas del conector.
- Se limpia el conector del cable y el conector del GPS, con limpia contacto electrónico.
- Se revisa el estado del cableado desde el GPS hasta el GPS Receiver, mediante el testeo de los conductores.

Antena GPS y Soporte en camiones CAT

Ubicación de la antena
GPS en camiones CAT



2

Antena GPS y Soporte en camiones CAT



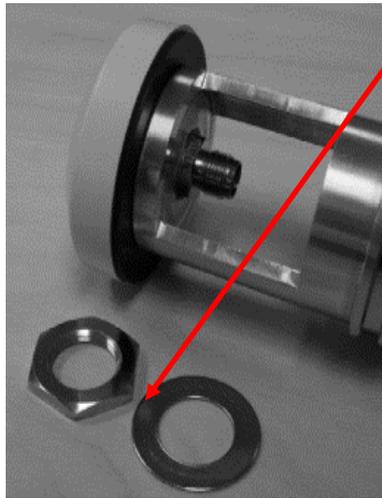
Para el cambio del GPS:

- Se aflojan los pernos de sujeción del soporte de la antena GPS y se retira el componente inoperativo.
- Se cambia el GPS y se ajustan los pernos de sujeción.
- Se ajusta los pernos del soporte de la antena.
- Se conecta el cable del GPS y se coloca cintas aislante y vulcanizante.



Para el cambio de los conectores:

- Se retira el conector inoperativo.
- Se inserta el nuevo conector al cable y se asegura con el Crimping, se testea con el multímetro en la opción Ohmios, este debe marcar OL entre el shield y el núcleo del cable comprobando así que no hay continuidad en el cable.



Se retira las tuercas y contratuercas para cambio de conector



Se hace pruebas de continuidad en ambos extremos del cable

Para el cambio del cable:

Podemos proseguir con los siguientes pasos:

- Se verifica continuidad del cable en ambos extremos.
- Si el cable no marca continuidad se procede a su cambio y conectorización en ambos extremos.
- Se peina y se asegura el cable con abrazaderas y cintillos teniendo cuidado con las partes calientes del equipo.
- Se vuelve a probar continuidad en ambos extremos y se procede a conectar ambos extremos.
- Una vez cambiado los componentes se conecta el cable de GPS en ambos extremos y se coloca cinta vulcanizante e aislante al conector.
- Los pernos y tuercas de la soportería de la antena deben ir bien ajustados, además por cuestiones de permeabilidad y vibración del equipo se aplican capas de silicona.
- Se realiza pruebas de funcionamiento.



El cable del GPS debe ir dentro de la Tubería Conduit y con conector Recto



El cable debe ir peinado y asegurado con cintillos y abrazaderas

Inspección de Pantalla CMPD

Se inspecciona el estado de la pantalla. Para este trabajo se necesita el uso de EPP Básico.

- Se verifica el brillo y el contraste de la pantalla.
- Se retira la tapa posterior y se verifica la conexión de los cables.
- Se inspecciona el estado del cable de comunicación.
- Se verifica que los pernos del soporte estén bien ajustados.

Se verifica soporteria y el ajuste de pernos y harness



3

Una vez terminada la inspección o determinada la falla, se analiza y si es necesario el cambio de algún componente se procede:

Para el cambio de la pantalla:

Debemos asegurarnos de que el bloqueo este puesto, luego podemos proseguir con los siguientes pasos:

- Se desconectan los cables de comunicación.
- Se afloja el soporte tipo mariposa y se retira la pantalla inoperativa.
- Se instala la pantalla operativa, se conectan los cables de comunicación y se coloca la tapa posterior.

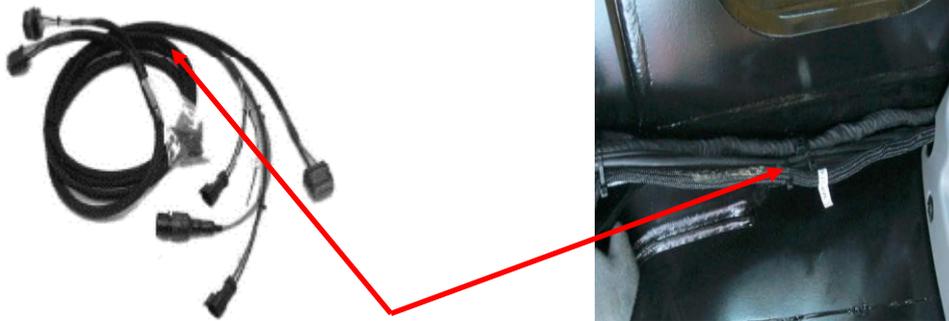


Se retira los pernos de ajuste y se desconecta el cable de comunicación

Para el cambio del harness de Comunicación:

Debemos asegurarnos de que el bloqueo este puesto, luego podemos proseguir con los siguientes pasos:

- Se retira la tapa posterior de la pantalla.
- Se desconecta el cable de comunicación en ambos extremos pantalla – Batería.
- Se retira el cable inoperativo.
- Se instala el cable operativo y peina asegurándolo con abrazaderas y cintillos.
- Se realiza pruebas de funcionamiento.



Se verifica que el harness de comunicación este asegurado y peinado

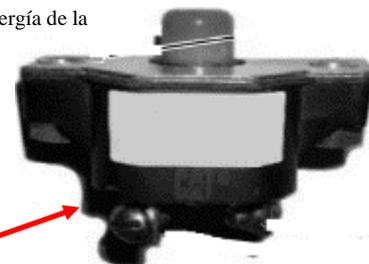
Inspección de Alimentación Eléctrica

Se inspecciona el cable de Alimentación verificando si el sistema cuenta con energía midiendo el voltaje en el harness de entrada a la batería este debe medir 24 VDC.

- En caso que no llegue energía al sistema se procede a revisar el cable, los terminales, fusible, circuit breaker, si alguno de estos componentes esta inoperativo se procede a cambiarlo.



Toma de energía de la bodega



Circuit Breaker de 10 Amp.

4

Una vez terminada la inspección y mantenimiento correctivo del sistema se realizan pruebas de funcionamiento de todos los componentes y las pruebas de conectividad.

2. Elaboración de procedimientos estándares de trabajo seguro para palas

PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE TRABAJO SEGURO DEL SISTEMA MINESTAR PARA PALAS 7495

Objetivo

Conocer y describir los pasos a seguir para realizar el mantenimiento en campo del sistema MINESTAR de Alta Precisión en palas Cat-7495HR para la mejora de los procesos de inspección y cambio de componentes del sistema manteniendo el orden y limpieza en todo momento para así mejorar la eficiencia del sistema y la tarea se realice de manera segura.

Alcance

Aplica a todos los trabajadores del área de Operaciones Mina, técnicos y operadores que apoyen en el trabajo.

Responsabilidades

Jefe de Confiabilidad Operacional

- Cumplir y hacer cumplir el siguiente procedimiento de trabajo para el mantenimiento del sistema MineStar de alta precisión en palas eléctricas.
- Brindar el apoyo y dar los recursos necesarios para la instalación del sistema.

Ingenieros de Control de Producción

- Desarrollar el procedimiento de trabajo para los diferentes procesos.
- Realizar la evaluación de riesgos diariamente al inicio del turno.

Técnicos de Sistema de Gestión de Flota

- Velar que las actividades se ejecuten de acuerdo al procedimiento.
- Informar cualquier desviación al procedimiento normal de trabajo.

Definiciones

- **Antena GPS:** Componente MineStar (Sistema de Posicionamiento Global) donde recibe la señal de los satélites para la ubicación del equipo.
- **BOSS:** Tuercas cilíndricas metálicas.
- **G610:** Monitor del sistema MineStar que se instala en la cabina de la pala.
- **Conduit:** Protector plástico para cables expuestos.
- **Flasheo:** Procedimiento de configuración a nivel software de dispositivo.
- **Procedimiento:** Forma específica para llevar a cabo un proceso.
- **Product Link:** Sistema inalámbrico de monitoreo de equipos Caterpillar.
- **Sistema MineStar:** Sistema de información por el cual se lleva el control de la producción, mejora la efectividad y la productividad en los equipos pesados y lleva una buena administración la mina.
- **TERRAIN – LOADING GRADING:** Hardware Minestar asignado a las palas.

Abreviaturas

- **IPERC:** Identificación de Peligros, evaluación de riesgos y control.
- **EPP:** Equipo de Protección Personal.
- **GPS:** Sistema de posicionamiento global.

- **HPGPS:** Sistema de Gestión de Flota con GPS de Alta Precisión.
- **PETS:** Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro.

Restricciones, Lineamientos y/o Consideraciones

Restricciones Climáticas

- Lluvia agresiva
- Nevada
- Tormenta Eléctrica (Roja - Naranja)
- Neblina
- Hipotermia

Acción:

- Abandonar las instalaciones de trabajo hasta que las condiciones climáticas mejoren.

Restricciones Administrativas

- No tener curso de Bloqueo y Etiquetado
- No tener curso de Trabajo en Altura
- No haber realizado el **IPERC Continuo** ni contar con las firmas de:
 - El trabajador.
 - Respectivos Supervisores.
 - Respectivos Jefes de Áreas involucradas.
- No tener candado y tarjeta de bloqueo.
- No contar con la autorización del Supervisor de Mantenimiento Mina encargado de los talleres.
- No contar con la autorización del Supervisor de Operaciones Mina (O1 y/o O2) encargado de las operaciones del Tajo.

Acción:

- No podrá trabajar en el equipo.

Equipos de Protección Personal

Ítem	Descripción		Cantidad
1	Casco y lentes		6
2	Protectores auditivos.		6
3	Guantes de cuero y nylon. (Pares)		6
4	Zapatos de seguridad.		6
5	Mameluco y chaleco reflectivo.		6

6	Candado y tarjeta de bloqueo.		2
7	Arnés, línea de vida y barbiquejo.		2
8	Respirador		6
9	Bloqueador Solar		6

Equipos / Herramientas / Materiales

Herramientas

- Caja de Herramientas manuales y herramientas eléctricas portátiles.
- Cable para testear
- Baterías de 12VDC.
- Multímetro
- Radio de Comunicación canal **OPERACIONES MINA**

Materiales

- Cinta Aislante.
- Cinta Vulcanizante.
- Terminales tipo ojo.
- Silicona.
- Cintillos
- Trapo Industrial.
- Pernos y Tuercas
- Componentes MineStar de Backup.
- Brocas
- Limpia Contacto Electrónico.

Desarrollo

N°	Pasos
Mantenimiento Preventivo	

Para poder realizar la inspección del Sistema CAT Minestar, se han agrupado en 5 tareas principales. De acuerdo al análisis de falla de los componentes se puede revisar una o más de una tarea. Antes de empezar debemos asegurarnos que el equipo se encuentra bloqueado.

- Inspección de las Antenas GPS´s y cableado.
- Inspección de CMPD (pantalla).
- Inspección de alimentación eléctrica.
- Flasheo y configuración de componentes.



Inspección de Antena GPS y Cableado

Antes de inspeccionar la antena GPS, debemos asegurarnos de usar arnés, línea de vida y estar asegurados en un punto de anclaje resistente a 5000 lbs.

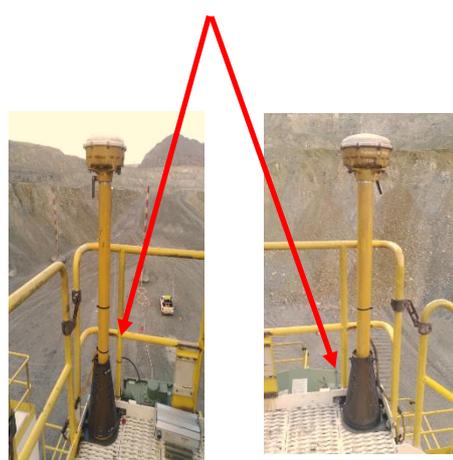
Para este trabajo se realiza el IPERC Continuo. Se inspecciona el estado de los soportes y la soldadura.

- Se retira las cintas del conector.
- Se limpia el conector del cable y el conector del GPS, con limpia contacto electrónico.
- Se revisa el estado del cableado desde el GPS hasta la pantalla G610, mediante el testeo de los conductores.

Verificación de harness



Se verifica ajuste de pernos y soldadura

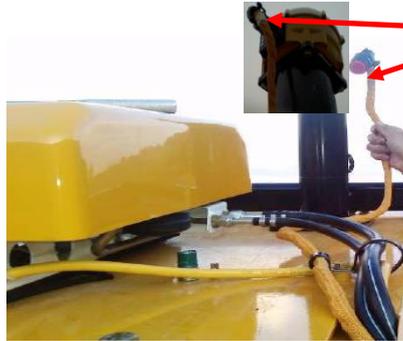


1

Una vez terminada la inspección o determinada la falla, se analiza y si es necesario el cambio de algún componente se procede:

Para el cambio del GPS:

- Se aflojan los pernos de sujeción del GPS y se retira el componente inoperativo.
- Se cambia el GPS y se ajustan los pernos de sujeción.

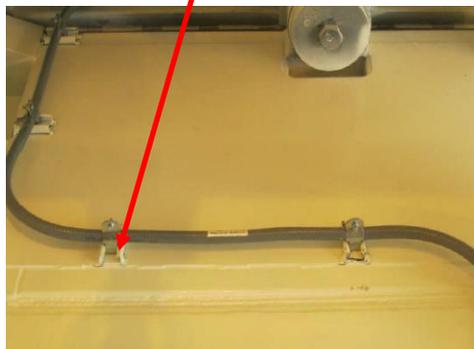


Para cambio de GPS se desconecta el cable y se retiran los pernos de sujeción.

Para el cambio del cable:

- Se verifica continuidad del cable en ambos extremos.
- Si el cable no marca continuidad se procede a su cambio y conectorización en ambos extremos
- Se peina y se asegura el cable con abrazaderas y cintillos teniendo cuidado con las partes calientes del equipo.
- Se vuelve a probar continuidad en ambos extremos.
- Una vez cambiado los componentes se conecta el cable de GPS en ambos extremos y se coloca cintas vulcanizante y aislante al conector.
- Los pernos y tuercas de la soportería de la antena deben ir bien ajustados, además por cuestiones de permeabilidad y vibración del equipo se aplican capas de silicona.
- Se realiza pruebas de funcionamiento.

El cable debe ir peinado y asegurado con abrazaderas partidas



El cable del GPS debe ir dentro de la Tubería Conduít y con conector Recto

Inspección de Pantalla G610

Se inspecciona el estado de la pantalla. Para este trabajo se necesita el uso de EPP.

También se realiza el **IPERC CONTINUO** y el Estándar de Bloqueo y Etiquetado.

- Se verifica el brillo y el contraste de la pantalla.
- Se retira la tapa posterior y se verifica la conexión de los cables.
- Se inspecciona el estado del cable de comunicación.
- Se verifica que los pernos del soporte estén bien ajustados



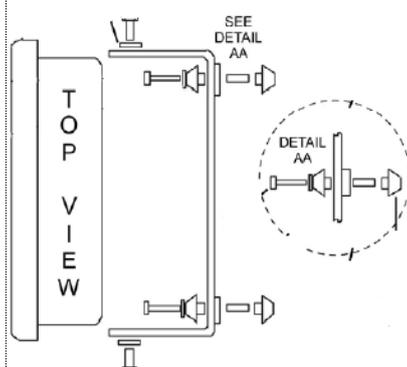
Se verifica ajuste de pernos del soporte

Una vez terminada la inspección o determinada la falla, se analiza y si es necesario el cambio de algún componente se procede:

2

Para el cambio de la pantalla:

- Se desconectan los cables de comunicación.
- Se afloja el soporte tipo mariposa y se retira la pantalla inoperativa.
- Se instala la pantalla operativa, se conectan los cables de comunicación y se coloca la tapa posterior.



Se afloja los pernos del soporte



Para el cambio del harness de Comunicación:

Debemos asegurarnos que el bloqueo está colocado. Luego:

- Se retira la tapa posterior de la pantalla.
- Se desconecta el cable de comunicación en ambos extremos pantalla – Batería – GPS.
- Se retira el cable inoperativo.
- Se instala el cable operativo y peina asegurándolo con abrazaderas y cintillos.
- Se realiza pruebas de funcionamiento.



Inspección de Alimentación Eléctrica

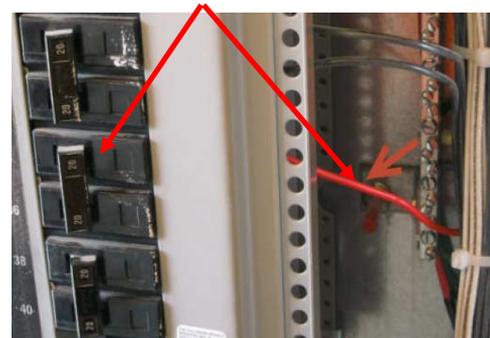
Nos aseguramos de que el bloqueo está colocado, luego procedemos con la inspección. Para este trabajo se realiza IPERC CONTINUO, se realiza el Estándar de Bloqueo y Etiquetado, como también se preparan los formatos de PETAR y Checklist de arnés.

- Se inspecciona el cable de Alimentación verificando si el sistema cuenta con energía midiendo el voltaje en el harness de entrada a la batería este debe medir 24 VDC
- En caso que no llegue energía al sistema se procede a revisar el cable, los terminales, fusible, circuit breaker, si alguno de estos componentes esta inoperativo se procede a cambiarlo.

3



Toma de energía 220 VAC del tablero ZL-C3 en Palas



Termomagnético y conexión de 220 VAC en Palas

Componentes del UPS



Se procederá con la inspección del convertidor del UPS y se verificará la entrada y la salida de voltaje el cual está ubicado en la sala eléctrica del equipo. Una vez terminada la inspección y/o determinada la falla, se analiza y si es necesario el cambio de algún componente se procede de la siguiente manera:

- Se desconectan los cables.
- Se aflojan sus pernos de sujeción.
- Se cambia el componente.
- Se vuelve ajustar sus pernos de sujeción.
- Se conectan los cables.

Se realiza pruebas de funcionamiento.

Una vez terminada la inspección y mantenimiento correctivo del sistema se realizan pruebas de funcionamiento de todos los componentes y las pruebas de conectividad.

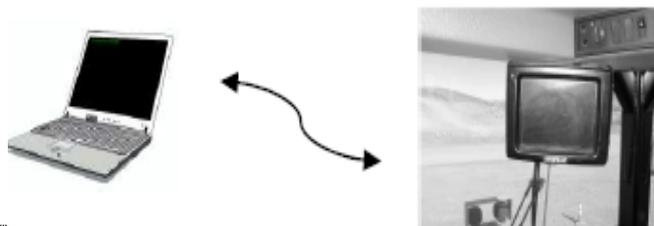
Flasheo y Configuración

Se procede a desbloquear el equipo, para ello se realiza el estándar de Bloqueo y Etiquetado, el IPERC CONTINUO.

- Se energiza el equipo solo con el contacto abierto mas no arrancado el motor.
- Se verifica la conectividad de los componentes
- Se conecta la interface del sistema hacia la laptop para cargarle el software MineStar con la identidad del equipo.

4

Pruebas de Conectividad



equipos auxiliares. Teniendo estos 2 valores se obtuvo el costo total por paradas en campo de cada componente que se retiró de los equipos auxiliares para reemplazarlos e instalarlos a los camiones. En la tabla N° 19 Costo por parada de equipos auxiliares, se observa que asciende a S/. 26,731.32; este valor indica que hay una pérdida en la empresa minera por falta de repuestos en stock.

Tabla 19.

Costo por parada de equipos auxiliares

Costo de parada de equipos auxiliares				
Equipos	Componentes	(MTTR x # de paradas en campo)	Costo de pérdida por hora de trabajo (S/.)	Costo total por paradas en campo
Hardware de equipos auxiliares que reemplaza a los camiones	Pantalla CMPD	5.40	S/ 580.80	S/ 3,136.32
	ECM	6.30	S/ 580.80	S/ 3,659.04
	Receptor GPS	5.55	S/ 580.80	S/ 3,223.44
	Antena GPS	10.33	S/ 580.80	S/ 6,001.60
	Batería de protección	4.50	S/ 580.80	S/ 2,613.60
Hardware de equipos auxiliares que reemplaza a las palas	Pantalla G610	4.17	S/ 580.80	S/ 2,420.00
	Antena GPS 1	2.88	S/ 580.80	S/ 1,669.80
	Antena GPS 2	2.57	S/ 580.80	S/ 1,490.72
	UPS de protección	4.33	S/ 580.80	S/ 2,516.80
			Mensual	S/ 26,731.32
			Anual	S/ 320,775.84

Fuente: Propia

Incumplimiento de componentes por parte de logística

Para determinar este indicador se obtuvo la información de la cantidad de paradas por retiro de componentes en los equipos auxiliares y la cantidad de componentes cambiados en camiones y palas por un mes, los cuales fueron 23 paradas, este valor sería igual el total de incumplimientos por parte del área de logística. Tabla N° 20: Incumplimiento de componentes por parte de logística.

Tabla 20.

Incumplimiento de componentes por parte de logística

Incumplimiento de componentes por parte de logística		
Equipos	Componentes	N° de componentes incumplidos
Hardware de equipos auxiliares que reemplaza a los camiones	Pantalla CMPD	3
	Módulo de control electrónico	3
	Receptor GPS	3
	Antena GPS	3
	Batería de protección	3
Hardware de equipos auxiliares que reemplaza a las palas	Pantalla G610	2
	Antena GPS 1	2
	Antena GPS 2	2
	UPS de protección	2
		23

Fuente: Propia

Propuesta de solución para la causa raíz 3:

Para mejorar la solicitud de requerimientos de componentes se utilizó las herramientas EOQ/ROP.

En camiones:

Teniendo en cuenta que tiene 30 camiones se considera como la demanda al año 30 componentes colocando un stock de seguridad de 3 componentes la demanda real al año sería: 33 pantallas CMPD, 33 ECM, 33 receptores GPS, 33 antenas GPS y 33 baterías de protección.

En palas:

Teniendo en cuenta que tiene 5 palas se considera como la demanda al año 5 componentes colocando un stock de seguridad de 3 componentes la demanda real al año sería: 8 pantallas CMPD, 8 ECM, 8 receptores GPS, 8 antenas GPS y 8 baterías de protección.

Lote económico de compra (LEC): En la tabla N° 21: lote económico de compra, nos muestra que se deben hacer los requerimientos para camiones en un rango de 6 a 7 componentes, el número de órdenes de pedido son 5 veces al año, cada 50 días y el lote económico de compra para las palas son de 3 componentes, el número de ordenes es de 3 veces al año y el tiempo promedio de pedido es cada 102 días, se tiene en cuenta 250 días hábiles al año.

Tabla 21.

Lote económico de compra

Lote económico de compra para componentes									
Equipos	Componentes	Demanda (año)	Stock de seguridad	Demanda real (año)	Costo por cada pedido (S/.)	Costo de almacén (S/.)	LEC	Número de ordenes (año)	Tiempo de pedido (días/año)
Hardware en camiones 797F	Pantalla CMPD	30	3	33	S/ 15.20	S/ 22.80	6.63	4.97	50.25
	ECM	30	3	33	S/ 28.51	S/ 42.77	6.63	4.97	50.25
	Receptor GPS	30	3	33	S/ 19.58	S/ 29.37	6.63	4.97	50.25
	Antena GPS	30	3	33	S/ 5.32	S/ 7.98	6.63	4.97	50.25
	Batería	30	3	33	S/ 8.75	S/ 13.13	6.63	4.97	50.25
Hardware en palas CAT 7495	Pantalla G610	5	3	8	S/ 25.36	S/ 38.04	3.27	2.45	102.06
	Antena GPS 1	5	3	8	S/ 5.32	S/ 7.98	3.27	2.45	102.06
	Antena GPS 2	5	3	8	S/ 5.32	S/ 7.98	3.27	2.45	102.06
	UPS	5	3	8	S/ 18.53	S/ 27.80	3.27	2.45	102.06

Fuente: Propia

Punto de reposición (ROP): En la tabla N° 22: Punto de reposición, nos muestra que se debe realizar los pedidos al proveedor para camiones cuando el almacén alcance 5 unidades por cada uno de los componentes, teniendo en cuenta que el tiempo estándar de llegada es de 5 días por cada componente. Para palas cuando el almacén alcance a 2 unidades por cada uno de los componentes, teniendo en cuenta que el tiempo estándar de llegada es 2 días. Para ambos casos el inventario de seguridad es de 15 días y con 250 días hábiles al año para realizar las ordenes de pedidos.

Con esta herramienta se logró tener: un orden adecuado de los componentes, control de componentes y tener un inventario adecuado para atenciones en los camiones y palas. En las figuras 22 y 23: Punto de reposición en camiones y palas, muestran la cantidad de pedidos, el momento cuando solicitar la compra y el lead time (tiempo de espera). Figura 24: Almacén de componentes minestar, muestran los gabinetes con componentes y códigos respectivos

Tabla 22.

Punto de reposición

Punto de reposición						
Equipos	Componentes	Tiempo estándar de llegada (días)	Demanda promedio (días)	Inventario de seguridad en (días)	Inventario de seguridad	ROP
Hardware en camiones 797F	Pantalla CMPD	5	0.132	15	1.98	5.26
	ECM	5	0.132	15	1.98	5.26
	Receptor GPS	5	0.132	15	1.98	5.26
	Antena GPS	5	0.132	15	1.98	5.26
	Batería de protección	5	0.132	15	1.98	5.26
Hardware en palas CAT 7495	Pantalla G610	2	0.032	15	0.48	2.02
	Antena GPS 1	2	0.032	15	0.48	2.02
	Antena GPS 2	2	0.032	15	0.48	2.02
	UPS de protección	2	0.032	15	0.48	2.02

Fuente: Propia

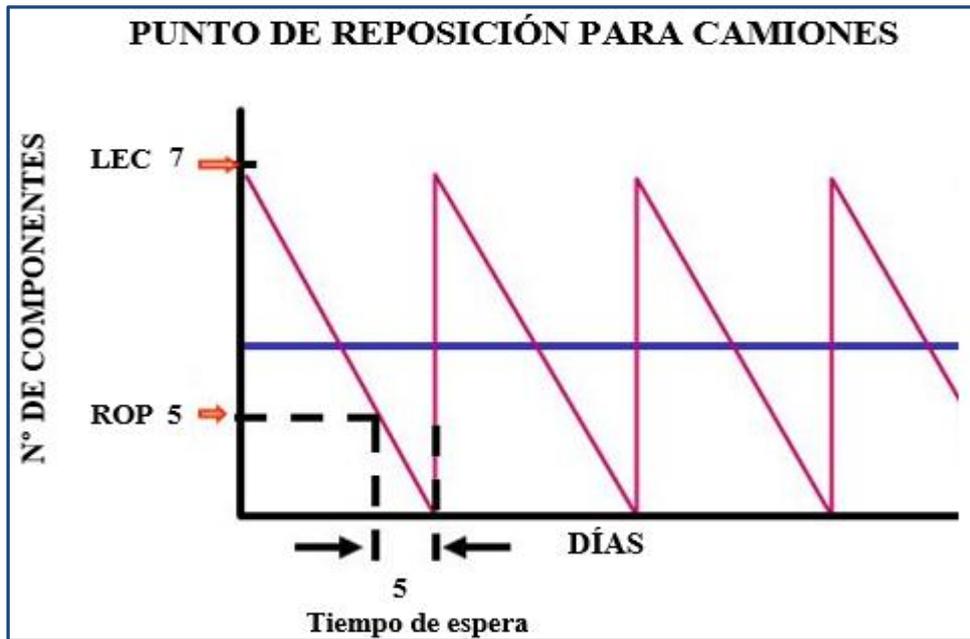


Figura 22. Punto de reorden en camiones

Fuente: Elaboración propia.

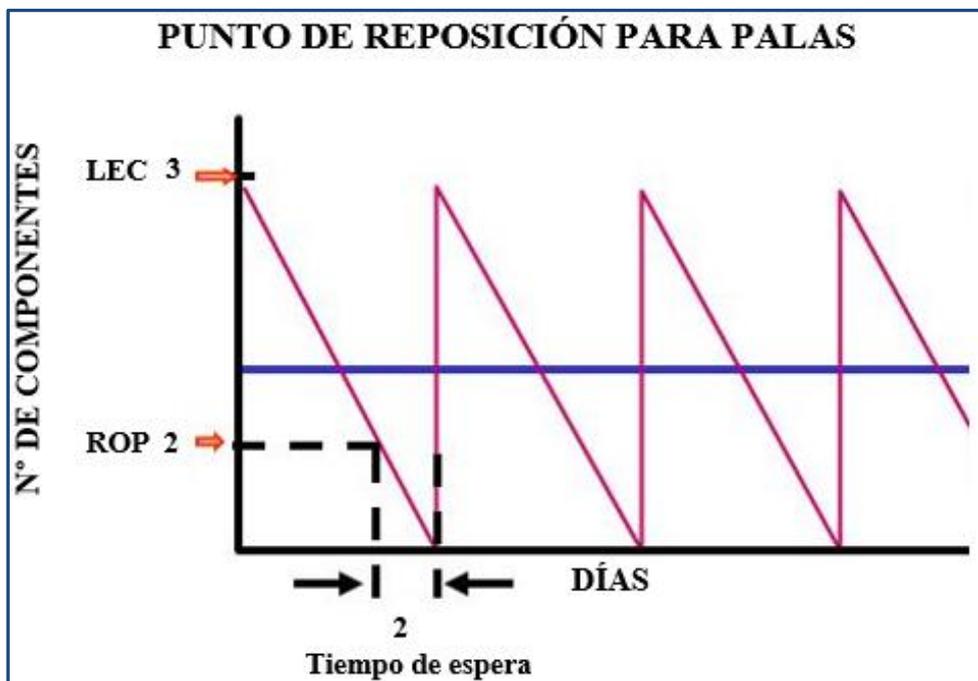


Figura 23. Punto de reorden en camiones

Fuente: Elaboración propia.



Figura 24. Almacén de componentes minestar

Fuente: Captura de imagen en campo.

2.4.9 Evaluación económico financiero

1. Estructura de la inversión

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad implementar un sistema de gestión de mantenimiento para una empresa minera en la región Junín, para lo cual se diseñó un presupuesto general de todos los requerimientos necesarios para las propuestas de mejora.

Este presupuesto se elaboró mensualmente. En la tabla N° 23: Costos que se asocian a las propuestas de solución de la causa raíz 1, En la tabla N° 24 se detalla los costos que se asocian a las propuestas de solución de la causa raíz 2 y en la tabla N° 25 se detalla los costos que se asocian a las propuestas de solución de la causa raíz 3.

Tabla 23.

Costos propuesta de solución causa raíz 1

Costos de implementación para la propuesta de la mejora de la causa raíz 1	
Costo de diseño de plan de mantenimiento	S/ 2,500.00
Costo de diseño de programa de mantenimiento	S/ 2,700.00

Costo de mantenimiento sistema minestar	S/ 27,225.00
Costo de plan de capacitación	S/ 1,800.00
Costo de capacitación para el curso introducción al sistema minestar	S/ 5,412.00
Costo de capacitación para el curso de terrain para palas	S/ 5,639.00
Costo de capacitación para el curso de fleet para camiones	S/ 5,781.00
Costo de cursos de seguridad	S/ 7,851.00
	S/ 58,908.00

Fuente: Propia

Tabla 24.

Costos propuesta de solución causa raíz 2

Costos de implementación para la propuesta de mejora de la causa raíz 2	
Costo de elaboración de PETS en camiones	S/ 2,750.00
Costo de elaboración de PETS en palas	S/ 3,075.00
Costo de materiales desechables	S/ 24,582.00
Costo de herramientas e instrumentos	S/ 27,214.00
Costo de elementos de protección personal	S/ 24,152.00
	S/ 81,773.00

Fuente: Propia

Tabla 25.

Costos propuesta de solución causa raíz 3

Costos de implementación para la propuesta de mejora de la causa raíz 3	
Costo de elaboración del EOQ	S/ 1,500.00
Costo de elaboración del ROP	S/ 1,500.00
Costo de componentes inicio de propuesta implementación	S/ 35,915.96
	S/ 38,915.96

Fuente: Propia

2. Análisis costo beneficio

Para demostrar la rentabilidad de la propuesta de gestión, primero se costeo la inversión de las propuestas de mejora de cada causa raíz, teniendo estos valores que son considerados como el presupuesto inicial se sumaron los beneficios de cada mes obteniendo así el flujo de caja mensual, este flujo sirvió para realizar los pagos por los recursos que necesita el presente proyecto de investigación. Utilizando los indicadores VAN, TIR, B/C se determinó la factibilidad del proyecto, Tabla 26: Flujo de caja y análisis costo beneficio.

Tabla 26.

Flujo de caja y análisis costo beneficio

	MESES												TOTAL	
	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre		Diciembre
EGRESOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Costo de diseño de plan de mantenimiento	S/ 2,500.00													S/ 2,500.00
Costo de diseño de programa de mantenimiento	S/ 2,700.00													S/ 2,700.00
Costo de mantenimiento minestar	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 2,094.23	S/ 27,225.00
Costo de materiales desechables	S/ 24,582.00													S/ 24,582.00
Costo de herramientas e instrumentos	S/ 27,214.00													S/ 27,214.00
Costo de sueldo de técnicos		S/ 11,666.67	S/ 140,000.00											
Costo de elementos de protección personal	S/ 24,152.00													S/ 24,152.00
Costo de elaboración de PETS en camiones	S/ 2,750.00													S/ 2,750.00
Costo de elaboración de PETS en palas	S/ 3,075.00													S/ 3,075.00
Costo de plan de capacitación	S/ 1,800.00													S/ 1,800.00
Costo de capacitación para el curso del sistema minestar	S/ 5,412.00			S/ 5,412.00			S/ 5,412.00			S/ 5,412.00			S/ 5,412.00	S/ 27,060.00
Costo de capacitación para el curso de terrain para palas	S/ 5,639.00			S/ 5,639.00			S/ 5,639.00			S/ 5,639.00			S/ 5,639.00	S/ 28,195.00
Costo de capacitación para el curso de fleet para camiones	S/ 5,781.00			S/ 5,781.00			S/ 5,781.00			S/ 5,781.00			S/ 5,781.00	S/ 28,905.00
Costo de cursos de seguridad	S/ 7,851.00													S/ 7,851.00
Costo de elaboración del EOQ	S/ 1,500.00													S/ 1,500.00
Costo de elaboración del ROP	S/ 1,500.00													S/ 1,500.00
Costo de componentes inicio de propuesta de implementación	S/ 35,915.96													S/ 35,915.96
TOTAL, EGRESOS	S/ 154,466.19	S/ 13,760.90	S/ 13,760.90	S/ 30,592.90	S/ 13,760.90	S/ 13,760.90	S/ 30,592.90	S/ 13,760.90	S/ 13,760.90	S/ 30,592.90	S/ 13,760.90	S/ 13,760.90	S/ 30,592.90	S/ 386,924.96

BENEFICIOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL	
Beneficios Herramienta 1	0	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 36,555.01	S/ 438,660.09	
Beneficios Herramienta 2	0	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 30,629.21	S/ 367,550.57	
Beneficios Herramienta 3	0	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 16,038.79	S/ 192,465.50	
TOTAL DE BENEFICIOS	0	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 83,223.01	S/ 998,676.16	
FLUJO ANUAL DE CAJA	-S/	154,466.19	S/ 96,983.91	S/ 96,983.91	S/ 113,815.91	S/ 1,076,668.74									

TMAR/COK	2.84%
TIR	65%
VAN	S/. 696,133
B/C	2.41

VAN Beneficios	S/. 836,189
VAN Egresos	S/. 347,530

Fuente: Propia

Por último, se obtuvo los resultados de los indicadores:

Valor actual neto: Teniendo en cuenta que el periodo de estudio es de 12 meses con el flujo de caja proyectado para ese periodo, se obtuvo el valor del VAN de S/. 696,133.00; este valor mayor a cero nos asegura que el proyecto es rentable y que se logra recuperar la inversión de la propuesta teniendo una tasa mínima aceptable de rendimiento de 2.84%.

Tasa interna de retorno: Para el periodo de 12 meses se obtuvo un TIR de 65% que indica que el proyecto es económicamente viable ya que es mayor a la tasa mínima aceptable de 2.84%.

Beneficio / Costo: Se obtuvo 2,41; este valor indica que el proyecto es factible desde el punto de vista económico por ser mayor a 1 y la inversión se recupera en el cuarto mes de implantado el Proyecto.

2.5 Aspectos éticos

Para el presente trabajo de investigación se utilizó información de la empresa minera en el cual labora el autor Victor Landeo Guerra dentro del área de operaciones mina. Esto implica que el trabajo es totalmente original y que no existe conductas de plagio.

La información proporcionada por la empresa se utilizó solo como propósito de estudios académicos.

En cuanto al personal de la empresa. Con la propuesta del uso de herramientas de Ingeniería Industrial, se obtendrá un crecimiento positivo tanto en los procesos de mantenimiento como en el crecimiento profesional del personal y clima laboral, ya que se busca la eficiencia en los trabajadores y en los procesos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Resultado total del estudio

Para determinar los mecanismos de la variable independiente (X) sobre la variable dependiente (Y) se consideró los años de funcionamiento del sistema minestar, en la figura N° 25 se observa el reporte de la gestión de mantenimiento representado en años (variable independiente - X) con respecto a los costos perdidos (variable dependiente - Y) desde la implementación del sistema minestar en los equipos de mina, la interpretación de este gráfico indica que los costos de operación aumentan debido a una gestión de mantenimiento inadecuado hasta el año 4, el cual es el año en estudio. A partir del año 5 donde se implementan las propuestas de mejora con herramientas de ingeniería que son: Plan de mantenimiento preventivo, elaboración de procedimientos estándares de trabajo seguro y para calcular la cantidad de repuestos se utilizó las herramientas de logística de lote económico de compra y punto de reorden se evidencia una reducción importante en los costos de operación ya que se implementó una gestión de mantenimiento preventivo adecuado. A partir del año 5 se propone mantener con la mejora continua de los procesos de mantenimiento. Para determinar los costos de cada año se utilizó los reportes de fallas anuales desde que se implementó el sistema minestar en los equipos de mina.

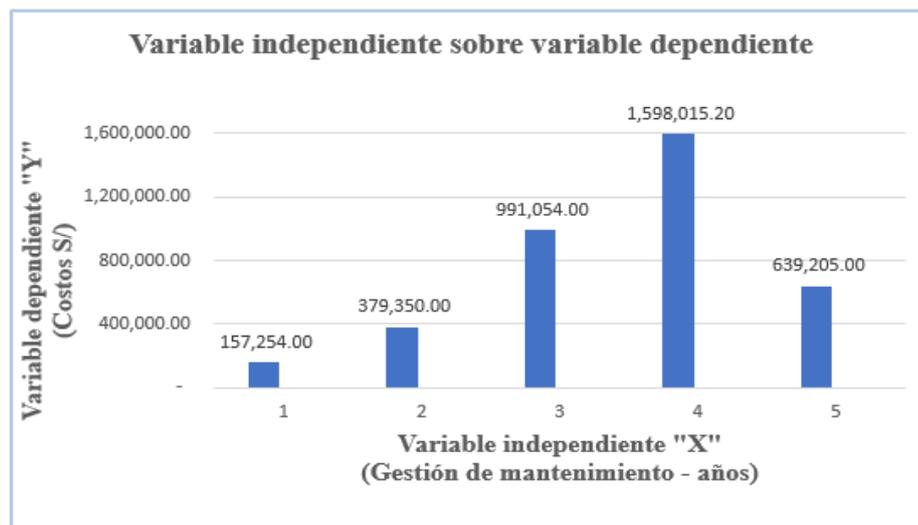


Figura 25. Variable independiente sobre variable dependiente

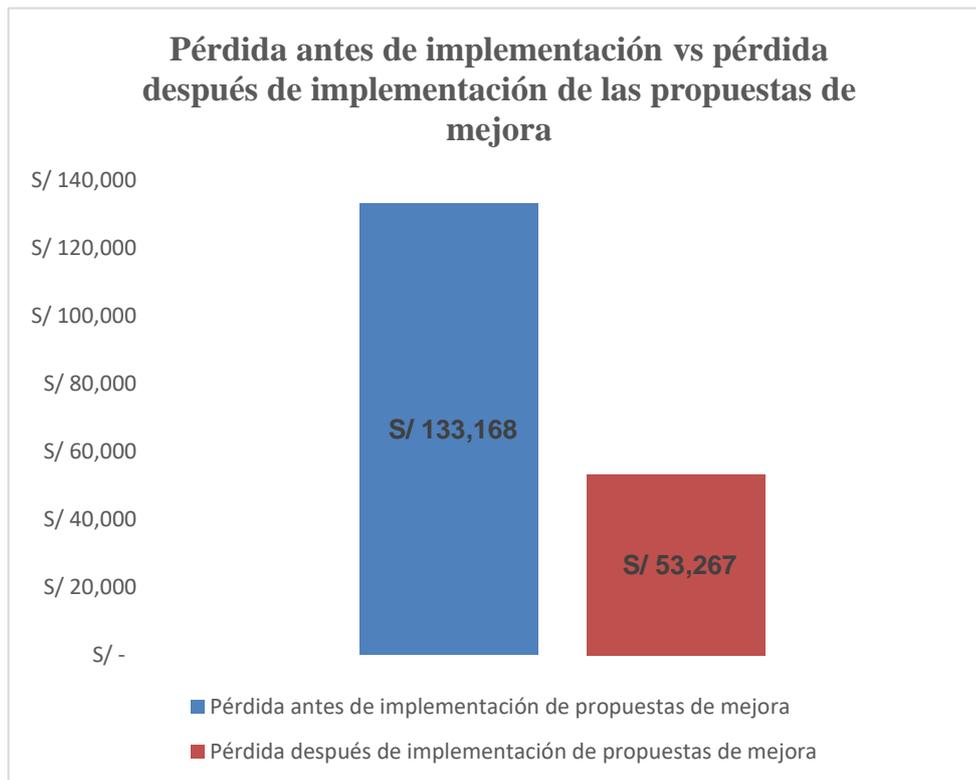
Fuente: Elaboración propia

Para el año en estudio de la presente tesis se consideró representar los resultados de los costos y pérdidas de forma mensual por ser un estudio de corto a mediano plazo.

Antes de la implementación de las propuestas de mejora se obtuvo una pérdida de S/. 133,167.93 al mes y después de la implementación las propuestas de mejora se obtuvo una pérdida de S/. 53,267.17 al mes, obteniéndose un beneficio de S/. 79,900.76 al mes. El cual evidencia una recuperación de 60% aproximado en los costos de operación. En tabla N° 27 Pérdida antes de la implementación y pérdida después de la implementación, se muestra los valores antes mencionados.

Tabla 27.

Pérdida antes de la implementación vs pérdida después de la implementación de las propuestas de mejora



Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Resultado de causa raíz 1

Para la implementación del plan de mantenimiento al sistema de flota minestar en camiones y palas se utilizó las siguientes herramientas para la propuesta de solución: Diseño del flujo para el proceso de mantenimiento, diseño de los flujos de diagnóstico de componente en caso de fallas, diseño de actividades para el mantenimiento de cada flota, diseño de check list para el correcto control de las actividades, programa anual de intervención de los equipos y el plan y programa de capacitación anual para ingenieros y técnicos.

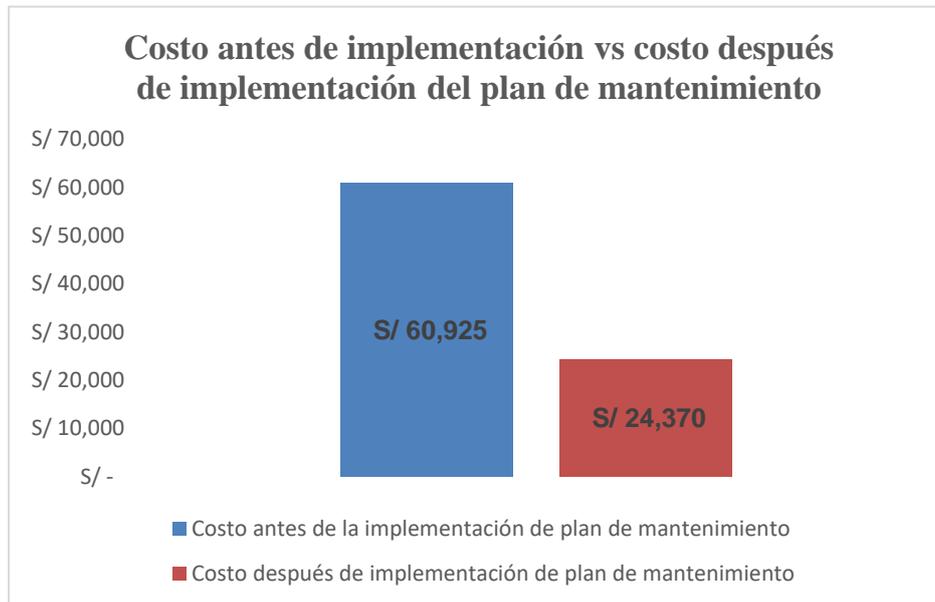
Con la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo se logró determinar una correcta gestión de mantenimiento ya que permite programar las inspecciones y reparaciones al hardware del sistema minestar, a consecuencia el sistema ejecutará mayor número de asignaciones óptimas en los equipos aumentando la productividad y por ende se alcanzará los requerimientos de producción.

Los costos de acarreo de los camiones gigantes representan el 45% del costo de minado aproximadamente ya sea en combustible, llantas y repuestos. De ahí radica la importancia del sistema minestar al ser una herramienta de administración de flota de mina, el cual representa el eje principal y cerebro de la mina. El objetivo de este software es producir al máximo al menor costo.

Como resultado del uso de estas herramientas de gestión la empresa pudo reducir los costos de operación, aumentar el tiempo de vida de los componentes y reducir los tiempos de los trabajos de mantenimiento. Además, el plan reduce la pérdida inicial de S/. 60,925.01 a S/. 24,370.01 obteniendo un beneficio de S/. 36,555.01. Con este resultado se recupera el 60% aproximado de los costos de operación. En la tabla N° 28: Costo antes del plan versus costo después de implementación del plan de mantenimiento, en la tabla N° 29: Costo por componente antes de implementar versus costo por componente después de implementar plan de mantenimiento y en la tabla N° 30: Pérdida antes de la implementación versus el beneficio de la propuesta de mejora a la causa raíz 1.

Tabla 28.

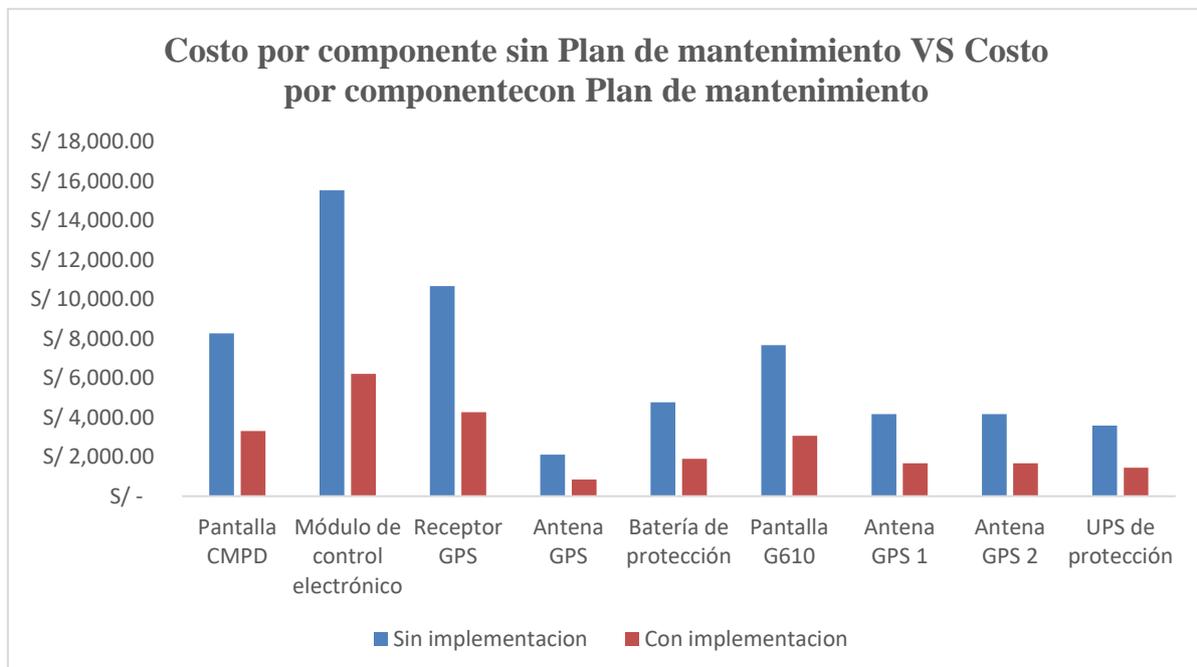
Costos antes de plan versus costos después de implementación del plan de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29.

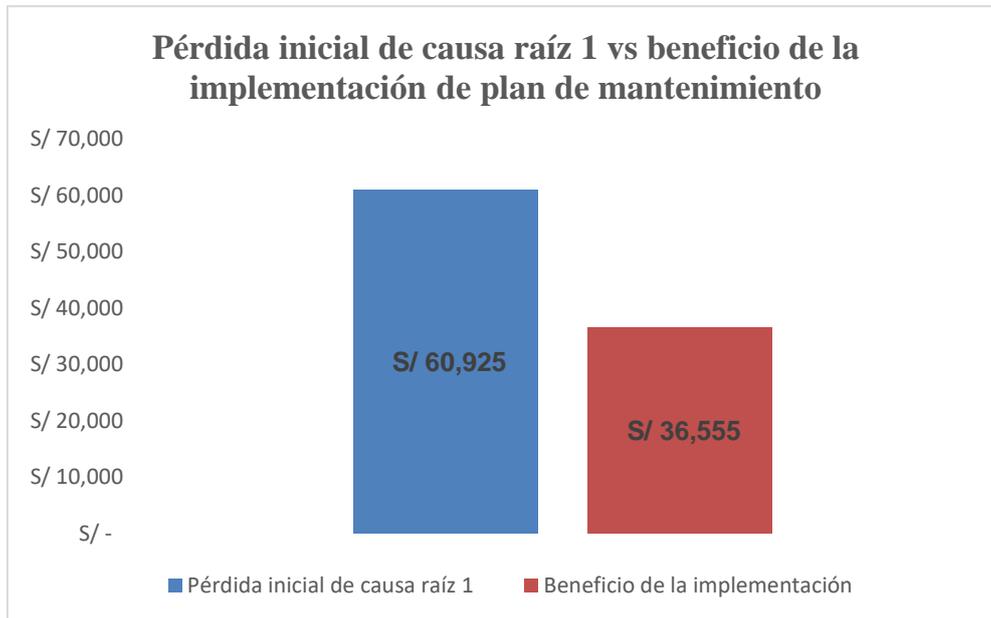
Costo por componente antes de plan versus costo después de implementación del plan de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30.

Pérdida antes de implementación de plan de mantenimiento versus beneficio de la implementación de plan de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Resultado de causa raíz 2

Continuando con el diseño del sistema de gestión de mantenimiento preventivo al sistema de flota minestar en los equipos de producción se elaboraron los siguientes procedimientos: PET-SCT-018 Mantenimiento del sistema minestar de mediana precisión en camiones 797F y PET-SCT-015 Mantenimiento al sistema minestar de alta precisión en palas eléctricas 7495.

Como resultado de esta propuesta de solución se logró que el personal tuviera la capacitación adecuada para la realización de las actividades de mantenimiento y a la vez cumplir con las funciones y responsabilidades del puesto, de esta manera se redujeron los tiempos de reparación y los trabajos correctivos en campo a un 60%. Además, con esto el área de Operaciones Mina de la empresa minera en estudio no esperará a que los componentes del sistema minestar se malogren y el costo sea más caro si no que una correcta gestión dará resultados favorables en los costos de operación de los equipos de producción.

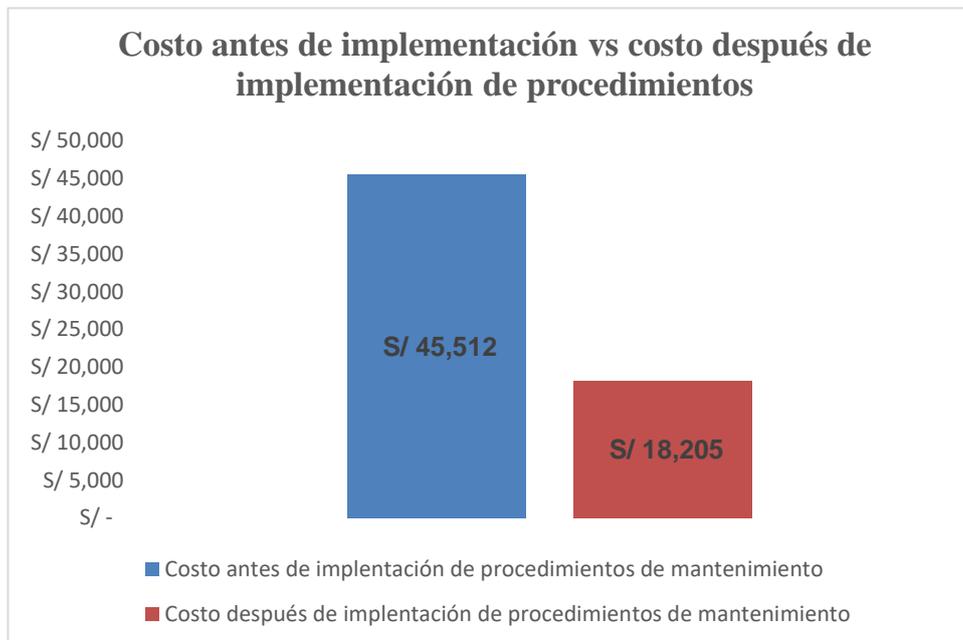
Al mantener operativo el sistema minestar se mantienen registrados los viajes en forma automática y el número de asignaciones óptimas para cada camión, estás

asignaciones que ejecuta el sistema tiene en cuenta los parámetros de tiempos de llegada de los equipos y las colas en las zonas de carguío y/o descarga, esto con el objetivo de minimizar los tiempos de espera o tiempos muertos. Por esta razón al realizar una adecuada gestión de mantenimiento al hardware del sistema minestar se mantienen los equipos operativos y se evitan paradas correctivas en campo, con esto se genera una mayor producción de material transportado al menor costo.

Al aplicar esta propuesta se determinó que el costo antes de la implementación fue de S/. 45,511.60 y con la implementación de la propuesta de mejora se redujo a S/. 18,204.64, obteniendo un beneficio de S/. 27,306.96. En la tabla N° 31: Costos de antes de la propuesta versus costos después de diseño de procedimientos, en la tabla N° 32: Costo por componente antes de implementar versus costo por componente después de implementar procedimientos de mantenimiento y en la tabla N° 33: Pérdida de causa raíz 2 antes de la implementación versus el beneficio de procedimientos de mantenimiento.

Tabla 31.

Costo antes de la propuesta versus costo después de la implementación de procedimientos de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32.

Costo por componente antes de procedimientos versus costo después de implementación de procedimientos de mantenimiento

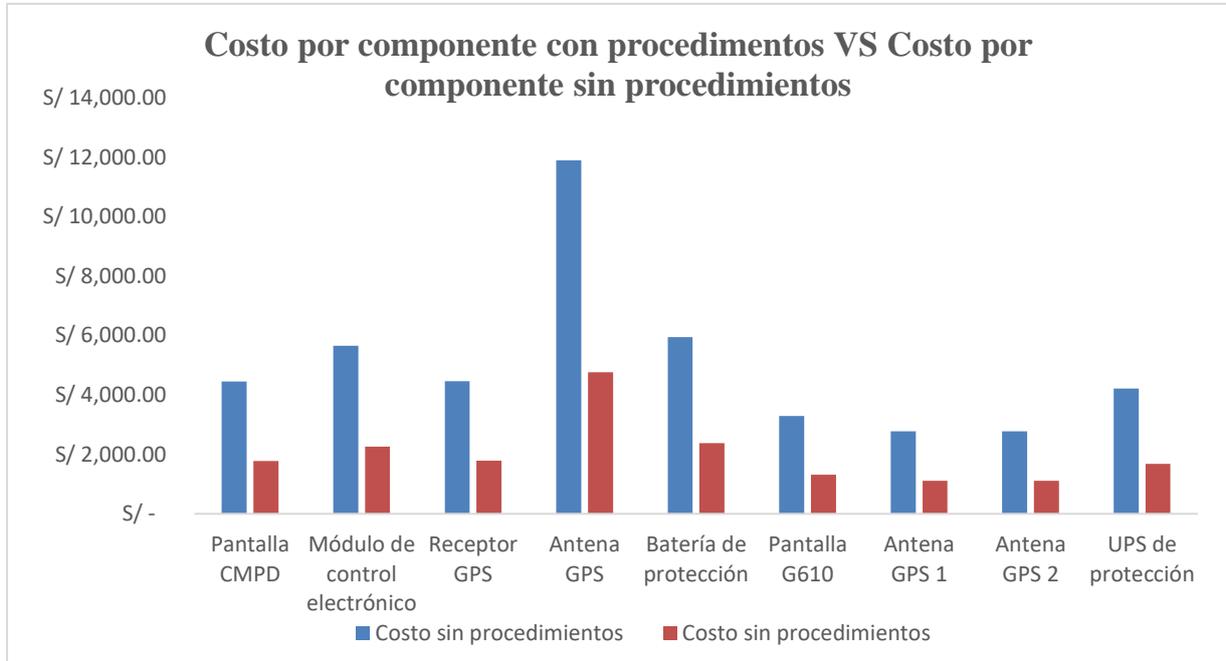
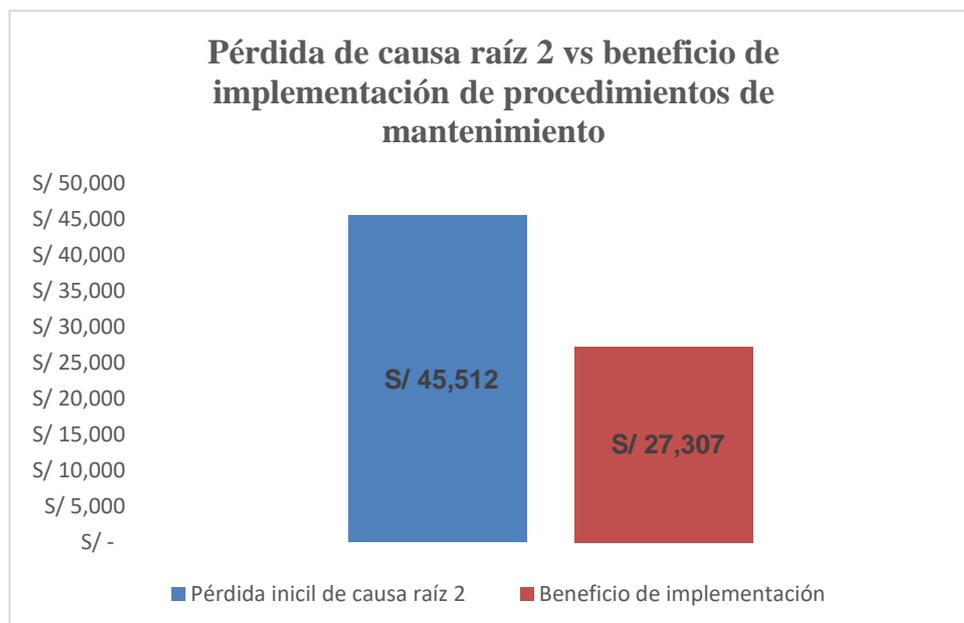


Tabla 33.

Pérdida de causa raíz 2 antes de la propuesta versus el beneficio de procedimientos de mantenimiento



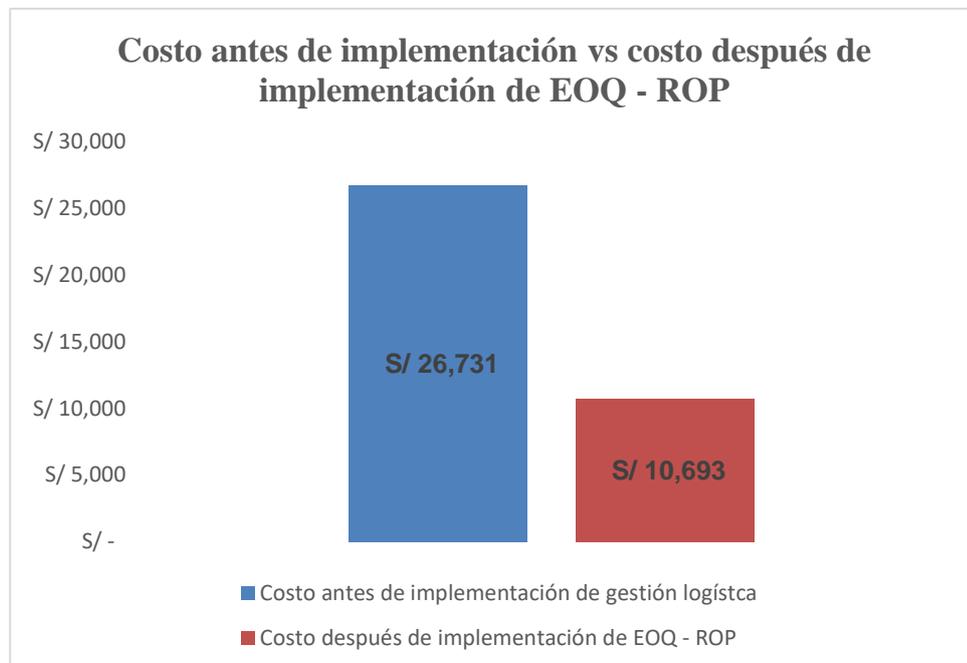
Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Resultado de causa raíz 3

Finalmente, para complementar el diseño del sistema de gestión de mantenimiento preventivo al sistema de flota minestar en los equipos en camiones y palas se utilizó las herramientas de gestión logística de lote económico de compra y punto de reorden para la compra y reposición adecuada de los componentes y repuestos. Con el uso de estas herramientas se logró disminuir las paradas en campo de los equipos auxiliares para retiro de los componentes ya que se diseñó un requerimiento de órdenes de compra de componentes y por ende se redujo los costos de operación de S/. 26,731.32 a S/. 10,692.53, obteniendo un beneficio de S/. 16,038.79 al mes. En la tabla N° 34: Costo antes de la propuesta versus costo después de diseño del requerimiento de órdenes de compra, en la tabla N° 35: Costo por componente antes de implementar versus costo por componente después de implementar EOQ y ROP y en la tabla N° 36: Pérdida de causa raíz 2 antes de la implementación versus el beneficio de procedimientos de mantenimiento.

Tabla 34.

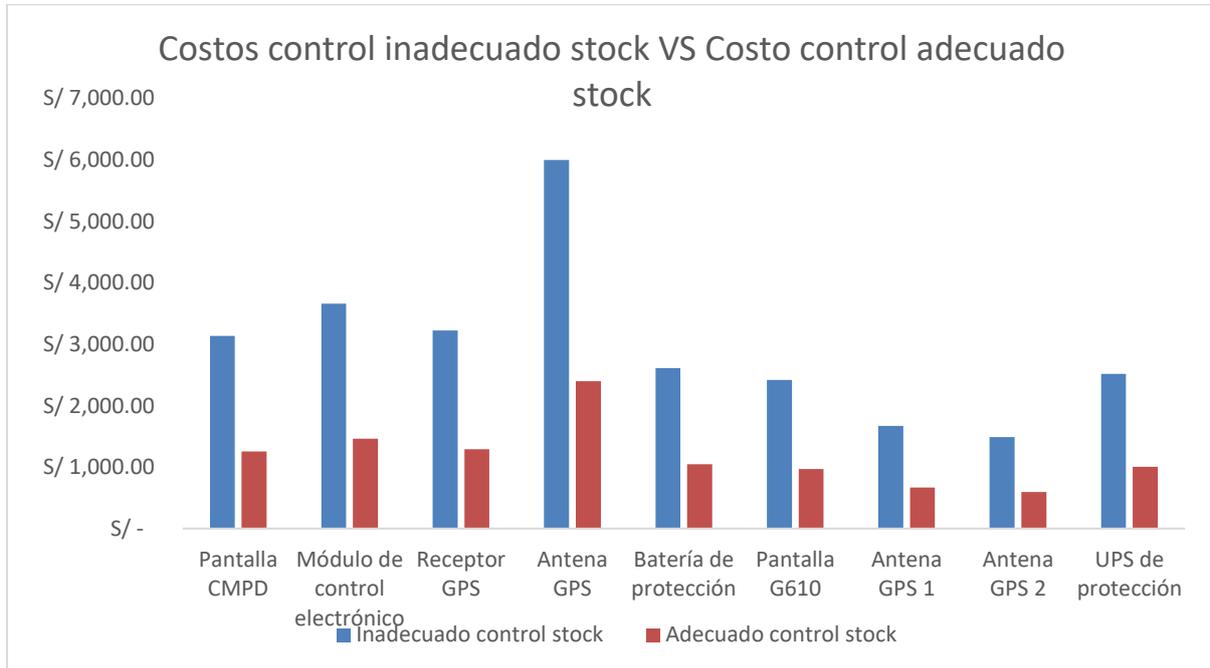
Costo antes de la propuesta versus costo después de diseño del requerimiento de órdenes de compra



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35.

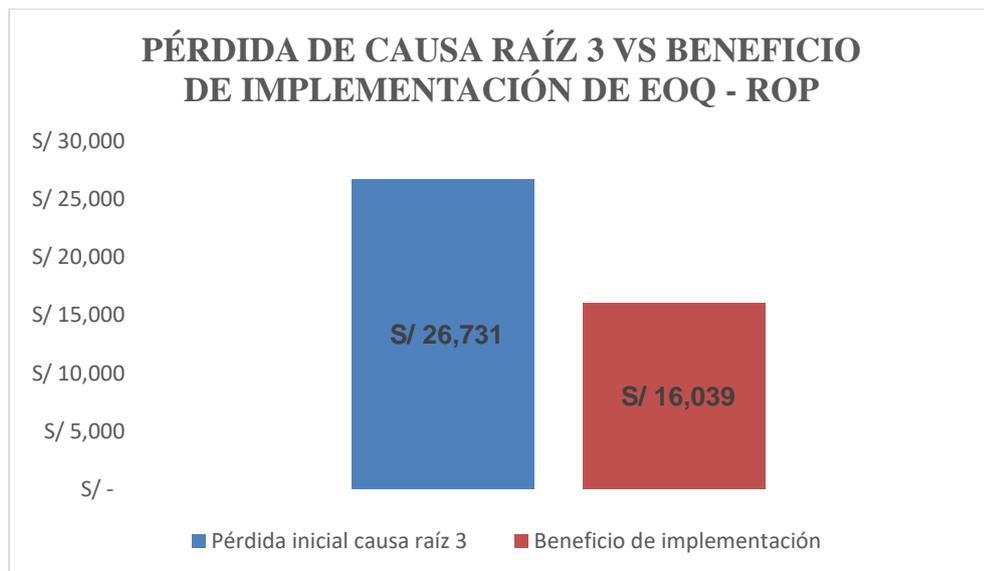
Costo por componente antes de implementación versus costo después de implementación EOQ – ROP



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36.

Costo antes de la propuesta versus costo después de diseño del requerimiento de órdenes de compra



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Para la siguiente tesis de investigación se realizó el diagnóstico al hardware del sistema de flota minestar que se implementó para mejorar el control de la producción de material movido (mineral o desmonte) y tener una adecuada administración de los recursos de mina en los camiones y palas los cuales son los equipos directos de producción en la mina.

Con el diagnóstico y la información obtenida del área de operaciones mina se elaboró el diseño de un plan de gestión de mantenimiento preventivo donde incluyen los formatos, los programas, los procedimientos y las herramientas de logística. (León 2020) cuyo objetivo principal fue de determinar el impacto sobre una propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y aplicación de herramientas logísticas sobre los costos operacionales de la empresa “Servicios Santa Gabriela S.A.C.”. Al realizar el diagnóstico mediante el análisis Ishikawa encontró que el problema principal de su investigación fue la ausencia de un plan de mantenimiento autónomo el cual obtuvo una pérdida antes de la implementación de S/. 130,195.09, como propuesta de solución propuso diseñar procedimientos de mantenimiento preventivo, plantillas de revisión semanal y un cronograma de mantenimiento programado para los equipos en estudio que tomo como muestra, gracias a la implementación de un plan de mantenimiento autónomo logró reducir la perdida a S/. 32,548.77 recuperando el 75% de la perdida inicial. En la empresa de estudio (León 2020) tomó como muestra equipos grandes utilizados para mantenimiento de líneas eléctricas. Con respecto a la presente tesis en estudio al realizar el diagnóstico Ishikawa se encontró también que uno de los problemas principales es la falta de un plan de mantenimiento se calculó una pérdida inicial de S/. 60,925.01 mensuales antes de la implementación, como propuesta de solución se diseñó un plan de mantenimiento con la creación de los flujos de procesos de mantenimiento y diagnóstico de fallas, formatos de trabajo, programa de mantenimiento y además un plan de capacitación al personal involucrado con esta implementación se logró reducir la perdida a S/. 24,370.01 mensuales recuperando el 60% de la perdida inicial, el cual es un resultado aproximado en porcentajes con la tesis de (León 2012) ya que en la presente tesis se tomó como muestra el hardware del sistema de flota minestar, los cuales son componentes que tienen menor precio con respecto a los precios de los equipos de

mantenimiento de líneas que maneja la empresa mencionada, esta comparación tiene una implicancia práctica porque se puede contrastar estos resultados con el presente estudio de investigación.

(Ramos, Villar 2020) al realizar el diagnóstico actual de mantenimiento de las electrobombas Flygt 2400 en el drenaje de una empresa minera en Cajamarca analizaron que dichos equipos tienen un número elevado de paradas no programadas lo que conlleva a que tengan costos elevados de mantenimiento, para el cual proponen un diseño de estrategias de mantenimiento con la metodología TPM, al diseñar los formatos de reporte de fallas, check list de inspección, check list de reparación y procedimiento estándar de trabajo para realizar las actividades de mantenimiento, redujeron de 222 a 112 al mes el número de paradas correctivas de los equipos lo que corresponde a una reducción de 49.55% al mes, para la presente tesis de investigación al implementar la elaboración de procedimientos estándares de trabajo se redujo en un 41% al mes las paradas correctivas en campo siendo un valor aproximado a la tesis en discusión. Esta discusión tiene una implicancia de metodología porque se puede demostrar la reducción de actividades de mantenimiento correctivo realizando estrategias de ingeniería.

(Escudero 2016) al realizar el diagnóstico situacional de la empresa Industriales del cuero S.A.C. determinó que la causa raíz 7 “ausencia de procedimientos”, origina sobrecostos de operación en los procesos de la industria de cueros. Al elaborar los procedimientos de trabajo como propuesta de mejora a la causa raíz 7, redujo a un 30% al mes los costos de operación a la implementación de un programa de maestro de mantenimiento preventivo, para la presentación de la siguiente tesis al igual que (Escudero 2016) se diseñó los procedimientos estándares de trabajo seguro para realizar las actividades de mantenimiento al sistema de flota minestar que llevan los equipos de producción, los cuales ayudaron a reducir los costos de pérdida de tonelada movida por trabajos correctivos a un 40% el cual es un valor aproximado a (Escudero 2016), para ambos estudios se aplicó la técnica de elaboración de procedimientos de trabajo el cual indica una buena estrategia para reducción de costos de mantenimiento. Esta comparación tiene una implicancia práctica porque se puede contrastar los resultados en la reducción de costos de operación.

(Villegas 2016), al proponer una mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa “Manfer S.R.L. Contratistas generales”, menciona que antes de la implementación no se contaba con una persona con

conocimientos para elegir la mejor opción de servicio técnico y de insumos óptimos para los equipos, después de la implementación, la metodología mejoró el proceso con la intervención de un planner de mantenimiento para el estudio de (Villegas 2016) fue necesario la intervención de este personal ya que para la muestra de su estudio utilizó equipos y maquinarias para la ejecución de obras de construcción civil de gran capacidad y con costos elevados, para la presente tesis de investigación se utilizó las herramientas logísticas EOQ y ROP que se presentó al área de logística, el cual el encargado cumple la función de planner que mejoro la disponibilidad de repuestos. Esta discusión tiene una implicancia práctica porque los resultados son positivos al implementar las herramientas de logística.

Limitaciones: Las limitaciones que se observaron para la preparación de la siguiente tesis fue la disponibilidad de información por parte de la empresa, el cual hubo demoras para recabar la información, también se encontró limitaciones para encontrar antecedentes similares ya que el sistema minestar es una herramienta que solo se cuenta en 2 minas a nivel nacional. (Minera Chinalco Perú S.A. en Junín y Minera Cerro Verde en Arequipa).

4.2 Conclusiones

- Se determinó el impacto de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo al sistema de flota “minestar”, el cual fue de una reducción mensual de S/. 79,900.76, en esta empresa minera ubicada en el departamento de Junín, lo cual se evidenció una reducción de 60% en los costos de operación para los trabajos de mantenimiento.
- Se diagnosticó la situación actual de los trabajos de mantenimiento al sistema de flota “minestar” en esta empresa minera obteniendo un sobre costo mensual de S/ 133,167.93. Además, se determinó que el porcentaje de mantenimiento correctivo era del 100%, el porcentaje de procedimientos estándares era de cero y el número de componentes incumplidos por parte del área de logística fueron 23 unidades.
- Se diseño un plan de mantenimiento preventivo al sistema de flota minestar para los camiones y palas, el cual abarcó el diseño de formatos, programa de mantenimiento y plan de capacitación, también se elaboraron 2 procedimientos estándares de trabajo para los equipos que se tomaron como muestra (camiones y palas), reduciendo los

trabajos correctivos en campo a un 60% aproximadamente, además se calculó el lote económico de compra dándonos como resultado 7 unidades para camiones y 3 unidades para palas con un punto de reposición de 5 y 3 unidades respectivamente.

- Se evaluó económicamente la propuesta obteniéndose un resultado de VAN S/. 696,133; TIR 65% y un costo beneficio de 2.41. Estos resultados indican que el proyecto es económicamente viable

REFERENCIAS

- **Andina.** (2019) Agencia peruana de noticias. Arequipa y Ancash lideraron producción de cobre en Perú durante el 2019. Recuperado de.
[https://andina.pe/agencia/noticia-arequipa-y-ancash-lideraron-produccion-cobre-peru-durante-2019-785518.aspx#:~:text=El%20Per%C3%BA%20que%20en%20la,\(2.43%20millones%20de%20TM\)](https://andina.pe/agencia/noticia-arequipa-y-ancash-lideraron-produccion-cobre-peru-durante-2019-785518.aspx#:~:text=El%20Per%C3%BA%20que%20en%20la,(2.43%20millones%20de%20TM))
- **Beltrán (2015)** Libro “Evaluación Privada de Proyectos” pp 371 – 414 Perú (Universidad del Pacifico – Centro de investigación), extraído el 16 de febrero del año 2021.
- **Bonzi (2016)** “Propuestas de mejora de la utilización efectiva en base a disponibilidad de la flota de carguío y transporte en minera los Pelambres” pp. 13-14. Chile, extraído el 25 de enero del año 2021. Recuperado de.
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139829/Propuestas-de-mejora-de-la-utilizacion-efectiva-en-base-a-disponibilidad-de-la-flota-de-carguio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- **Dipromin.** (2019) Diario Digital de Minería, Energía y Construcción. Ranking países que lideran la producción de cobre en el mundo. Recuperado de.
<https://www.dipromin.com/noticias/ranking-estos-son-los-paises-que-lideran-la-produccion-de-cobre-en-el-mundo/>
- **Escudero (2016)** “Propuesta de de un programa de mantenimiento preventivo para reducir los costos operativos en la empresa Productos Industriales del cuero S.A.C.”, pp 146. Perú, extraído el 25 de febrero del año 2021, recuperado de.
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/11110/Escudero%20Ch%c3%a1vez%2c%20Andr%c3%a9%20Adnan%20Aar%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- **León (2020).** “Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y aplicación de herramientas logísticas y de gestión de procesos para reducir los costos operacionales en el área de mantenimiento de la empresa servicios Santa Gabriela S.A.C.” pp. 68-71, 90-91. Perú, extraído el 15 de febrero del año 2021, recuperado de.
<https://repositorio.upn.edu.pe/browse?type=author&value=Le%C3%B3n+Carranza%2C+Mar%C3%ADa+Fernanda>

- **Medina (2019)** “Automatización del transporte de material y gestión de flota en volquetes con payload meter inoperativo de una operación minera a tajo abierto” pp 27, 34. Perú, extraído el 30 de enero del 2021, recuperado de.
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2738>
- **Minem.** (2019) Perú. Ministerio de energía y minas. Estadísticas. Producción de cobre en el Perú. Recuperado de.
<http://www.minem.gob.pe/estadistica.php?idSector=1&idEstadistica=12501>
- **Olazabal (2013)** “Factibilidad del cambio de sistema de control de mina en la unidad minera Toquepala” pp 25, 28, 35 y 36. Perú, extraído el 30 de enero del año 2021, recuperado de.
http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5948/OLAZABAL_JAVIER_FACTIBILIDAD_DEL_CAMBIO_DE_SISTEMA_DE_CONTROL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- **Operaciones mina – Servicios técnicos (2017)** Curso “Sistema de Gestión de flota – nivel básico” pp 3 – 6, extraído el 25 de enero del año 2021.
- **Palomino (2019)** “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para los equipos e instalaciones del hospital San José” pp 10. Perú, extraído el 30 de enero del año 2021, recuperado de.
<http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3738/PALOMINO%20LAZARO%20LAURO%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- **Ramos, Villar (2020).** “Diseño de estrategias de mantenimiento con la metodología TPM para mejorar la disponibilidad de las electrobombas flygt 2400 en el área de drenaje de una empresa minera en Cajamarca” pp. 70-75, 78. Perú, extraído el 30 de enero del año 2021, recuperado de.
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24849/Ramos%20Correa%2c%20Antenor%20-%20Villar%20Salda%20de%20Ramos%2c%20Heylli%20Noemi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- **Rojas (2006).** “Mejoramiento de la performance y gestión del Dispatch en Cerro Verde” pp. 35 Perú, extraído el 31 de enero del año 2021.
- **Sampieri (2014),** Libro “Metodología de la investigación” pp 92,93. Perú, extraído el 31 de enero de 2021.
- **Valderrama (2020)** “Diseño de un plan de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de una flota de cargadores frontales modelo 966-G de la empresa

Autocentro Cajamarca S.R.L.” pp. 13, 33, 37 y 38. Perú, extraído el 15 de febrero del año 2021, recuperado de.

[file:///C:/TESIS/resultados/Valderrama%20Izquierdo,%20Ever%20Eli%20\(gestion%20de%20mantenimiento%20a%20equipos%20cat%20966g.pdf](file:///C:/TESIS/resultados/Valderrama%20Izquierdo,%20Ever%20Eli%20(gestion%20de%20mantenimiento%20a%20equipos%20cat%20966g.pdf).

- **Villegas (2016)** “Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa “Manfer S.R.L. contratistas generales”, pp 144. Perú, extraído el 15 de febrero del año 2021, recuperado de.

https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15234/1/VILLEGAS_ARENAS_JUA_OPT.pdf.

ANEXOS

Anexo N° 1. Control del hardware del sistema minestar en camiones 797F

CONTROL DEL HARDWARE MINESTART PARA CAMIONES 797F							
Equipo	Modelo	Código de camión	Número de serie ECM	Número de serie Pantalla CMPD	Número de serie Receptor GPS	Número de serie Batería	Número de serie Antena GPS
Camion	CAT-797F	CM101	2003B007HD	0182G029MR	2871B075HD	A1120503	175110832
Camion	CAT-797F	CM102	2003B067HD	0290G036MR	2871B067HD	A1124169	175110872
Camion	CAT-797F	CM103	2003B038HD	0762G001MR	2871B061HD	A1221138	175110103
Camion	CAT-797F	CM104	2011B115HD	0962G013MR	0902B097HD	D1222736	175110785
Camion	CAT-797F	CM105	1681B137HD	0262G035MR	0902B098HD	C1221790	175110105
Camion	CAT-797F	CM106	1401B125HD	0742G032MR	2871B076HD	A1120511	175110349
Camion	CAT-797F	CM107	0812B004HD	1002G017MR	2871B096HD	D1222735	175110857
Camion	CAT-797F	CM108	1401B114HD	0302G002MR	2871B087HD	C1221774	175110376
Camion	CAT-797F	CM109	2011B068HD	0182G040MR	2871B063HD	A1120476	175110865
Camion	CAT-797F	CM110	1401B054HD	0752G006MR	2871B070HD	A1221104	175110765
Camion	CAT-797F	CM111	2081B035HD	0742G025MR	2871B058HD	A1120507	175110907
Camion	CAT-797F	CM112	2081B045HD	0752G010MR	2871B081HD	A1120471	164110542
Camion	CAT-797F	CM113	2081B019HD	0752G003MR	2871B082HD	C1221821	175110737
Camion	CAT-797F	CM114	2612B464HD	0742G031MR	2071B056HD	A1120487	175110154
Camion	CAT-797F	CM115	1401B226HD	0752G008MR	2871B071HD	A1221121	175110829
Camion	CAT-797F	CM116	2081B070HD	0182G042MR	2871B147HD	A1120001	175115204
Camion	CAT-797F	CM117	1401B102HD	0290G425MR	2871B102HD	A1122578	175119622
Camion	CAT-797F	CM118	0752B047HD	0762G365MR	2871B365HD	A1221304	175118524
Camion	CAT-797F	CM119	1681B182HD	0962G752MR	0902B741HD	D1227115	175112034
Camion	CAT-797F	CM120	1401B244HD	0262G197MR	0902B062HD	C1222514	175118563
Camion	CAT-797F	CM121	2081B028HD	0742G342MR	2871B140HD	A1120201	175112034
Camion	CAT-797F	CM122	0752B047HD	1002G247MR	2871B361HD	D1222735	175111030
Camion	CAT-797F	CM123	1681B193HD	0302G927MR	2871B520HD	C1223025	175110402
Camion	CAT-797F	CM124	1401B096HD	0182G143MR	2871B203HD	A1120102	175110303
Camion	CAT-797F	CM125	2081B119HD	0752G031MR	2871B004HD	A1221520	175110780
Camion	CAT-797F	CM126	0812B004HD	0742G703MR	2871B003HD	A1120852	175110034
Camion	CAT-797F	CM127	1401B114HD	0752G501MR	2871B014HD	A1126324	164110412
Camion	CAT-797F	CM128	2011B068HD	0752G436MR	2871B410HD	C1222034	175110952
Camion	CAT-797F	CM129	1401B054HD	0742G720MR	2071B009HD	A1125201	175110225

Fuente: Propia

Anexo N° 2. Control del hardware del sistema minestar en palas eléctricas 7495

CONTROL DEL HARDWARE MINESTART PARA PALAS						
Equipos	Modelo	Código de la pala	Número de serie Pantalla Táctil G610	Número de serie GPS 1	Números de serie GPS 2	Números de serie UPS de Protección
Pala	CAT-7495	PL001	211G3201	0423J200SP	0423J258SP	020212840MR
Pala	CAT-7495	PL002	002G1525	0423J620SP	0423J362SP	200028020MR
Pala	CAT-7495	PL003	025G7741	0423J632SP	0423J030SP	002874510MR

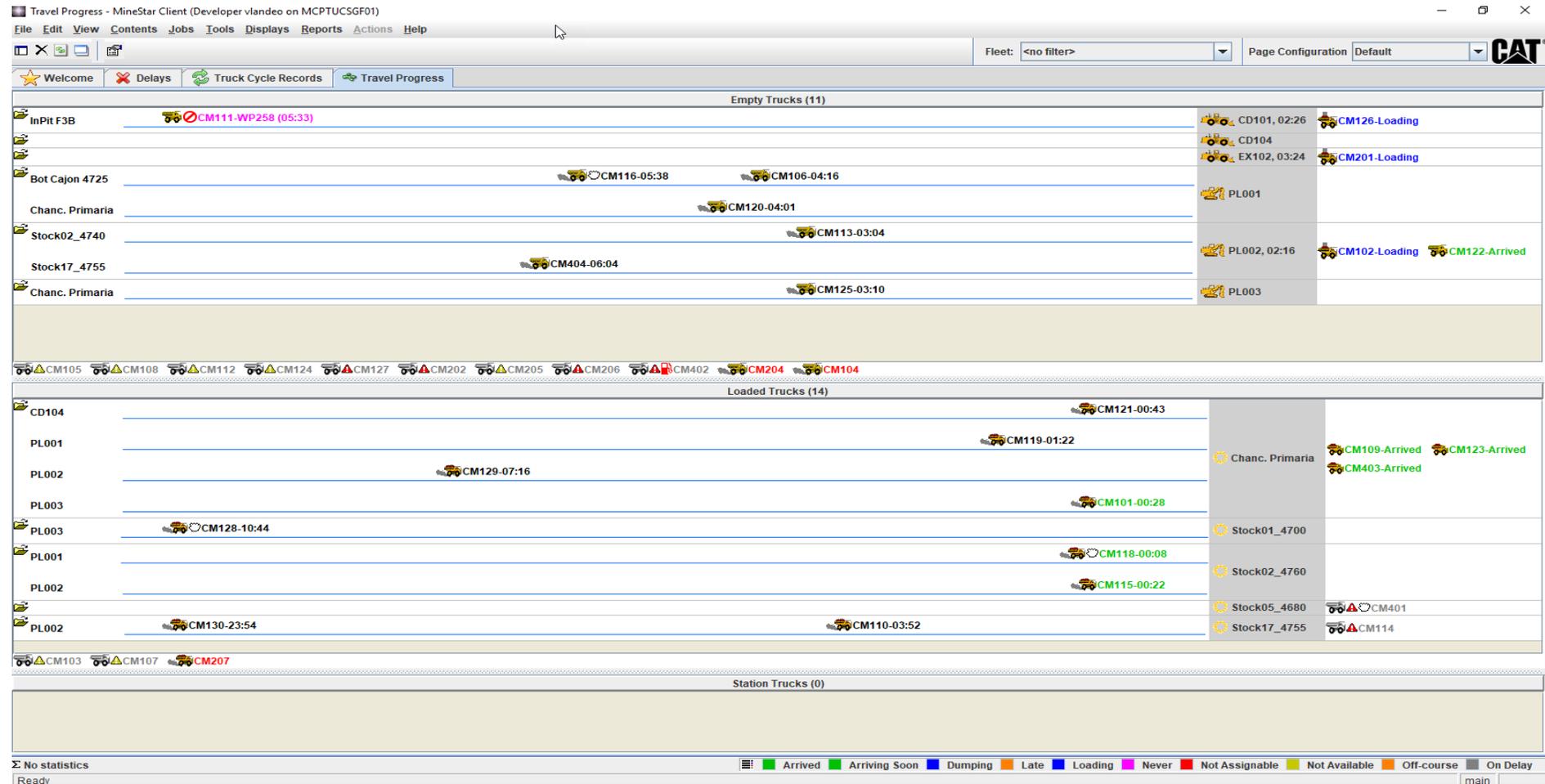
Fuente: Propia

Anexo N° 3. Zona de carguío de mineral



Fuente: Propia

Anexo N° 4. Progreso de ciclos de camiones, palas y zonas de descarga



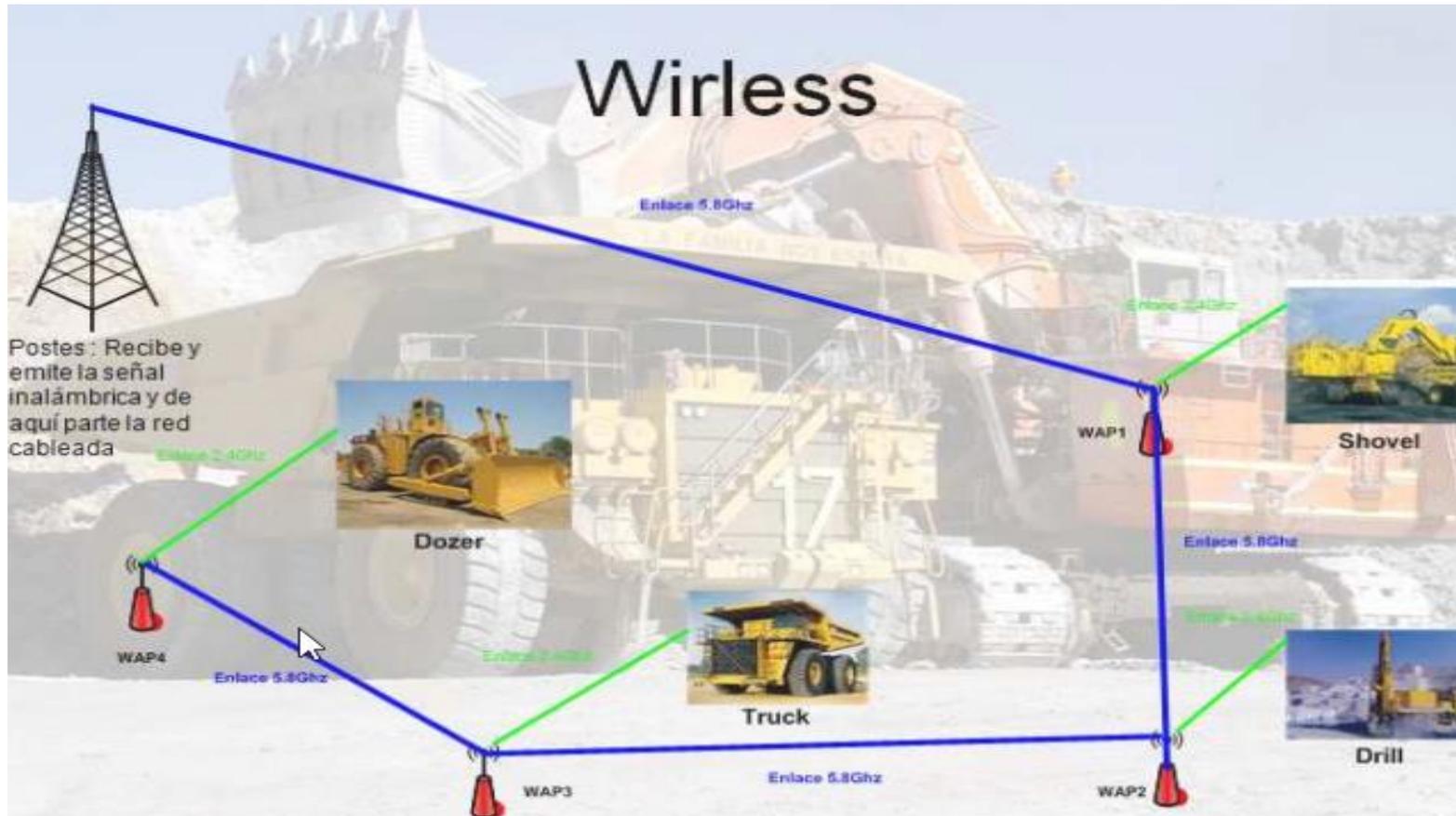
Fuente: Software de sistema minestar

Anexo N° 6. Sala de control mina



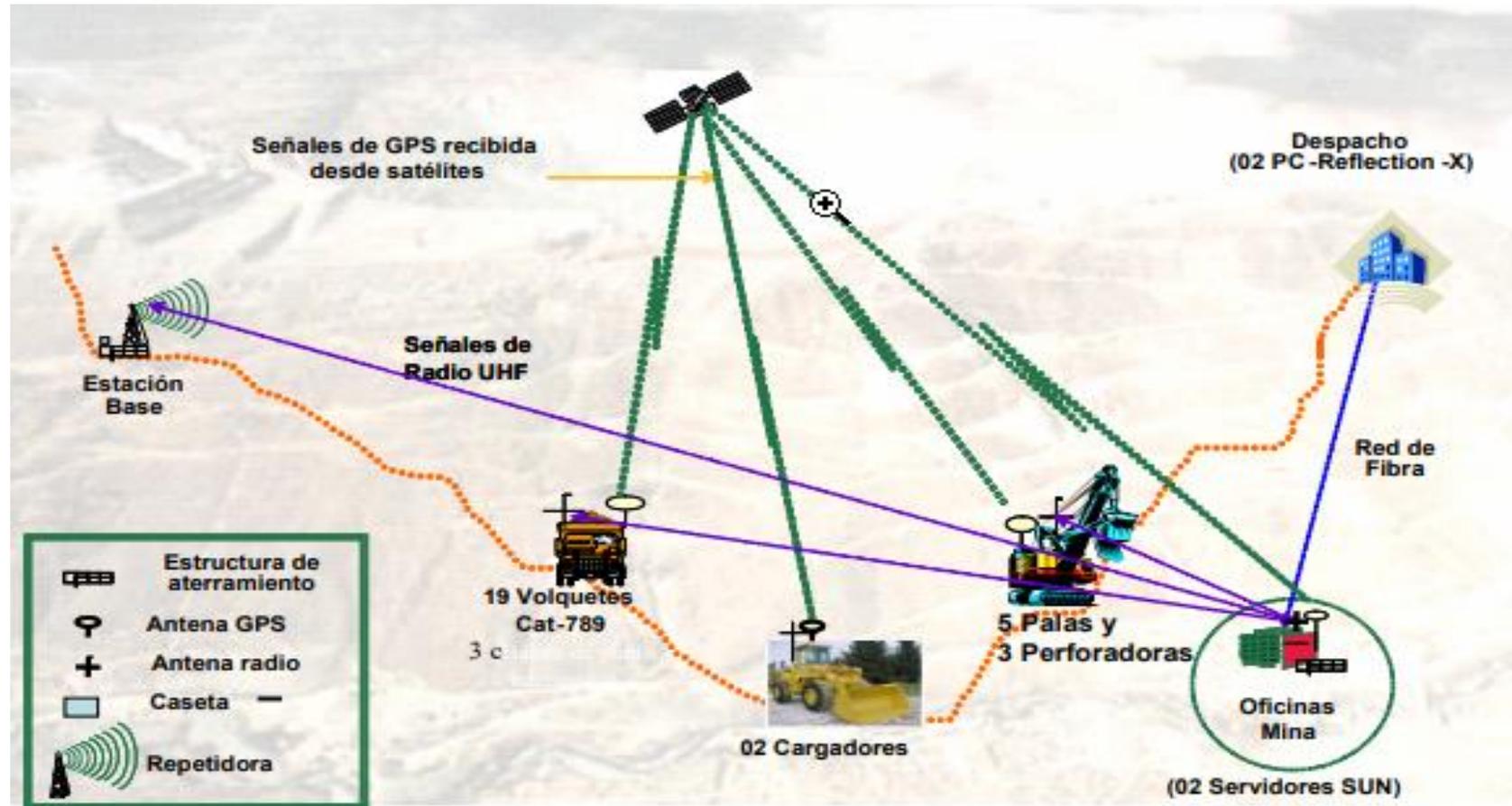
Fuente: Propia

Anexo N° 7. Malla de la red inalámbrica para recepción y transferencia de datos



Fuente: Propia

Anexo N° 8. Triangulación de posición los equipos mediante GPS, Estación base y satélites



Fuente: Tesis Sergio Rojas Tinoco pp 35

Anexo N° 10. Camión Minero CAT-797F



Fuente: Propia

Anexo N° 11. Aplicación del sistema minestar en camiones mineros



Fuente: Software sistema minestar

Anexo N° 12. Pantalla táctil CMPD ubicado dentro de la cabina de los camiones para visualización del operador.



Fuente: Propia

Anexo N° 13. Operador interactuando con la pantalla minestar en camiones



Fuente: Propia

Anexo N° 14. Módulo de control electrónico (ECM) en camiones



Fuente: Propia

Anexo N° 15. Receptor GPS en camiones



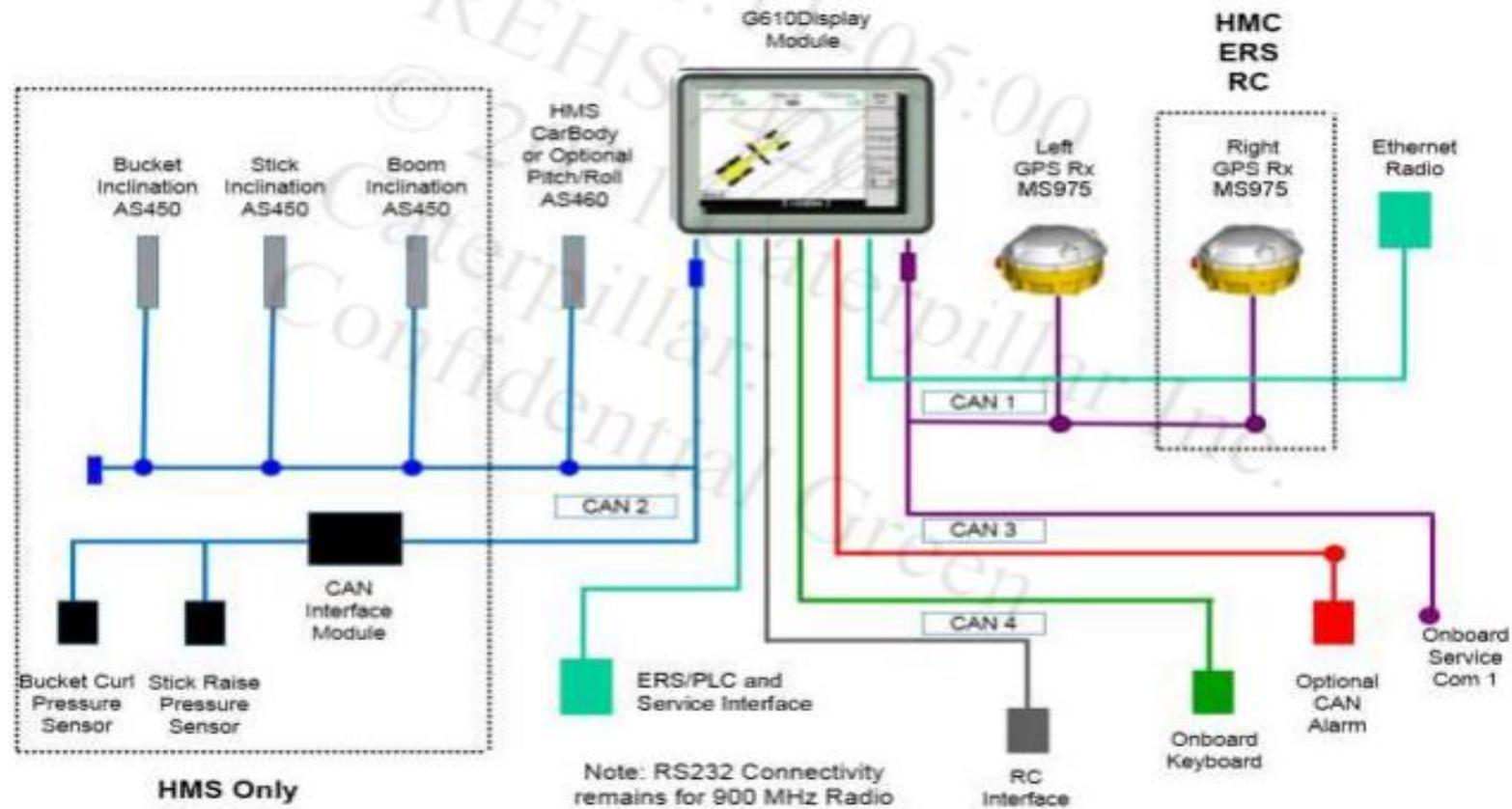
Fuente: Propia

Anexo N° 16. Antena GPS en camiones



Fuente: Propia

Anexo N° 17. Diagrama esquemático de sistema minestar en palas



Fuente: Special Instruction sistema minestar en palas

Anexo N° 18. Pala eléctrica CAT - 7495



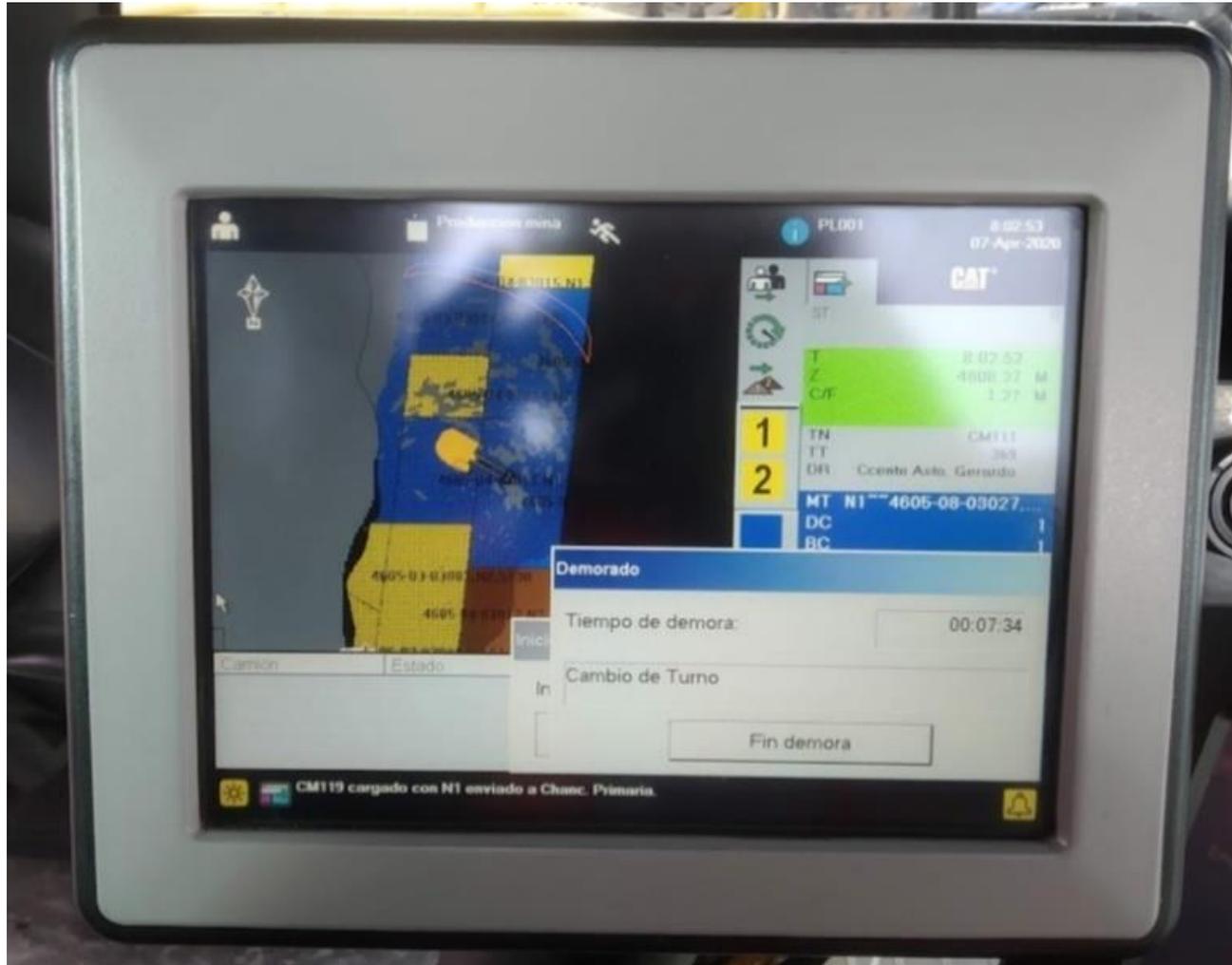
Fuente: Propia

Anexo N° 19. Aplicación del sistema minestar en palas eléctricas



Fuente: Software sistema minestar

Anexo N° 20. Pantalla táctil G610 ubicado dentro de la cabina de las palas para visualización del operador.



Fuente: Propia

Anexo N° 21. Antenas GPS en palas



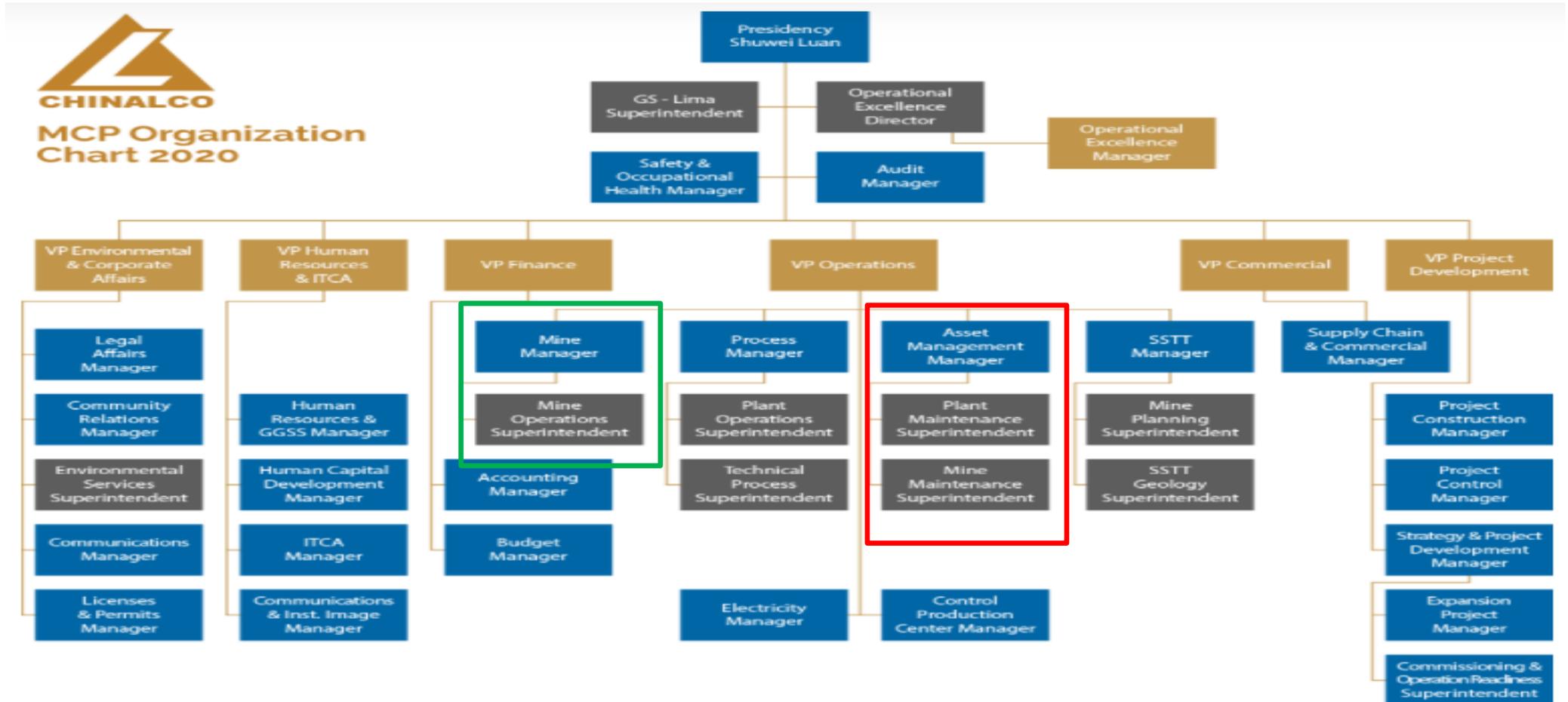
Fuente: Propia

Anexo N° 22. UPS de protección del sistema en palas.



Fuente: Propia

Anexo N° 23: Organigrama de Minera Chinalco Perú S.A.



Fuente: Página oficial de Minera Chinalco Perú S.A.

<https://www.chinalco.com.pe/estructura-organizacional>