

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



Propuesta para aumentar la disponibilidad mecánica de equipos
en minera de tajo abierto

Tesis para obtener el grado académico de Maestro en Gestión de la
Ingeniería que presenta:

Edson Filberth Gutierrez Arenales

Asesor:

Manuel Ricardo Belaochaga Agurto

Lima, 2025


Informe de Similitud

Yo, Manuel Ricardo Belaochaga Agurto, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada(o) Propuesta para aumentar la disponibilidad mecánica de equipos en minera de tajo abierto, de el autor Edson Filberth Gutierrez Arenales, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 18%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 15/03/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de investigación, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 15 de Marzo de 2025.

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: Belaochaga Agurto, Manuel Ricardo	
DNI: 10300895	Firma 
ORCID: 0000-0001-9492-4236	

Resumen

Actualmente, la demanda mundial de hierro, materia prima clave para la producción de acero, muestra un crecimiento sostenido. En el Perú, solo una empresa minera lidera el procesamiento y comercialización de este recurso, generando oportunidades significativas en el mercado. Sin embargo, para cumplir con sus objetivos de producción, la empresa depende de contratistas especializados, uno de los cuales enfrenta dificultades para alcanzar la meta mensual de 5.5 millones de toneladas, entregando en promedio menos de 5.0 millones.

El principal factor que contribuye a esta brecha es la baja disponibilidad mecánica de los equipos, que se sitúa en un 85%, un 5% por debajo del estándar de la industria. Esto afecta directamente la capacidad de producción y competitividad.

Se propone implementar metodologías avanzadas de mantenimiento, como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el Mantenimiento Productivo Total (TPM), incluyendo pilares como el mantenimiento autónomo y planificado. Además, el análisis de modos y efectos de falla (AMEF) permitirá identificar y mitigar las causas principales de indisponibilidad como el número de paradas no planificadas. El plan incluye capacitar al personal, optimizar la supervisión, motivar al personal técnico y evaluar rigurosamente a los proveedores para alinear sus servicios con los objetivos estratégicos.

Finalmente, se realizará un análisis económico exhaustivo para evaluar el impacto de la propuesta, considerando mejoras en la disponibilidad mecánica, reducción de paradas no planificadas, optimización de costos operativos y retorno de inversión, fortaleciendo así la competitividad de la empresa en el mercado.

Palabra clave: RCM; AMEF; Mantenimiento productivo total, Mantenimiento planificado.

Proposal to Increase Equipment Reliability through Comprehensive Analysis of Data,
Personnel, and Suppliers

Abstract

Currently, the global demand for iron, a key raw material for steel production, is experiencing sustained growth. In Peru, only one mining company leads the processing and commercialization of this resource, generating significant market opportunities. However, to meet its production goals, the company relies on specialized contractors, one of which struggles to achieve the monthly target of 5.5 million tons, delivering an average of less than 5.0 million.

The main factor contributing to this gap is the low mechanical availability of the equipment, which stands at 85%, 5% below the industry standard. This directly impacts production capacity and competitiveness.

The implementation of advanced maintenance methodologies is proposed, such as Reliability-Centered Maintenance (RCM) and Total Productive Maintenance (TPM), including pillars like autonomous and planned maintenance. Additionally, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) will help identify and mitigate the main causes of unavailability, such as the number of unplanned downtimes. The plan includes training personnel, optimizing supervision, motivating technical staff, and rigorously evaluating suppliers to align their services with strategic objectives.

Finally, a comprehensive economic analysis will be conducted to evaluate the impact of the proposal, considering improvements in mechanical availability, reduction of unplanned downtimes, optimization of operating costs, and return on investment, thus strengthening the company's competitiveness in the market.

Keywords: RCM; FMEA; Total Productive Maintenance; Planned Maintenance.

Índice

1.- Capitulo 1: Introducción al problema de investigación	10
1.1 Antecedentes de Estudio	10
1.1.1 Tipo de minería	11
1.1.1.1 Minería subterránea.	11
1.1.2 La producción de hierro en el Perú	13
1.1.3 El proceso productivo del hierro de la empresa en estudio	17
1.1.3.1 Proceso de perforación.	19
1.1.3.2 Proceso de disparo.	20
1.1.3.3. Proceso de carguío.	20
1.1.3.4. Proceso de acarreo.	20
1.2 Descripción de la problemática	20
1.2.1 La Producción del hierro en la empresa en estudio	21
1.2.2 Costos de mantenimiento	23
1.2.2.1 Costos de mantenimiento en la Flota Camiones.	24
1.2.3 Indicadores de mantenimiento flota camiones	29
1.2.4 Pérdidas económicas	30
2.- Capitulo 2: Objetivo General	31
2.1 Objetivo específico	31
2.1.1. Reducir las paradas por fallas	31
2.1.2 Desarrollar e implementar políticas de atracción de talento	31
2.1.3 Desarrollar e implementar un conjunto de políticas para proveedores	31
3.- Capitulo 3: Marco teórico	32
3.1 Planeamiento de mantenimiento	32
3.3 Actividades de mantenimiento de TPM	35
3.3.1 Mantenimiento planificado	35
3.3.2 Mantenimiento predictivo	36
3.3.3 Mantenimiento preventivo	39
3.3.4 Mantenimiento Correctivo	40
3.3.5 Análisis de falla Weibull	42
3.3.6 MTBF y MTTR	44
3.3.6.1 Tiempo medio entre fallos (MTBF).	44
3.3.6.2 Tiempo medio para su reparación (MTTR).	44

3.3.7 AMEF	44
4.- Capitulo 4: Metodología	45
5.- Capitulo 5: Contenido de la tesis	46
5.1 Causas de la baja confiabilidad del sistema eléctrico de la flota de camiones	46
5.2 Alternativas de solución	50
5.2.1 Planes de acción derivado del análisis	50
5.2.1.1 Desarrollar un plan de mantenimiento basado en la condición actual de los equipos	50
5.2.1.2 Desarrollar políticas de atracción y retención de personal técnico	51
5.2.1.3 Desarrollar políticas de evaluación de proveedores basado en la calidad de servicios y repuestos.....	52
5.3 Implementación:	52
5.3.1.- Desarrollar un plan de mantenimiento basado en la condición actual de los equipos..	52
5.3.1.1 Paso 1: Elaboración de los sistemas, subsistemas, partes y modos de falla.	52
5.3.1.2 Paso 2: Restructurar el proceso de registro de reportes basado en la calidad y velocidad de la información.	56
5.3.1.2.1 Proceso actual de registro de datos.	56
5.3.1.2.2 Proceso Mejorado de registro de datos.....	58
5.3.1.2.2.1 Registro de la actividad de mantenimiento.....	59
5.3.1.2.2.2 Identificación (ID).....	59
5.3.1.2.2.3 Registro de datos iniciales.	60
5.3.1.2.2.4 Registro de estado del equipo.....	61
5.3.1.2.2.5 Registro de la codificación de la parada del equipo.....	62
5.3.1.2.2.6 Tratamiento de los datos.	63
5.3.1.2.2.7 Visualización e interpretación de los datos fila 1.	64
5.3.1.2.2.8 Visualización e interpretación de los datos fila 2.	64
5.3.1.2.2.9 Visualización e interpretación de los datos fila 3.	65
5.3.1.2.2.10 Visualización e interpretación de los datos fila 4.	66
5.3.1.3 Paso 3: Capacitar al personal técnico y operativo sobre el registro de intervenciones	66
5.3.1.4 Paso 4: Análisis e interpretación de los datos.	68
5.3.1.4.1 Matriz de priorización de equipos usando Jack Knife.	68
5.3.1.4.2 Matriz de priorización de sistema de los equipos usando Jack Knife	72
5.3.1.4.3 Análisis de supervivencia de los datos	75
5.3.1.5 Análisis de modo y efectos de falla AMEF	77
5.3.1.5.1 Implementación de los resultados del AMEF.	81
5.3.1.5.1.1 Cartillas de inspección.	81

5.3.1.5.1.2 Tiempo para la ejecución de los trabajos de inspección _____	82
5.3.1.5.1.3 Calculo de cantidad de personal de mantenimiento. _____	84
5.3.2.- <i>Desarrollar políticas de atracción y retención de personal técnico</i> _____	87
5.3.2.1 Análisis del estado actual. _____	87
5.3.2.2 Propuesta de mejora. _____	92
5.3.2.2.1 <i>Desarrollar planes de carrera personalizado.</i> _____	92
5.3.2.2.1.1 Programa de capacitación. _____	93
5.3.2.2.1.2 Programa de certificación. _____	95
5.3.2.2.2 <i>Implementar planes de reconocimiento y recompensa en base al desempeño.</i> ..	99
5.3.3. <i>Desarrollar políticas de evaluación de proveedores basado en la calidad de servicios y repuestos.</i>	102
5.3.3.1 Análisis del estado actual.	102
5.3.3.1.1 <i>Los proveedores actuales.</i>	102
5.3.3.1.2 <i>Horas de duración de los componentes.</i>	103
5.3.3.2 Propuesta de mejora.	105
5.3.3.2.1 <i>Recopilar información de los usuarios finales sobre los servicios de los proveedores</i>	105
5.3.3.2.2 <i>Calcular de manera periódica el MTTF de los componentes.</i>	108
5.3.3.2.2.1 <i>Implementación de formatos de control.</i>	110
6.- Capítulo 6: Evaluación financiera del proyecto.....	116
7.- Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones.....	121
Referencias	122
Anexos	130

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Pérdidas económicas.</i>	30
Tabla 2 <i>Prioridad de los objetivos.</i>	32
Tabla 3 <i>Lista de participantes.</i>	46
Tabla 4 <i>Lista de las causas.</i>	49
Tabla 5 <i>Lista de porqué de las causas.</i>	49
Tabla 6 <i>Misión de la empresa contratista y del cliente.</i>	50
Tabla 7 <i>Norma ISO 14224.</i>	54
Tabla 8 <i>Taxonomía de sistema eléctrico de camión minero.</i>	56
Tabla 9 <i>Diagrama analítico de proceso.</i>	58
Tabla 10 <i>Estructuración de los datos.</i>	63
Tabla 11 <i>Desarrollo de la capacitación.</i>	68
Tabla 12 <i>Datos para realizar el diagrama Jack Knife.</i>	69
Tabla 13 <i>Correlación de datos.</i>	70
Tabla 14 <i>Tasa de fallas y MTTR.</i>	71
Tabla 15 <i>Cálculo de los sistemas críticos.</i>	72
Tabla 16 <i>Cálculo del límite superior e inferior.</i>	77
Tabla 17 <i>Criterio de evaluación para la ocurrencia.</i>	78
Tabla 18 <i>Tabla de análisis de modo de falla y efectos AMEF.</i>	80
Tabla 19 <i>Cartilla de inspección del sistema de aire acondicionado.</i>	82
Tabla 20 <i>Tiempo y cantidad de técnicos por cada actividad.</i>	83
Tabla 21 <i>Cálculo de MR.</i>	84
Tabla 22 <i>Tabla comparativa de MR del valor obtenido y el recomendado.</i>	85
Tabla 23 <i>Cálculo de horas hombre requerida.</i>	85
Tabla 24 <i>Capacidad instalada por técnico.</i>	86
Tabla 25 <i>Evaluación de contratación de personal adicional.</i>	87
Tabla 26 <i>Resultado a la pregunta de los motivos de renuncia.</i>	90
Tabla 27 <i>Resultado a la pregunta de la satisfacción al trabajo.</i>	90
Tabla 28 <i>Resultado a la pregunta de satisfacción con la compensación y beneficios.</i>	91
Tabla 29 <i>Resultado a la pregunta de los beneficios en comparación con otras empresas.</i>	91
Tabla 30 <i>Tiempo promedio de ascenso laborales.</i>	92
Tabla 31 <i>Plan de capacitación a personal de mantenimiento.</i>	94
Tabla 32 <i>Programa de capacitación para la certificación de técnicos.</i>	98
Tabla 33 <i>Escala salarial de la empresa y el promedio del mercado laboral.</i>	100
Tabla 34 <i>Plan de reconocimiento al personal de mantenimiento.</i>	101
Tabla 35 <i>Lista de precios por las reparaciones de los componentes mayores.</i>	103
Tabla 36 <i>Formato de evaluación del área de mantenimiento al proveedor.</i>	106
Tabla 37 <i>Ficha de homologación de proveedor.</i>	107
Tabla 38 <i>Rango de puntaje y calificación para la homologación de proveedor.</i>	107
Tabla 39 <i>Tabla para el registro de equipos y componentes.</i>	112
Tabla 40 <i>Escenario esperado</i>	117
Tabla 41 <i>Escenario pesimista</i>	118
Tabla 42 <i>Escenario optimista</i>	119

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Ciclo de minado subterráneo.</i>	12
Figura 2 <i>Ciclo de minado tajo abierto.</i>	13
Figura 3 <i>Producción de Hierro 2018.</i>	14
Figura 4 <i>Consumo de Hierro 2018.</i>	15
Figura 5 <i>Producción anual desde 2016 a 2023.</i>	16
Figura 6 <i>Producción mensual de hierro año 2022 y 2023.</i>	17
Figura 7 <i>Proceso general de producción.</i>	18
Figura 8 <i>Proceso específico de la empresa contratista.</i>	19
Figura 9 <i>Tonelaje entregado mes a mes 2022 a 2023.</i>	22
Figura 10 <i>Evolución histórica del precio del hierro en USD / T.</i>	23
Figura 11 <i>Comparación año a año del presupuesto y los costos de mantenimiento.</i>	24
Figura 12 <i>Presupuesto y costo del año 2018.</i>	25
Figura 13 <i>Presupuesto y costo del año 2019.</i>	26
Figura 14 <i>Evolución del precio de dólar.</i>	27
Figura 15 <i>Presupuesto y costo del año 2021.</i>	27
Figura 16 <i>Presupuesto y costo del año 2022.</i>	28
Figura 17 <i>Disponibilidad mecánica año 2022 y 2023.</i>	29
Figura 18 <i>MTBF y MTTR en el año 2023.</i>	30
Figura 19 <i>Algoritmo de mantenimiento.</i>	41
Figura 20 <i>Función de densidad de Weibull.</i>	42
Figura 21 <i>Índice de fallas.</i>	43
Figura 22 <i>Formula de indicador de MTBF.</i>	44
Figura 23 <i>Formula de indicador de MTTR.</i>	44
Figura 24 <i>Baja confiabilidad del sistema eléctrico de la flota de camiones.</i>	48
Figura 25 <i>Vista superior de camión 785.</i>	53
Figura 26 <i>Vista frontal de camión 785.</i>	54
Figura 27 <i>Presentación del programa SISCAT.</i>	55
Figura 28 <i>Proceso AS IS registro de datos.</i>	57
Figura 29 <i>Proceso TO BE del registro de datos.</i>	59
Figura 30 <i>Inicio de proceso de registro identificación.</i>	60
Figura 31 <i>Registro de datos iniciales.</i>	60
Figura 32 <i>Registro del estado del equipo.</i>	62
Figura 33 <i>Registro codificación de la parada del equipo.</i>	63
Figura 34 <i>Sistemas prioritarios y eventos recurrentes.</i>	64
Figura 35 <i>Eventos recurrentes de los últimos 3 meses.</i>	65
Figura 36 <i>Equipos con mayor número de paradas y horas inoperativas de tres meses y un mes.</i>	65
Figura 37 <i>Equipos con mayor número de paradas en los últimos tres meses.</i>	66
Figura 38 <i>Diagrama de Jack Knife para equipos.</i>	72
Figura 39 <i>Diagrama de Jack Knife para sistemas.</i>	73
Figura 40 <i>Subsistemas con mayor número de paradas e indisponibilidad.</i>	74
Figura 41 <i>Parte con mayor número de paradas e indisponibilidad.</i>	74
Figura 42 <i>Identificación de datos atípicos.</i>	75
Figura 43 <i>Cálculo de modelo para el análisis.</i>	76
Figura 44 <i>Grafica de probabilidad antes de la falla.</i>	76
Figura 45 <i>Fórmula para el cálculo del MR.</i>	84

Figura 46	<i>Formula para halla la cantidad de técnicos.</i>	86
Figura 47	<i>Distribución de técnicos por guardia.</i>	88
Figura 48	<i>Cantidad de renunciias por mes.</i>	88
Figura 49	<i>Cantidad de renunciias acumuladas en el 2023.</i>	89
Figura 50	<i>Formula de índice de rotación de personal.</i>	89
Figura 51	<i>Cálculo de índice de rotación de personal.</i>	89
Figura 52	<i>Cantidad de técnicos por niveles.</i>	96
Figura 53		104
Figura 54	<i>Diagrama de flujo para los nuevos proveedores.</i>	108
Figura 55	<i>Fórmula del tiempo medio hasta la falla (MTTF).</i>	110
Figura 56	<i>Control de componentes por tipo de proveedor.</i>	113
Figura 57	<i>Diagrama de flujo para el registro de falla de componente.</i>	115



1.- Capítulo 1: Introducción al problema de investigación

1.1 Antecedentes de Estudio

La actividad que genera mayor rentabilidad a nivel nacional es el rubro minero debido a las inversiones que se realizan en los diferentes proyectos mineros, que van desde la licitación, implementación, operación y cierre de operaciones. En cada uno de estos procesos se generan transacciones económicas. Por ejemplo, en la licitación, el postor evalúa el proyecto y, para hacer una propuesta, tiene que contratar expertos en diferentes áreas como minería, geología, medio ambiente y también profesionales expertos en el marco legal.

La empresa que obtiene la buena pro tiene que realizar grandes operaciones logísticas para abastecerse de los recursos necesarios para poder iniciar la operación. Esto contempla el reclutamiento de personal especializado, alquiler de maquinarias y equipos de diferente índole, abastecimiento de insumos y repuestos, contratos con proveedores para la alimentación del personal, etc.

Cuando se inicia la operación extractiva y productiva, deben existir áreas que soporten todo el proceso con la finalidad de que los procesos sean continuos y sostenibles en el tiempo. Estos procesos de soporte pueden ser propios o de empresas especializadas en un rubro específico.

Entonces, se puede indicar que todo este proceso conlleva a inversiones, y es en este punto donde la economía global se empieza a dinamizar y todos los involucrados, directa o indirectamente, se empiezan a beneficiar. En el año 2020, la economía tuvo una recesión debido al contexto del Covid-19, donde el rubro minero también fue afectado, pero también fue parte de la solución para que la economía sea dinámica y la recuperación sea más rápida. Como se indica en la página web del Ministerio de Economía y Finanzas (23 de diciembre de 2021), el ministro Francke señaló que el rubro minero tuvo un 9 % de participación en el crecimiento económico, básicamente enfocado en el crecimiento del empleo.

Por último, en la página web de Rumbo Minero Internacional (24 de abril de 2023), el gerente general del Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (IIMP), Carlos Diez Canseco, indicó que la minería dinamiza una economía formal. Asimismo, indicó que la minería ha traído estabilidad al país y, más aún, impulsa el crecimiento de otros sectores.

1.1.1 Tipo de minería

En el Perú existen dos tipos de operaciones mineras, la minería subterránea y la de tajo abierto, ambas operaciones son complejas porque se gestiona muchos recursos para que el proceso de mineral que va desde la extracción, procesamiento y almacenaje sea continuo. Para poder asegurar las metas de producción este se debe de soportar en áreas de soporte y una de las más importantes es el área de mantenimiento porque los minerales deben de ser extraídos, trasladados, procesados y vendidos por medio de maquinarias y equipos cada uno diseñado para un contexto diferente y es en este punto donde el área de mantenimiento debe de tener correctamente estructurada.

1.1.1.1 Minería subterránea.

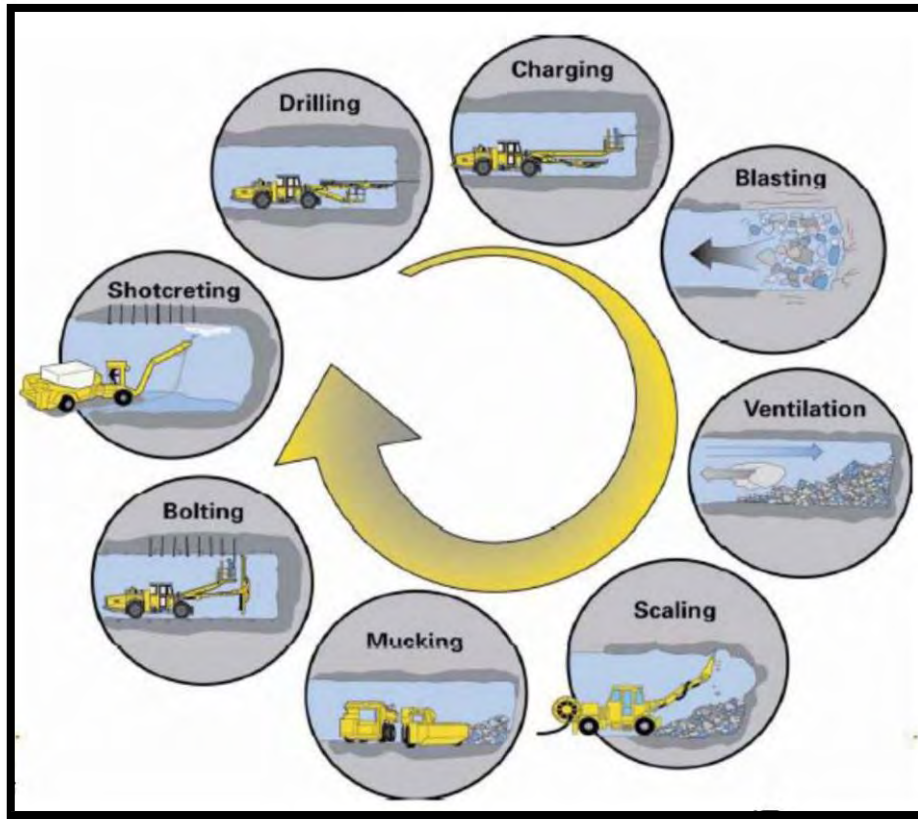
La minería subterránea se caracteriza porque las operaciones de extracción de mineral están bajo tierra, como explica en la presentación de (Antezano, 2017) la minería subterránea a evolucionada en el tiempo inicialmente en los años de 1905 a 1970 se usaba aire comprimido , no era mecanizado y la mano de obra era intensa, en los años de 1970 a 2010 los costos por llegar a ser una minería mecanizada fueron aumentando , la mano de obra era más calificada, una creciente mecanización y ventilación por la apertura de nuevos túneles y exploración más agresiva en busca de vetas y en consecuencia mayor consumo de energía. En el futuro se espera que la minería subterránea sea más automatizada y mayor capacidad de producción.

Los equipos que intervienen en este tipo de operaciones están diseñados para acceder a túneles de un tamaño desde los 3.5 a 4.5 metros de ancho y alto.

Como se muestra en la figura 1 es el proceso general para poder llegar a las vetas y trabajar en una zona segura y se debe de contemplar varios procesos como la perforación de vetas con equipos capaces de perforar taladros de 20 metros, carga de explosivos seguido de la detonación seguido del proceso de ventilación, una vez que esta ventilado la zona ingresan equipos para desatado de rocas que quedan sueltas en la parte superior y con una alta probabilidad de desprendimiento y aplastamiento. Una vez que la zona es segura se empieza con la limpieza con equipos de carguío y acarreo dejando limpio la zona para el ingreso de equipos de sostenimiento cuyo objetivo es estabilizar la zona con mallas y pernos. Finalmente ingresan equipos que contienen cemento y estos son proyectados a gran presión sobre las mallas para generar una zona estable y segura.

Figura 1

Ciclo de minado subterráneo.



Nota: La figura ilustra el ciclo de extracción minera, destacando cómo diferentes equipos colaboran para hacer posible la obtención del mineral.

1.1.1.2 Minería tajo abierto.

En minería tajo abierto o también conocido como minería cielo abierto el ciclo de producción, equipos y recursos varían en comparación con minería subterránea. El ciclo de producción debe de ser continua por la cantidad de mineral o desmonte que se traslada, almacena y procesa, basado en esto los equipos más importantes son los camiones mineros porque movilizan toneladas altos de mineral y desmonte con una capacidad de 130 toneladas y las palas hidráulicas que son equipos que cargan con una capacidad de 40 toneladas de carga. Caterpillar Performance Handbook 2019 (p 755 – 1201).

Una de las ventajas entre minería subterránea y de tajo abierto son los accesos, mientras que en minería subterránea los accesos son más complicados y demoran más llegar de un punto a otro por el tránsito de equipos en minería tajo abierto el tránsito de equipos tiene mayor libertad por la amplitud de sus vías.

Como se muestra en la figura 2 el proceso de extracción, acarreo y traslado es de mayor envergadura porque las zonas de trabajo ofrecen cierta libertad en comparación a la minería subterránea.

Figura 2

Ciclo de minado tajo abierto.



Nota: La figura muestra el ciclo de minado en tajo abierto donde los equipos son de gran capacidad con el objetivo de mover mayor tonelaje de mineral u desmorte.

1.1.2 La producción de hierro en el Perú

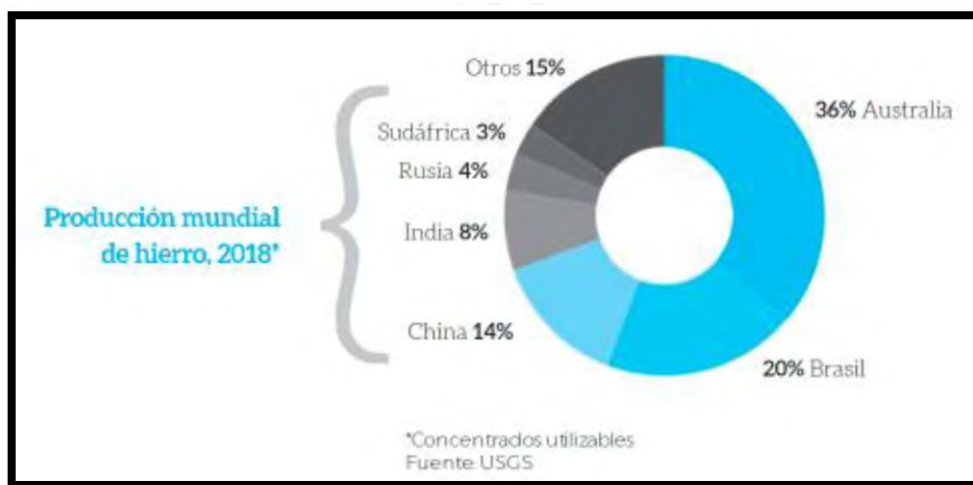
Actualmente, las empresas mineras están en búsqueda de proveedores que estén acorde a las exigencias del mercado. Una de las áreas de soporte con mayor responsabilidad es el área de mantenimiento, porque ofreciendo equipos con una disponibilidad mecánica aceptable, el área de producción llegará a los objetivos de producción. Bajo este contexto, en la presente tesis se utilizan técnicas modernas de diagnóstico con la finalidad de analizar y dar prioridad a los equipos y sistemas con mayor criticidad, siendo clave en un proceso continuo donde la falla o inoperatividad de estos equipos conlleva a pérdidas económicas, además de una imagen negativa en el mundo empresarial. Gutiérrez Mario (27 de marzo de 2023) advierte que construir una buena imagen y reputación empresarial toma tiempo y esfuerzo, y al mismo

tiempo se puede destruir en pocos segundos. En consecuencia, esto puede generar pérdidas de participación en un mercado altamente competitivo.

El hierro es un mineral que tiene mucha demanda ya que es materia prima del acero. Como se puede apreciar en la figura 3 a nivel mundial Australia ocupa un 36% de la producción de hierro, seguido de Brasil con un 20%, y también destaca China con un 14%. Los demás países tienen una producción menor al 10%. Es importante destacar que, en América Latina, Perú ocupa el cuarto puesto en producción de hierro.

Figura 3

Producción de Hierro 2018.

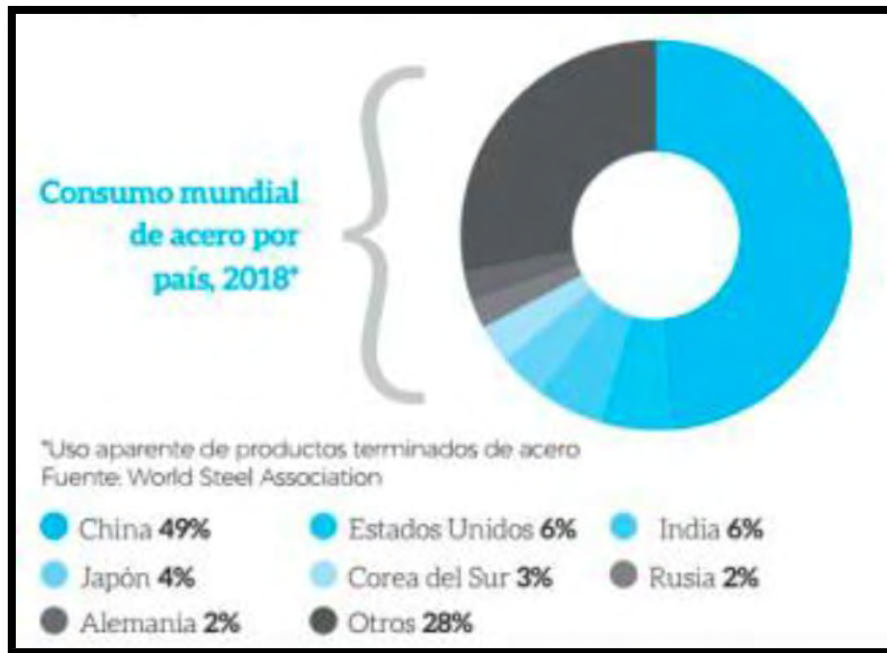


Nota: Figura tomada de la publicación del Sociedad nacional de Minería, petróleo y energía (2023)

Por otro lado, tal como se muestra en la figura 4 el país que tiene el mayor consumo de hierro es China con un 49% es importante destacar que es casi el 50% de la producción global seguido de Estados Unidos y La India con un 6% respectivamente.

Figura 4

Consumo de Hierro 2018.



Nota: En la imagen se muestra el consumo de hierro a nivel mundial siendo el país de China el que representa el 50%. Fuente: Sociedad nacional de Minería, petróleo y energía (2023)

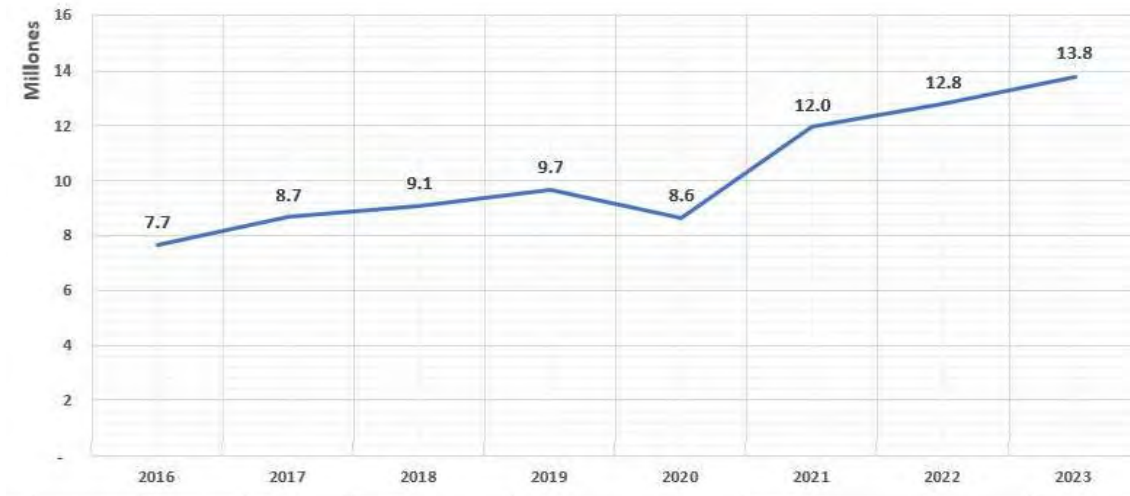
La empresa bajo estudio se encuentra en el sector de servicios mineros, actualmente la empresa titular se dedica a la venta de pellets de hierro que es vendido principalmente al país de China, este país representa la mayor demanda a nivel global.

Más aún en la página web de Rumbo Minero Internacional. (1 de abril de 2023) se indica lo siguiente: El mayor consumidor de mineral de hierro del mundo compró 44,50 millones de toneladas de concentrado de mineral de hierro en los primeros dos meses de 2023 datos de la Asociación de Minas Metalúrgicas de China.

Por esta razón al tener una alta demanda de este mineral existe grandes oportunidades de negocio, la producción de este mineral en los últimos 8 años tuvo un ascenso desde el 2016 cerrando el 2023 con 13.8 Millones de TMF, en la figura 5, se muestra la producción anual de hierro donde se destaca un crecimiento sostenido en el tiempo hasta el mes de diciembre de 2023.

Figura 5

Producción anual desde 2016 a 2023.



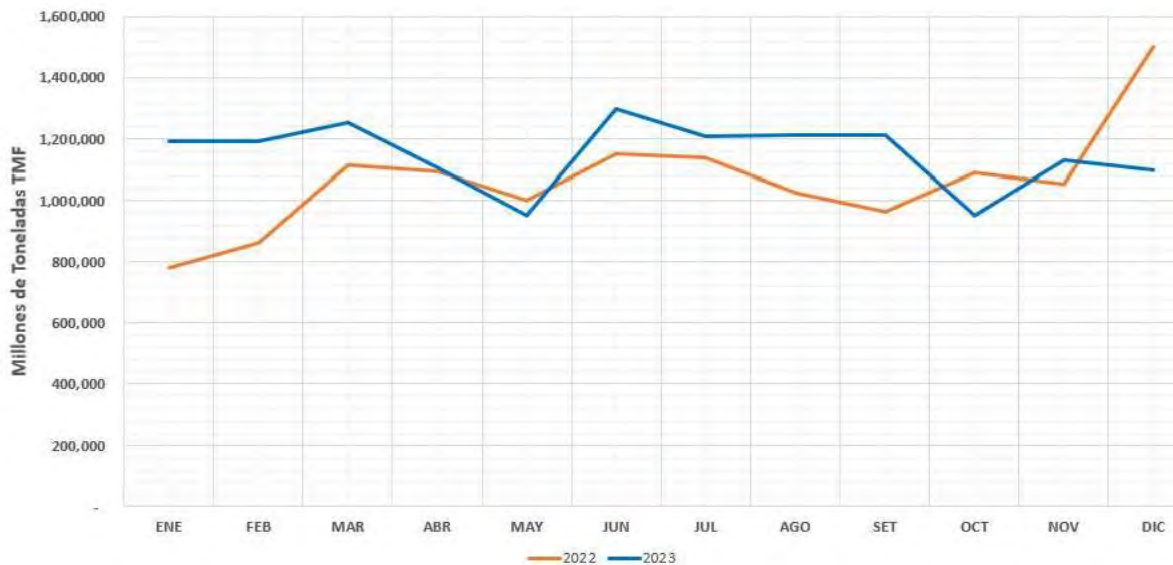
Nota: En la figura se muestra que la producción a aumentado debido a una alta demanda.

Fuente: Ministerio de energía y minas (diciembre de 2023)

La empresa titular tiene previsto un crecimiento sostenido en el tiempo y es por esta razón de lo que va del año tuvo un crecimiento sostenible en producción según la página web de Rumbo Minero Internacional. (16 de mayo de 2023), en esta página se resalta que el titular minero Shougang continuó siendo el principal producto de hierro a nivel nacional con una participación del 98.2 % y el 1.6% a Minera Shouxin Perú S.A, en la figura 6, se muestra el cuadro comparativo de producción mes a mes del año 2022 y 2023 donde se evidencia un crecimiento en 7.8 % con relación al año anterior.

Figura 6

Producción mensual de hierro año 2022 y 2023.



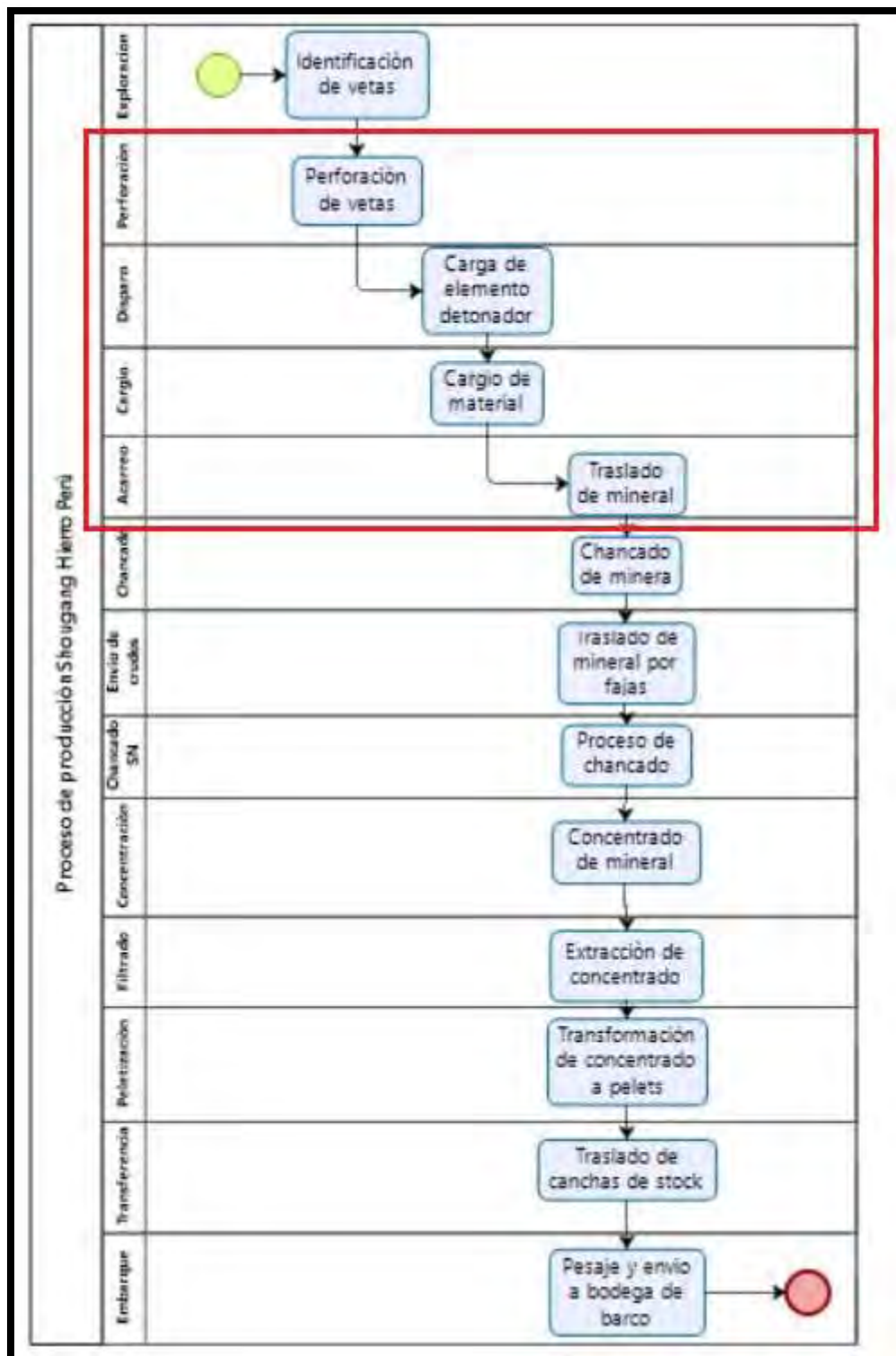
Nota: En la figura se muestra la producción mes a mes haciendo una comparación del año 2022 y 2023 y el crecimiento en el último año. Fuente: Rumbo Minero Internacional. (16 de mayo de 2023)

1.1.3 El proceso productivo del hierro de la empresa en estudio

La empresa titular tiene el proceso tal como figura en la figura 7 que va desde la exploración para identificar vetas una vez identificado empieza el proceso de extracción y acarreo el cual es asignado a la empresa contratista, una vez que el mineral es dejado en la chancadora, el titular minero se encarga del proceso de traslado por medio de fajas transportadoras a las plantas concentradoras donde el mineral es convertido en pellets y para luego ser transportado a los barcos para su venta.

Figura 7

Proceso general de producción.

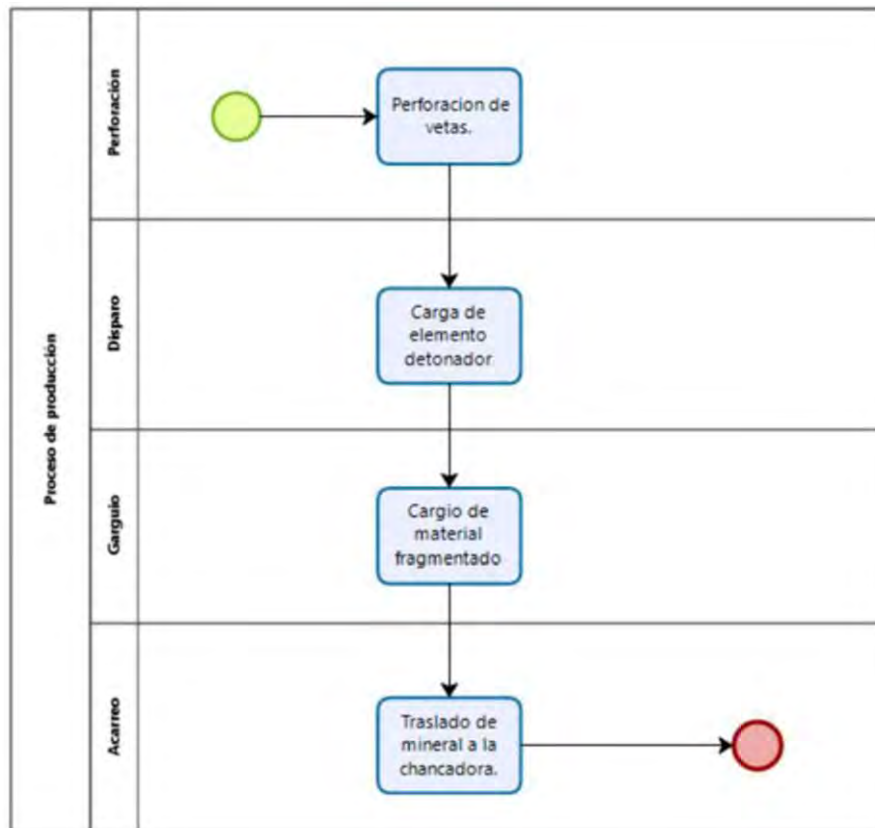


Nota: En la figura se muestra el proceso de producción donde se resalta el proceso donde la empresa contratista es participe. Fuente: Elaboración propia.

Como se indicó líneas arriba la empresa contratista cuenta con los procesos de perforación hasta la entrega de mineral a la chancadora del cliente. En la figura 8 se muestra el flujo representa de manera gráfica donde inicia y termina el proceso.

Figura 8

Proceso específico de la empresa contratista.



Nota: En la figura se muestra el proceso de producción específico de la empresa contratista.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describe cada uno de los procesos productivos y los equipos que intervienen en cada uno de estos.

1.1.3.1 Proceso de perforación.

Se realiza la perforación al macizo rocoso que contiene veta, los equipos que intervienen en este proceso son equipos de perforación que realizan agujeros en el macizo rocoso, estos agujeros deben de tener un diámetros y profundidad que dependerá de la beta localizada. La empresa actualmente cuenta con 9 perforadoras de las marcas Sandvick y Epiroc, estos equipos son propulsados por motores diésel y motores eléctricos.

1.1.3.2 Proceso de disparo.

Una vez que los equipos de perforación hacen el agujero este proceso consiste en inyectar a este agujero una mezcla explosiva consistente en Nitrato, Aluminio, Petróleo y Fulminantes. Los equipos que intervienen es este proceso son los Anfoloader, equipos diseñados para inyectar esta mezcla a presión minimizando los riesgos de accidente. La empresa cuenta con cuatro equipos que intervienen en este proceso.

1.1.3.3. Proceso de carguío.

Una vez que el proceso de voladura finaliza empieza el proceso de carguío del mineral por medio de equipos como las palas eléctricas que se desplazan por medio de orugas, en este proceso también intervienen cargadores frontales que se desplazan por medio de neumáticos. Actualmente la empresa cuenta con cuatro palas eléctricas y un cargador frontal ambas flotas de la marca Caterpillar.

1.1.3.4. Proceso de acarreo.

El proceso de carguío debe ser soportado por el proceso de acarreo que consiste en el traslado de mineral hasta las canchas de depósito o a la chancadora del cliente. El acarreo se realiza por medio de camiones que son equipos de gran capacidad de tonelaje 140 Toneladas métricas, actualmente la empresa cuenta con treinta y cuatro camiones modelo 785 C y D ambos de la marca Caterpillar.

La empresa contratista debe de cumplir con cada uno de los procesos, el retraso en cualquiera de estas puede conllevar a no cumplir con las metas de producción. Los retrasos de producción conllevan en algunos casos a acelerar el proceso productivo para evitar el incumplimiento siendo aún más peligroso porque puede conllevar a accidentes laborales y de la propiedad. Las exploraciones y avances de producción aumentan y por ende el traslado de mineral también, asimismo en el periódico de Yakovleva V. L., Berseneva V. A. Glebova A. V *, Kulniyazb S. S. **, and Marininc M. A. (23 de setiembre de 2019) indica que el proceso de traslado de mineral se vuelve mucho más complicado cuando la profundidad de las vetas es lejana porque conlleva a desplazar mineral por largas distancias y sobre todo en pendientes donde los equipos de acarreo son exigidos al máximo conllevando muchas veces a deterioros prematuros de los equipos y componentes.

1.2 Descripción de la problemática

Las empresas del rubro de minería actualmente buscan tercerizar sus servicios clave por temas estratégicos y económicos, en el mercado existen muchas empresas de servicio que se

diferencian uno del otro por la experiencia en el mercado. Como indica Escobar Ramírez Alejandra, Londoño Borda Claudia A (2017) existen diferentes beneficios por subcontratar uno de estos es porque permite a la empresa titular tener un mayor enfoque en su principal actividad además de la reducción en costos de mano de obra razón por la que evita la contratación de personal. Más aún al contratar empresas especializadas se tiene de personal especializado en el rubro y no habría razón de contratar. Asimismo, al subcontratar genera menor inversión como en maquinaria, seguridad y disminución de costos administrativos. La empresa contratista responde exclusivamente a la empresa principal por el producto terminado bajo los estándares establecidos por esta.

La empresa bajo estudio provee servicios a la empresa minera Shougang Hierro Perú, a inicios del 2022 el titular minero renueva el contrato a la empresa de servicios. La empresa de servicios ofrece servicios integrales como la perforación, carguío y transporte de material y desmonte el cual conlleva a tener equipos altamente confiables y disponibles para lograr los objetivos de producción.

Actualmente el hierro tiene una alta demanda a nivel internacional siendo China el país que más compra este mineral con aproximadamente 50 % de la producción mundial, por esta razón como se explica la revista digital Rumbo Minero Internacional (14 de febrero 2023) Shougang ha obtenido la buena pro para la habilitación portuaria para la construcción de un muelle y con esto se provee aumentar la capacidad de producción para satisfacer la demanda actual.

Actualmente la empresa contratista cuenta con diferentes flotas de equipos entre los que destacan los equipos de perforación, equipos de carguío y equipos de acarreo, al ser un proceso productivo continuo la producción de las flotas mencionadas se vuelve crítico porque al ofrecer una baja disponibilidad mecánica conlleva a retraso causando cuellos de botella en todo el proceso de producción y mermando los objetivos de producción.

1.2.1 La Producción del hierro en la empresa en estudio

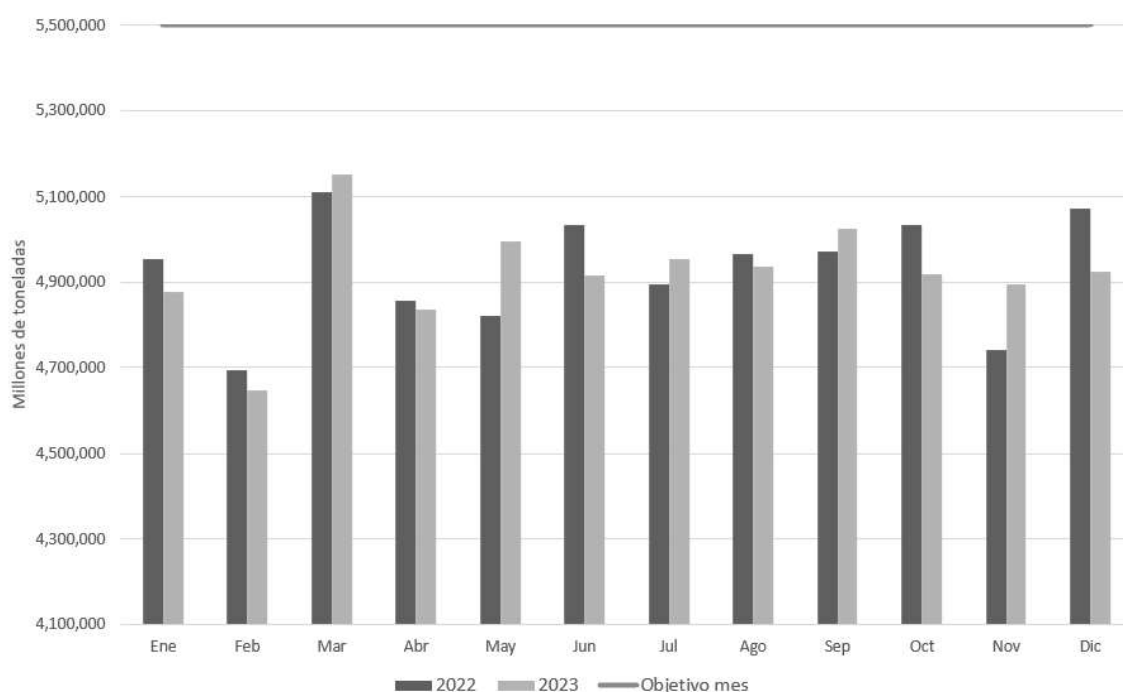
Lograr los objetivos del plan mensual de producción es clave porque permitirá un crecimiento constante y sostenido en el tiempo. Para mantener un proceso de producción continuo, el cliente Shougang cuenta con otro proveedor que realiza el mismo trabajo que la empresa en estudio. Además, el cliente también forma parte del proceso de producción con equipos propios, aunque con menor participación. Por esta razón, la mayor parte del proceso

de producción está asignada a la empresa contratista en estudio, debido a la mayor cantidad de equipos y personal en comparación con los otros.

La empresa contratista debe de tener una producción de 5.5 millones de toneladas por mes, la indisponibilidad de los equipos afecta directamente a la producción diaria y por ende a la mensual. En la figura 9 se muestra el tonelaje entregado de mineral por mes de los años 2022 y 2023, los resultados obtenidos muestran que no se alcanza con el objetivo de producción siendo perjudicial para los intereses de la empresa.

Figura 9

Tonelaje entregado mes a mes 2022 a 2023.



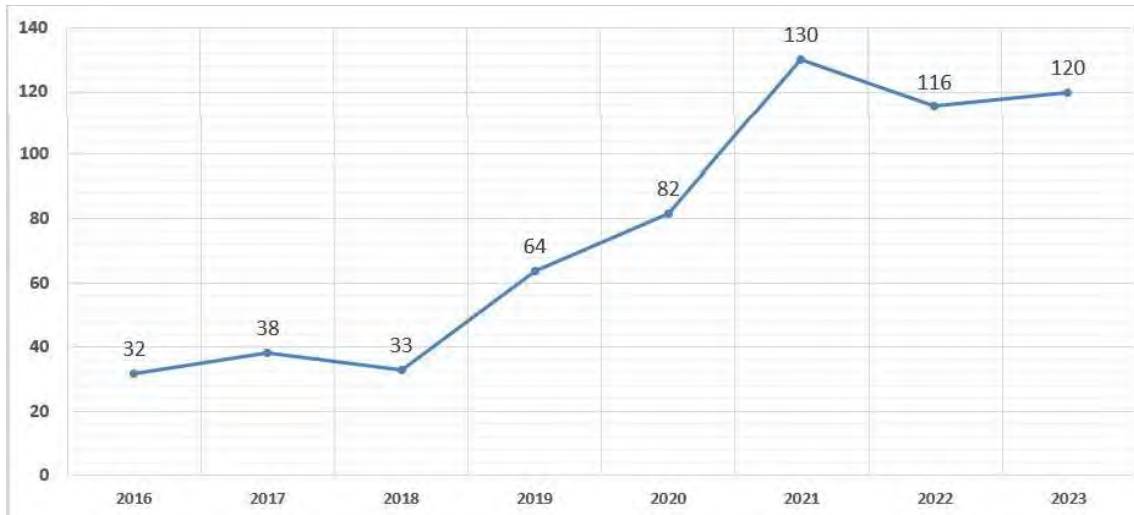
Nota: En la figura se muestra el tonelaje entregado mes a mes al cliente final. Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de toda empresa es maximizar las utilidades y minimizar los costos, basado en esto cuando los equipos están indisponibles existe una pérdida económica tanto para la empresa misma y para la empresa titular porque ambos dejan de producir y por ende dejan de vender. En la figura 10 presentada líneas abajo se muestra la evolución del precio del hierro desde el año 2016 al 2023 donde tiene un alza desde el año 2018 con un precio de 33 USD/T

con un máximo en el año 2021 con 130 USD/T durante los años consecutivos el precio se ha mantenido y no ha bajado de 110 USD/T.

Figura 10

Evolución histórica del precio del hierro en USD / T.



Nota: En la figura se muestra la evolución del precio del hierro donde se muestra un ascenso desde el 2018 mostrando un precio mayor en el año 2021. Fuente: Boletín SNMPE (2023).

1.2.2 Costos de mantenimiento

Para poder ofrecer confiabilidad a los equipos es necesario realizar un presupuesto que se basa en lo siguiente:

- Cambio de filtros, repuestos y lubricantes por frecuencia
- Cambio de componentes mayores por horas de uso o condición.
- Cambio de neumáticos en caso de los camiones.
- Reparaciones de estructuras de carguío previamente planificadas.

Cada mes se realiza una proyección de los mantenimientos preventivos según la tasa de uso de estos equipos, esto quiere decir que los equipos tienen una utilización diferente esto se da por el tipo de trabajo o disponibilidad de recursos en este caso operadores de equipos.

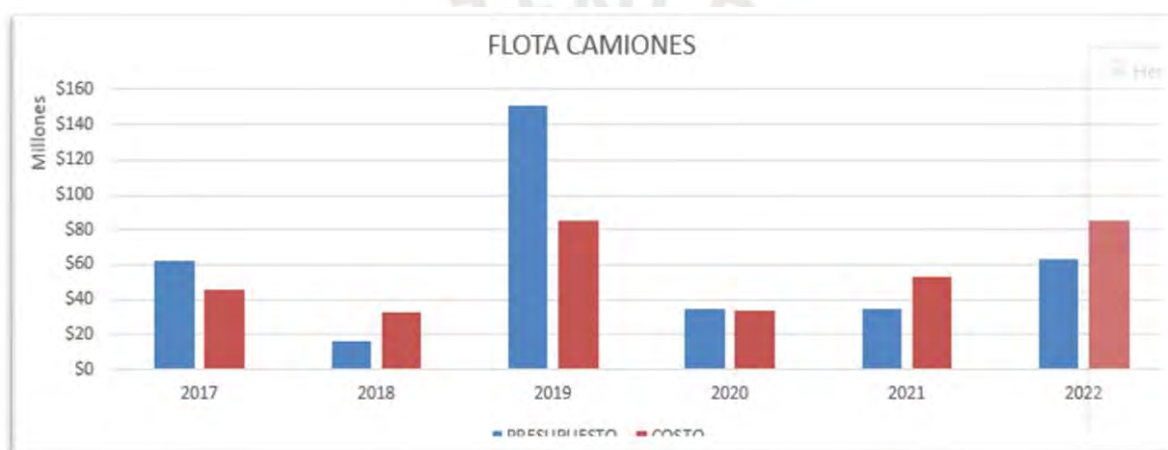
En cada mantenimiento se asigna recursos para la ejecución de los mantenimientos preventivos y mantenimiento correctivos programados, en este último tipo de mantenimiento se asigna cambio de componentes o neumáticos según la evaluación y la condición de estos.

1.2.2.1 Costos de mantenimiento en la Flota Camiones.

En la flota de camiones se puede apreciar en la figura 11 que en el año 2017 y 2019 el presupuesto fue mucho más elevado, las causas son muchas desde falta de experiencia para realizar un presupuesto, fallas operacionales, baja utilización de los equipos. Por otro lado, en el año 2021 y 2022 los costos fueron superiores a lo presupuestado, las causas posibles son tipo de cambio elevado en comparación al año anterior, alta utilización de los equipos, costos elevados por cambio de componentes mayores y menores, reparaciones en campo de elemento de desgaste, etc.

Figura 11

Comparación año a año del presupuesto y los costos de mantenimiento.



Nota: En la figura se muestra año a año el comportamiento del presupuesto y el costo de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se mostrará el desglose del costo y el presupuesto asignado para la flota de camiones sobre todo para los años 2018, 2021 y 2022 donde los costos fueron superiores a lo presupuestado caso contrario en el año 2019 donde el presupuesto fue mucho mayor a los costos.

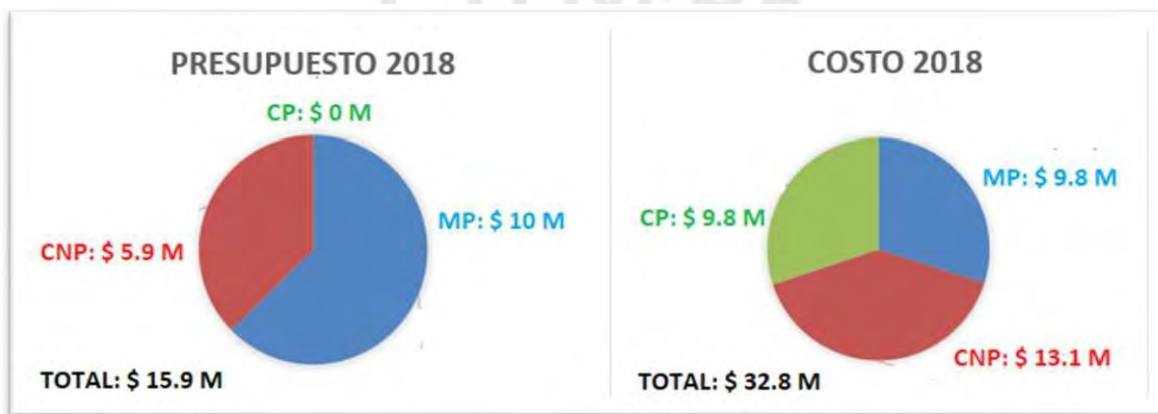
En la figura 12 se puede apreciar que no fue presupuestado los costos planificados (CP), pero los costos de los costos planificados (CP) llegaron a \$ 9.8 millones de dólares. Dentro de los costos planificados está contemplado el cambio de componentes mayores por vida útil o por condición, cambio o reparación total o parcial de elementos de desgaste. Asimismo, es importante indicar que la gestión de backlogs no era la adecuada, se llevaba un control por medio de Excel y la gestión y control no era la adecuada.

Asimismo, el presupuesto de mantenimiento preventivo MP fue de \$ 10 millones de dólares, pero los costos del mantenimiento preventivo fueron de \$ 9.8 millones de dólares significando un 2% menos del presupuesto.

Por último, el presupuesto de los correctivos no planificados (CNP) fue de \$ 5.9 millones de dólares, pero los costos por CNP fue de \$ 13.1 millones de dólares significando un 120% más al presupuestado. Los costos no planificados contemplan parada de equipos asociado a diferentes fallas que comprometen a componentes o sistemas en las cuales involucra repuestos y mano de obra.

Figura 12

Presupuesto y costo del año 2018.



Nota: En la figura se muestra el presupuesto y los costos del año 2018 donde se muestra que los costos duplicaron al presupuesto inicial. Fuente: Elaboración propia.

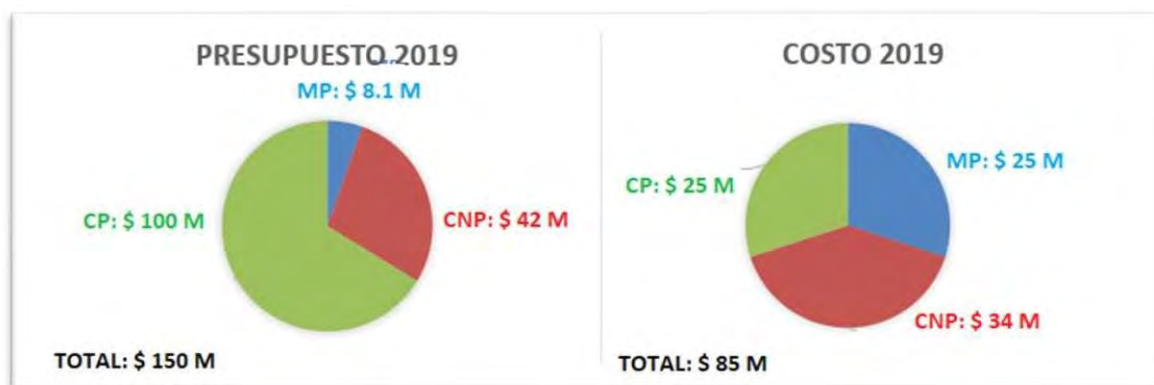
En la figura 13 indicado líneas abajo se muestra el presupuesto y costos del 2019 se puede apreciar que el presupuesto de los correctivos planificados (CP) fue de \$ 100 millones de dólares, pero los costos de los CP llegaron a \$ 25 millones de dólares siendo un 75% menos a lo planificado. Esto sucedió porque no se llegaron a realizar las reparaciones de componentes mayores a causa de un correcto seguimiento a las horas de estos componentes.

Asimismo, el presupuesto de mantenimiento preventivo MP fue de \$ 8.1 millones de dólares, pero los costos del mantenimiento preventivo fueron de \$ 25 millones de dólares significando un 200% más al presupuesto inicial. Esto sucede por el ingreso de 6 camiones a proyecto el cual no estuvo proyectado desde el principio y por ende los costos de mantenimiento se elevan en 200%.

Por último, el presupuesto de los correctivos no planificados (CNP) fue de \$ 42 millones de dólares, pero los costos por CNP fue de \$ 34 millones de dólares significando un 20% menos al presupuestado.

Figura 13

Presupuesto y costo del año 2019.



Nota: En la figura se muestra el presupuesto y los costos del año 2019 donde se muestra que el presupuesto fue mayor al costo. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 15 se muestra el presupuesto y costos del 2021 se puede apreciar que no hubo presupuesto para los correctivos planificados, pero los costos de los CP llegaron a \$ 15 millones de dólares. Las causas porque no se llegó a presupuestar los correctivos planificados fue por falta de control de los activos y componentes por falta de un software especializado en el control.

Asimismo, el presupuesto de mantenimiento preventivo MP fue de \$ 9.6 millones de dólares, pero los costos del mantenimiento preventivo fueron de \$ 15 millones de dólares significando un 65% más al presupuesto inicial. Esto debido al precio del dólar porque en el año 2021 tuvo el precio más alto en comparación con los demás años tal como se muestra en la figura 14 donde el 2021 el tipo de cambio tuvo el valor más alto de 3.84 USD/ S/.

Figura 14

Evolución del precio de dólar.



Nota: En la figura se muestra la evolución del precio del dólar desde el año 2018 al 2023 con el valor más alto en el año 2021. Fuente: Banco central de Reserva del Perú (2024).

Por último, el presupuesto de los correctivos no planificados (CNP) fue de \$ 25 millones de dólares, pero los costos por CNP fue de \$ 21.2 millones de dólares significando un 15% menos al presupuestado.

Figura 15

Presupuesto y costo del año 2021.



Nota: En la figura se muestra el presupuesto y los costos del año 2021 donde se muestra que el presupuesto fue mayor al costo. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 16 se muestra el presupuesto y costos del año 2022 donde se puede apreciar que no hubo presupuesto para los correctivos planificados, pero los costos de los CP llegaron a \$ 62.5 millones de dólares. Esto debido a la falta de control sobre el comportamiento de los componentes es decir no se proyectó desde el inicio el cambio de los componentes por condición y también no se realizó la planificación sobre las reparaciones.

Asimismo, el presupuesto de mantenimiento preventivo MP fue de \$ 13 millones de dólares, pero los costos del mantenimiento preventivo fueron de \$ 9 millones de dólares significando un 36% menos al presupuesto inicial.

Por último, el presupuesto de los correctivos no planificados (CNP) fue de \$ 50 millones de dólares, pero los costos por CNP fue de \$ 12.7 millones de dólares significando un 74% menos al presupuestado.

Figura 16

Presupuesto y costo del año 2022.



Nota: En la figura se muestra el presupuesto y los costos del año 2022 donde no hubo presupuesto de los correctivos planificados pero los costos de los correctivos planificados fueron de \$ 62.5 millones de dólares. Fuente: Elaboración propia.

Según la gráfica del presupuesto y los costos del 2022 se puede concluir que los costos por el mantenimiento preventivo MP llegó a un 74% del presupuestado y los correctivos no planificados solo llegaron a un 26 % es decir 74% menos al presupuestado, por ultimo los costos por correctivos planificados fue de un \$62 millones de dólares considerando que no hubo un presupuesto para los correctivos planificados, se concluye que los costos aumentaron, pero en actividades preventivas.

1.2.3 Indicadores de mantenimiento flota camiones

En toda gestión de mantenimiento se debe de analizar los indicadores de gestión con el objetivo de identificar oportunidades de mejora y corregirlos claro esta esto basado en datos cuantitativos confiables y más aún cuando los objetivos de producción se sostienen principalmente teniendo equipos altamente disponibles y confiables.

A continuación, en la figura 17 se detalla la disponibilidad mecánica de la flota de camiones en los años 2022 y 2023 donde se detalla los porcentajes obtenidos en cada mes.

Figura 17

Disponibilidad mecánica año 2022 y 2023.



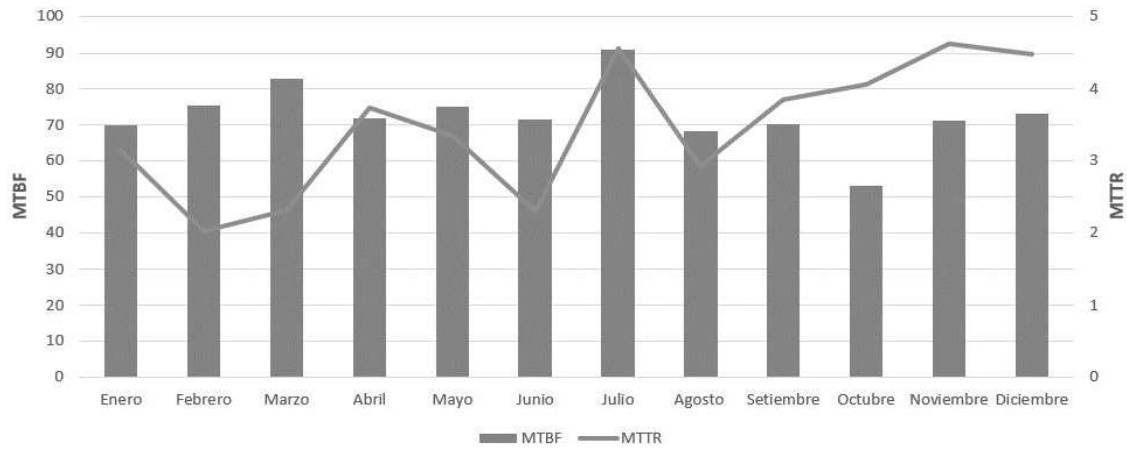
Nota: En la figura se muestra los resultados de la disponibilidad mecánica durante los años 2022 y 2023. Fuente: Elaboración propia.

Como promedio en el año 2022 se obtuvo un 85% de disponibilidad mecánica y el 2023 llegó a un 86% de disponibilidad mecánica. Las grandes industrias del sector tienen un benchmarking por encima de 90% de disponibilidad mecánica. Basado en esto existe una brecha de un 5%.

Asimismo, el análisis de los indicadores como el MTTR que es el tiempo medio entre reparaciones y el MTBF que es el tiempo medio entre fallas son importantes porque se puede evidenciar y tomar decisiones en la parte operativa y estratégica.

Figura 18

MTBF y MTTR en el año 2023.



Nota: En la figura se muestra los resultados de los indicadores como el MTBF y MTTR durante el año 2023. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 18 el año 2023 el indicador MTBF tuvo un valor máximo en el mes de Julio y un mínimo en el mes de octubre. La empresa contratista se ha puesto objetivos sobre estos indicadores siendo un MTBF de 100 horas y un MTTR de 3 horas, basado en estos objetivos no se logra alcanzar en ningún mes sobre todo en el MTBF.

1.2.4 Pérdidas económicas

En la tabla 1 línea abajo se muestra las pérdidas económicas en un año que se calcula por la indisponibilidad de la flota de camiones y el dólar hora del equipo que es de 150 \$/Hr y a esto se adiciona la pérdida de ventas de mineral con un costo del hierro que es de 120 \$/TN.

Tabla 1

Pérdidas económicas.

Flota	Cantidad equipos	Indisponibilidad	Horas Mes flota	Tarifa horaria USD / HR	Horas de indisponibilidad	Pérdida económica para Emp en estudio/ Millón de USD año	Pérdida de producción por año en TN	Pérdida económica para Cliente / Millón USD año
Camiones	29	4.00%	15660	150	626.4	\$1,127,520	2,743,632.0	\$329,235,840

Nota: En la tabla 01 se muestra las pérdidas económicas por la indisponibilidad de la flota de camiones tanto para el cliente final como para la empresa en estudio. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se puede apreciar que existen oportunidades de venta que no se llegan a concretar por la baja disponibilidad de los equipos, esto perjudica tanto a la empresa contratista y a la

empresa titular. La empresa contratista porque deja de entregar mineral al cliente y asimismo la empresa titular porque deja de vender a los diferentes clientes.

Las pérdidas económicas están dadas en millón de dólares por año y la empresa contratista es la más afectada porque deja de facturar \$ 1.1 millón de dólares al año por la indisponibilidad de los camiones mineros.

2.- Capítulo 2: Objetivo General

Desarrollar una estrategia integral de mantenimiento para la flota de camiones mineros, orientada a incrementar la disponibilidad mecánica y la confiabilidad de los equipos, minimizando las paradas no programadas y optimizando la eficiencia operativa.

2.1 Objetivo específico

2.1.1. Reducir las paradas por fallas

Reducir el número de paradas por fallas en la flota de camiones en un 20% en comparación con el año 2023, implementando una estrategia integral de mantenimiento preventivo, capacitando al personal en técnicas de mantenimiento preventivo y optimizando los procesos de diagnóstico de fallas.

2.1.2 Desarrollar e implementar políticas de atracción de talento

Desarrollar políticas y estrategias de atracción y retención de personal técnico, con el objetivo de aumentar la tasa de retención del personal técnico en un 20% para fines del año fiscal.

2.1.3 Desarrollar e implementar un conjunto de políticas para proveedores

Desarrolla políticas basado en criterios de calidad de servicios y repuestos, con el objetivo de mejorar la selección de proveedores y garantizar la calidad de los productos y servicios adquiridos.

Para estos se define las prioridades con la alta gerencia de mantenimiento y operaciones basado en datos y los recursos necesarios para alcanzar los objetivos de producción. En la tabla 02 se muestra los objetivos y las prioridades.

Tabla 2

Prioridad de los objetivos.

1	Desarrollar un plan de mantenimiento basado en la condición actual de los camiones mineros.
2	Desarrollar políticas de atracción y retención de personal técnico.
3	Desarrollar políticas de evaluación de proveedores basado en la calidad de sus servicios y repuestos.

Nota: En la figura se muestra los objetivos y las prioridades para generar impacto en la producción en base al aumento de la confiabilidad y disponibilidad. Fuente: Elaboración propia.

3.- Capítulo 3: Marco teórico

3.1 Planeamiento de mantenimiento

Las actividades de mantenimiento se consideran tradicionalmente en conflicto con las operaciones de producción. De hecho, aunque el mantenimiento preventivo preserva el equipo contra la degradación, lo que reduce la necesidad de acciones correctivas complejas y costosas, afecta negativamente la disponibilidad del equipo. Esto, a su vez, socava el logro de los objetivos de producción, especialmente en el contexto de los sistemas de fabricación de alto volumen, como los que se encuentran en la fabricación de componentes automotrices, en la industria farmacéutica y en la industria alimentaria. (Colledani, M., Magnanini, M. C., & Tolio, 2018)

Para reducir este efecto no deseado, se ha dedicado un esfuerzo considerable hacia el desarrollo de políticas para una mejor sincronización entre el mantenimiento preventivo y las operaciones de producción. Entre las políticas de control de mantenimiento preventivo, el mantenimiento oportunista es una estrategia eficaz para reducir el impacto de las operaciones de mantenimiento en sistemas de fabricación de varias etapas. De acuerdo con esta estrategia, se deben realizar tareas de mantenimiento preventivo cuando haya disponibles ventanas de oportunidad adecuadas debido al comportamiento dinámico del sistema. Las ventanas de oportunidad se definen como intervalos de tiempo específicos, generados por condiciones favorables del sistema, en las que se pueden implementar acciones de mantenimiento preventivo con un efecto menor en el rendimiento de producción del sistema. Al aprovechar estas ventanas de oportunidad, se puede lograr una mejor sincronización entre las operaciones de producción y mantenimiento, lo que reduce el impacto del mantenimiento en el rendimiento del sistema. (Colledani, M., Magnanini, M. C., & Tolio, 2018)

Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018) indican que por mantenimiento se entiende todas las acciones que tienen como objetivo restaurar cualquier funcionalidad de un producto dentro de su ciclo de vida. Cuando el producto es un equipo de producción industrial, generalmente nos referimos a su mantenimiento como mantenimiento industrial. Las acciones que se pueden realizar para restaurar las funcionalidades de los productos pueden ser técnicas, administrativas y de gestión.

Según Spüntrup, F. S., Dalle Ave, G., Imsland, L., & Harjunkoski, I. (2019), el término técnico de mantenimiento se refiere a las acciones que mantienen, reparan o reemplazan los conjuntos cuando es necesario. Asegura que los activos de la planta estén disponibles y que su condición sea adecuada para realizar las tareas de producción requeridas. Si bien las horas extraordinarias de producción consumirán los activos, se pueden restaurar mediante actividades de mantenimiento. ISO15926-1: 2004 (en) lo describe como una de las actividades clave dentro del ciclo de vida de una planta de proceso. Para las grandes flotas de activos, es difícil planificar manualmente las acciones de mantenimiento mientras se intenta minimizar el personal del personal de mantenimiento. Todo cierre no planificado no es deseado. El mantenimiento puede ayudar a reducir este tiempo de inactividad no planificado.

Según Seiti, H., Hafezalkotob, A. & Fattahi, R. (2018), indica que existen varios tipos de mantenimiento, como el mantenimiento correctivo (CM), el mantenimiento preventivo (PM), el mantenimiento productivo total (TPM), el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y el mantenimiento basado en la condición (CBM), se llevan a cabo en diferentes industrias. Sin embargo, el verdadero desafío para los profesionales del mantenimiento es elegir la mejor y más efectiva estrategia para la organización con respecto al mercado y la situación de la empresa. Si se selecciona una opción correcta, el rendimiento aumentará y, al mismo tiempo, el costo de mantenimiento disminuirá. Por lo tanto, el problema de seleccionar la mejor estrategia de mantenimiento depende de varios criterios, por lo que se conoce como problema de decisión de criterios múltiples (MCDM).

Los autores Munyensanga, P., Widyanto, S. A., & Aziz, (2018), explican en resumen cada una de las estrategias de mantenimiento:

- Mantenimiento basado en la condición (CBM):

En este método, el mantenimiento se decide mediante la supervisión regular de los parámetros de rendimiento y el estado de las máquinas, como vibración, presión, temperatura,

aceite, etc. El objetivo de la estrategia es predecir fallas inminentes y aplicar acciones de mantenimiento si es necesario. (Munyensanga, P., Widyanto, S. A., & Aziz, 2018)

- Mantenimiento basado en el tiempo (TBM):

Esta estrategia se basa en la perspectiva de que las máquinas se degradarán después de un período de trabajo y requerirá algunas actividades de reparación para regresar en forma operativa. De esta manera, según un período de tiempo predefinido, los equipos y la maquinaria se inspeccionan y, si es necesario, se realizan acciones de reemplazo o correctivas. (Munyensanga, P., Widyanto, S. A., & Aziz, 2018)

- Mantenimiento correctivo (CM):

En esta estrategia, las actividades de reparación se realizan después de fallas; sin embargo, también se realizó la preparación previa antes del fallo, la causa, la acción correctiva, las instrucciones de reparación, las herramientas, las piezas y otros requisitos. (Munyensanga, P., Widyanto, S. A., & Aziz, 2018)

- Mantenimiento de averías (BM):

La característica principal del mantenimiento correctivo es que las medidas solo se aplican después de una falla y no se toma ninguna intervención antes de la falla. (Munyensanga, P., Widyanto, S. A., & Aziz, 2018)

- Mantenimiento productivo total (TPM):

El mantenimiento productivo total es una estrategia de mantenimiento que apunta a maximizar la productividad y la efectividad general del equipo, a través de un sistema integral de mantenimiento preventivo durante toda la vida útil del equipo. (Munyensanga, P., Widyanto, S. A., & Aziz, 2018)

3.2 Mantenimiento productivo total TPM

Según Lundgren, C., Skoogh, A., & Bokrantz, J. (2018), TPM es un modelo que se enfoca en mejorar la eficacia del rendimiento en el mantenimiento. El propósito de TPM es maximizar la efectividad del equipo y, como medida, se usa OEE. El objetivo es eliminar o minimizar las 6 pérdidas; averías, configuración y pérdida de tiempo de ajuste, ralentí y paros menores del equipo, reducción de la velocidad de operación, pérdidas de defectos y reparaciones y pérdidas de arranque. El análisis de OEE se puede utilizar para priorizar las inversiones en consecuencia.

Los autores Munyensanga, P., Widyanto, S. A., & Aziz, M. N. (2018) indican que, en las actividades industriales, mantener los dispositivos en condiciones adecuadas; Hay pocas actividades de necesidades importantes que deberían incluirse en las acciones diarias.

- Tomar medidas para evitar averías (mantenimiento preventivo)
- Devolver algo a su estado de funcionamiento (mantenimiento correctivo).
- Mantenimiento de la guía manual para servicios de postventa y mantenimiento (mantenimiento predictivo)
- Administración de piezas de repuesto y otros medios necesarios para cumplir con las condiciones de garantía de los Productos (administración de inventario)
- Los distribuidores y fabricantes de cualquier equipo de máquinas deben realizar y realizar con su propio personal y medios. Esto se hace para asumir los costos de mantenimiento adecuados para todos los productos vendidos [4].

Principalmente, las actividades de mantenimiento anteriores explican el Mantenimiento productivo total (TPM) originado en Japón en 1971, como un método para mejorar la disponibilidad de la máquina a través de una mejor utilización y recursos de producción. El objetivo general de TPM es mantener la planta o el equipo en buenas condiciones sin interferencias con el proceso diario. Para lograr este objetivo de TPM, se requiere mantenimiento preventivo y predictivo. (Munyensanga, P., Widyanto, S. A., & Aziz, 2018).

3.3 Actividades de mantenimiento de TPM

3.3.1 Mantenimiento planificado

En la configuración de mantenimiento, el inventario requerido para cumplir con los flujos de demanda planificados y no planificados se puede controlar por separado. Sin embargo, hacerlo ignora los beneficios de la agrupación de inventarios. Por lo tanto, proponemos mantener un stock único de inventario para satisfacer ambos flujos de demanda, es decir, las piezas de repuesto que se piden para el mantenimiento planificado se pueden usar para satisfacer el mantenimiento no planificado, si es necesario. Específicamente, consideramos un único punto de almacenamiento para un solo artículo que enfrenta dos flujos de demandas: un flujo de prioridad más baja y un flujo estocástico de alta prioridad. Consideramos una configuración de revisión periódica con un horizonte finito, y buscamos minimizar la suma de los costos de demora y los costos de mantenimiento de inventario. Asumimos un tiempo de reposición igual a cero. En este caso, la diferencia entre el mantenimiento planificado y el no planificado puede parecer pequeña. Sin embargo, la diferencia es crucial: observamos el

mantenimiento planificado antes de tomar la decisión de pedido, por lo que podemos pedir que las piezas lleguen justo a tiempo, mientras que necesitamos mantener el inventario de seguridad para el mantenimiento no planificado, ya que solo cumplimos con esas demandas Después de haber ordenado y recibido partes. (Basten, R. J., & Ryan, 2019)

Al considerar en un problema de la programación de una sola máquina o equipo, Bertolini, M., Mezzogori, D., & Zammori, F. (2019) introdujeron un mantenimiento planificado de "tasa de modificación" que se deteriora y depende de los recursos. Como es habitual, la hipótesis formulada es que el mantenimiento planificado altera (es decir, aumenta) la productividad de la máquina. Sin embargo, por otro lado, el mantenimiento planificado se considera "deteriorado", ya que su duración depende tanto de los recursos asignados como del tiempo de inicio, es decir, cuanto más tarde se realice, peores serán las condiciones de la máquina, y cuanto más larga sea la duración del mantenimiento. Los autores también demostraron que este problema se puede resolver de manera óptima en un tiempo polinomial con respecto a muchas funciones objetivas (es decir, makespan, flowtime, máxima tardanza y combinación de precocidad, tardanza y fecha de vencimiento).

El módulo de modelado de fallas se divide adicionalmente en la estimación de MTBF – Tiempo medio para fallar de componentes reparables (a saber, el tiempo de actividad del activo). MTTF tiempo medio a fallar para componentes irreparables y la estimación de MTTR – Tiempo medio de reparación, a lo largo de las operaciones de mantenimiento planificadas y no planificadas (a saber, el tiempo de inactividad del activo). El cálculo del tiempo medio hasta el fallo se basa en las tasas anuales de fracaso, mientras que las operaciones de mantenimiento planificadas y no planificadas requieren datos relacionados con los recursos necesarios para las reparaciones. El tiempo de inactividad resultante depende de la disponibilidad de los buques requeridos, los técnicos, la ventana meteorológica, las piezas de repuesto, el tiempo de organización de la misión, la duración de la navegación y la reparación, así como el número requerido de turnos de técnicos. (Ioannou, A., Angus, A., & Brennan, 2019)

3.3.2 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es importante para garantizar la fiabilidad de los equipos. Las tecnologías de monitoreo de condición, por ejemplo, las tecnologías de visión artificial, el cambio en las distancias de los puntos de medición y otras mediciones se utilizan para el monitoreo de los equipos. Al aplicar el proceso Ornstein-Uhlenbeck, se logró el monitoreo de

la reducción de los datos y la detección precisa de las fallas. Hasta la fecha, el mantenimiento predictivo sigue siendo un desafío importante. De un estudio de campo, se registraron 224 casos de fallas dentro de un total de 520 fallas. (Liu, X., He, D., Lodewijks, G., Pang, Y., & Mei, 2019).

Laloix, T., Iung, B., Voisin, A., & Romagne, E. (2019) indican que, en el mantenimiento predictivo, un paso esencial implica la toma anticipada de decisiones para evitar fallas en el sistema industrial. En la fabricación, el mantenimiento es un servicio de ingeniería que tiene como objetivo garantizar el rendimiento de los equipos de producción durante toda la vida útil para aumentar la rentabilidad. Este postulado es particularmente cierto en el caso del mantenimiento predictivo, que promueve la programación óptima del mantenimiento y la calidad de la producción en función de la capacidad de anticipar problemas relacionados con el servicio. La relación entre el mantenimiento del sistema de fabricación y la calidad de entrega requerida debe llevar a una reducción del control de calidad a posteriori. Esta visión de mantenimiento predictivo se espera en las fábricas de Renault (por ejemplo, la fábrica de trenes de potencia de Cléon en Francia), donde el mantenimiento predictivo se aplica a las máquinas herramienta para lograr la calidad del producto con una disminución del control de calidad a posteriori (por ejemplo, el método SPC).

Recientemente, según Liu, Q., Dong, M., & Chen, F. F. (2018), el mantenimiento predictivo se ha hecho más requerido en muchos dominios de aplicaciones donde la seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas se consideran de manera crítica, y también puede aumentar la productividad, la eficiencia y la disponibilidad de los sistemas. La productividad del sistema de fabricación podría mejorarse integrando estas decisiones. El estudio de mantenimiento también puede referirse a la gestión de recursos, la optimización de la estrategia de mantenimiento y la evaluación. Recientemente, se han establecido modelos matemáticos para describir el mantenimiento predictivo teniendo en cuenta el inventario de repuestos. Por ejemplo, Basten diseñó un algoritmo de solución óptima para el problema conjunto de LORA (análisis del nivel de reparación) y el almacenamiento de piezas de repuesto. Wang presentó un método de optimización conjunta para el control de inventario de repuestos y el intervalo de inspección de mantenimiento preventivo. Todos estos estudios implican la optimización conjunta del mantenimiento y el inventario de repuestos. Por lo tanto, en las publicaciones actuales, el mantenimiento centrado principalmente en la optimización del inventario de piezas de repuesto y las estrategias de mantenimiento se desarrolla solo teniendo en cuenta los estados del sistema. En este documento, el

mantenimiento se centra en la optimización de piezas de repuesto, personal de mantenimiento y herramientas. El documento propone un modelo de programación de mantenimiento de varias fases que utiliza información de degradación teniendo en cuenta la planificación de recursos.

Baptista, M., Sankararaman, S., de Medeiros, I. P., Nascimento Jr, C., Prendinger, H., & Henriques, E. M. (2018) indican que la predicción precisa y exacta de eventos de falla es de interés central para el campo del mantenimiento predictivo. Los pronósticos, como la predicción de eventos relacionados con la condición de los sistemas de ingeniería, pueden respaldar la práctica del mantenimiento predictivo con capacidades avanzadas de detección de fallas, así como también tecnologías para la predicción de vidas útiles. Como impulsor y facilitador clave del mantenimiento eficiente, los pronósticos asumen un papel fundamental tanto en la mejora de las prácticas de mantenimiento como en la reducción del costo de las operaciones. Como una disciplina que se basa ampliamente en la experiencia pasada y la observación para realizar predicciones, los datos son de gran importancia para los pronósticos. Un tipo de datos que juega un papel importante en la realización de pronósticos exitosos son los datos de uso de la vida útil, es decir, los datos relacionados con el ciclo de vida del sistema. Es importante extraer conocimientos útiles de los datos de uso para comprender mejor y predecir la evolución de las fallas a través del tiempo.

Fernandes, M., Canito, A., Bolón-Canedo, V., Conceição, L., Praça, I., & Marreiros, G. (2019) indican que el mantenimiento predictivo indica la hora correcta para realizar el mantenimiento; como resultado, las máquinas pasan menos tiempo fuera de línea y los componentes se cambian solo cuando es necesario. El mantenimiento predictivo realiza tanto la predicción como el diagnóstico de la condición de un equipo, brindando información sobre la naturaleza del problema, dónde ocurre y por qué, y cuándo es probable que ocurra una falla en el equipo. Las técnicas de mantenimiento predictivo se pueden implementar a través de la monitorización de equipos combinados con métodos de decisión inteligentes. Las técnicas de aprendizaje automático y minería de datos se pueden usar para obtener información de los datos y predecir con precisión los resultados para respaldar la toma de decisiones y ayudar a las organizaciones a mejorar sus operaciones y competitividad. Los métodos de Aprendizaje automático utilizados comúnmente para la detección y diagnóstico de fallas incluyen Redes Neuronales Artificiales, Máquinas de vectores de soporte y árboles de decisiones, entre otros.

3.3.3 *Mantenimiento preventivo*

Fernandes, M., Canito, A., Bolón-Canedo, V., Conceição, L., Praça, I., & Marreiros, G. (2019) indican que el mantenimiento preventivo consiste en realizar inspecciones periódicas y otras operaciones de acuerdo con un programa predeterminado, generalmente basado en el tiempo de servicio. Sin embargo, este tipo de mantenimiento es imperfecto, poco confiable y costoso. Para lograr un enfoque totalmente proactivo, el mantenimiento preventivo debe complementarse con el mantenimiento predictivo. Además, las empresas se beneficiarían de usar el mantenimiento preventivo a lo largo del ciclo de vida del equipo para detectar el inicio de la degradación y la falla del equipo.

Yang, L., Ye, Z. S., Lee, C. G., Yang, S. F., & Peng, R. (2019) en su estudio indican que el mantenimiento preventivo es una forma efectiva de reducir los costos de operación de los activos industriales, que ha sido ampliamente adoptado en varias áreas industriales, como sistemas de fabricación, sistemas de energía, infraestructuras críticas, redes de transporte. En general, un plan de mantenimiento elaborado puede equilibrar la compensación entre reducir los riesgos de falla y ahorrar recursos de mantenimiento y, por lo tanto, mejorar la disponibilidad del sistema y / o reducir los costos de mantenimiento. Dependiendo de la información de falla / condición, el mantenimiento preventivo puede dividirse sustancialmente en dos categorías: (a) mantenimiento basado en el tiempo; y (b) mantenimiento basado en la condición. En los últimos años se ha visto el rápido desarrollo de tecnologías de monitoreo, que permite una aplicación más amplia del mantenimiento basado en condiciones en la industria.

Las señales de defectos, tales como variaciones en la calidad, grietas por fatiga, abolladuras, corrosiones por picadura y vibraciones excesivas se observan comúnmente en los sistemas de fabricación. El monitoreo de la condición y / o las inspecciones manuales pueden detectar dichas señales, lo que permite a los mantenedores tomar las medidas adecuadas antes de fallar. El concepto de tiempo de retardo propuesto por Christer y Waller (1984), según Yang, Ye, Lee, Yang, y Peng, (2019) se usa comúnmente para caracterizar tales procesos de falla. En las últimas dos décadas, los modelos de mantenimiento basados en el tiempo de demora se han investigado exhaustivamente con varias aplicaciones exitosas del mundo real, como líneas de producción, ferrocarriles, oleoductos, dispositivos médicos, bombas de agua y gas y vías férreas. Wang (2012), según Yang, Ye, Lee, Yang, y Peng, (2019) proporciona una revisión exhaustiva del tiempo de retardo, que incluye resúmenes de varios tipos de configuraciones y aplicaciones del modelo.

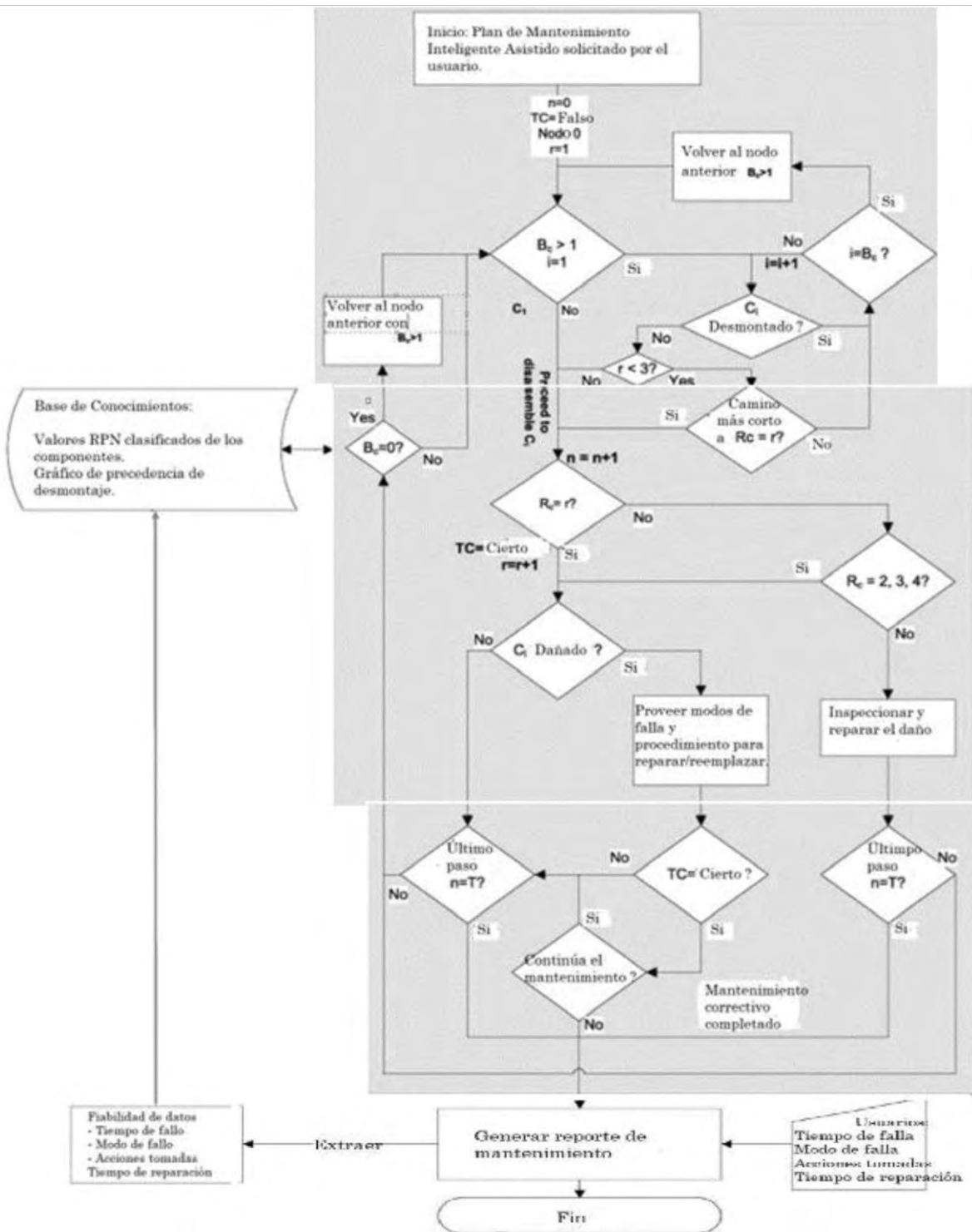
El mantenimiento preventivo tendrá los siguientes dos objetivos: restaurar el equipo y mejorar la calidad del proceso. Hadidi, Al-Turki y Rahim según Lopes, R. (2018), presentan una revisión de los modelos integrados para la planificación y programación de la producción, el mantenimiento y las inspecciones de calidad. Bouslah, de acuerdo con Lopes, R. (2018), desarrollaron un modelo integrado para el muestreo de control de calidad y el mantenimiento de sistemas de producción en deterioro; El modelo consideró una restricción de calidad de salida promedio. Li, Chan, Chung y Tai en 2017, de acuerdo con Lopes, R. (2018), estudiaron el inventario y el deterioro del proceso en el modelo de cantidad de producción económica (EPQ) con retrabajo y trabajos pendientes. Kang y Subramaniam en 2018, según Lopes, R. (2018) desarrollaron una política de mantenimiento dinámico integrada con la producción y el mantenimiento oportunista en un problema de optimización conjunta. Por último, Lopes, R. (2018) indica que Cheng, Zhou y Li en 2018 presentaron un modelo basado en la simulación para determinar conjuntamente la producción, el control de calidad y el mantenimiento de un sistema de producción de una sola unidad que adopta un stock de reserva.

3.3.4 Mantenimiento Correctivo

El método propuesto presentado por Yepez, P., Alsayyed, B., & Ahmad, R. (2019) puede ayudar a los operadores mientras realizan tareas de mantenimiento correctivo. Los sistemas basados en el conocimiento pueden usar la información de un informe de FMEA e integrarla automáticamente en una secuencia de desensamblado. El usuario es guiado a los componentes más críticos de un producto dado y se genera un plan de mantenimiento específico. El método actual reduce el tiempo dentro de la secuencia general de desmontaje dada. Por lo tanto, el trabajo futuro utilizará métodos de optimización para usar la secuencia más corta / rápida, integrarla con datos FMEA y generar una tarea de mantenimiento guiado para reducir aún más el tiempo de reparación. La solución propuesta generalmente es capaz de generar un plan de mantenimiento viable para cualquier tipo de pieza, que resuelva el problema de generación del plan de mantenimiento anterior con una precedencia novedosa y un método FMEA. El algoritmo propuesto (Fig. 1) comienza cuando el usuario solicita el plan de mantenimiento correctivo asistido. La primera comprobación determina si la secuencia de desensamblado tiene varias ramas desde el nodo inicial (N0) en figura 19 de precedencia. (Yepez, Alsayyed, y Ahmad, 2019)

Figura 19

Algoritmo de mantenimiento.



Nota: En la figura se muestra la secuencia el algoritmo para un mantenimiento inteligente.

Fuente: Yepez, Alsayed, y Ahmad, (2019).

Este algoritmo muestra que la metodología propuesta puede ayudar a un operador paso a paso a inspeccionar y reparar el producto durante un mantenimiento correctivo. (Yepez, Alsayed, y Ahmad, 2019)

3.3.5 Análisis de falla Weibull

Los autores Arslankaya, S., & Atay, H. (2015) en su estudio indican que el objetivo del uso del sistema de mantenimiento computarizado es cuantificar la eficiencia de mantenimiento y el mantenimiento. Los programas relacionados con equipos especiales pueden incluir disponibilidad, fiabilidad y sostenibilidad; la duración de una interrupción; el período promedio entre averías; la duración media de un desglose; la duración media de una reparación; el tiempo de ruptura; estudios estadísticos como el análisis de Weibull; y las mediciones sobre la gestión planificada y no planificada del mantenimiento.

En muchas aplicaciones, según Dondapati, Trivedi, Dondapati, y Chandra, (2017), Weibull y la distribución log normal son las más apropiadas para estudiar la confiabilidad de un equipo. La distribución de Weibull es la que más se utiliza en las industrias para estudiar los datos relacionados con la garantía debido a su flexibilidad en la elección de la muestra con cualquier tamaño. Se debe elegir 3 parámetros de Weibull. La función de densidad de probabilidad de las distribuciones de Weibull es tal como se presenta en la figura 20:

Figura 20

Función de densidad de Weibull.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}},$$

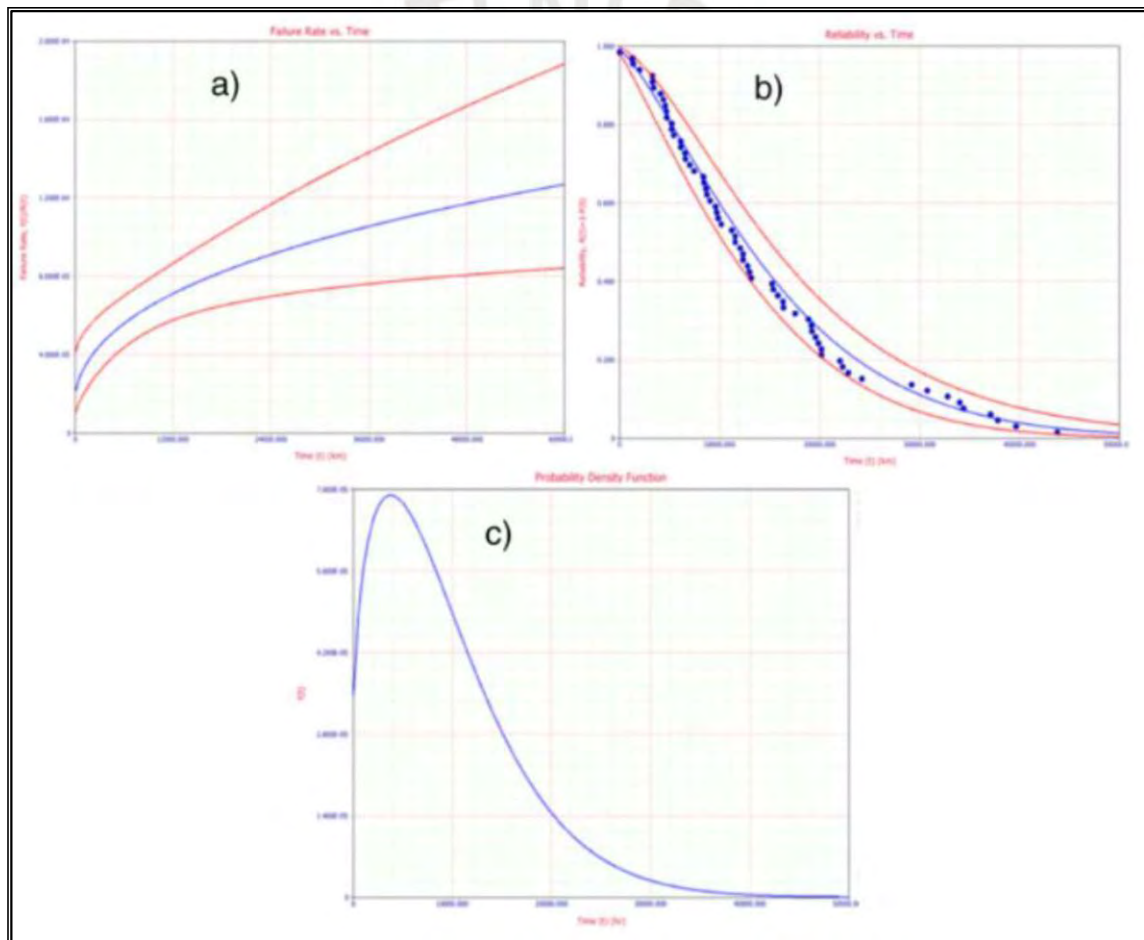
Nota: En la figura se muestra la fórmula de la ecuación de Weibull. Fuente: Dondapati, Trivedi, Dondapati, y Chandra, (2017),

Donde $f(t) \geq 0$, $t \geq 0$, $\beta > 0$, $\eta > 0$, $-\infty < \gamma < \infty$. β (beta), η (Eta) son parámetros de forma o pendiente, parámetro de escala de la vida útil, γ (Gamma) es el parámetro de umbral (localización), que puede ser positivo o negativo. En la figura 21 en la siguiente figura (a), se observa que la tasa de fracaso para, $\beta > 1$, aumenta a medida que t aumenta y se convierte en adecuada para representar la tasa de fallos de las unidades que presentan fallas de tipo de desgaste. Para $1 < \beta < 2$, la curva $\lambda(t)$ es cóncava, por lo tanto, la tasa de fallos aumenta a una velocidad decreciente a medida que t aumenta. El parámetro de umbral γ puede asumir todos

los valores y proporciona una estimación del tiempo más temprano en el que puede producirse un fallo. En la figura (c), γ tiene un valor negativo que puede indicar que los fallos han ocurrido antes del comienzo de la prueba, es decir durante la producción, durante el almacenamiento, en tránsito, durante la salida antes del inicio de una misión, o antes del uso real. Eso significa físicamente que un umbral negativo implica que los fallos ocurren incluso antes de que se use un producto por primera vez. Esta situación no es definitivamente representativa de un producto manufacturado típico tal como estructuras soldadas. Por esa razón pueden ser tratados como excepciones.

Figura 21

Índice de fallas.



Nota: En la figura se muestra los tres estados de la función weibull. Fuente: Dondapati, S., Trivedi, M., Dondapati, R. S., & Chandra, D. (2017).

Un cambio, según Dondapati, Trivedi, Dondapati, y Chandra, (2017) en el parámetro de escala η tiene el mismo efecto sobre la distribución que un cambio de la escala de abscisas. En la figura (b) se muestra la distribución de la fiabilidad frente al tiempo. Desde el gráfico

podemos decidir fácilmente la fiabilidad de cualquier componente que caiga entre los rangos de fallo km. El MTTF = 15.172 km con un nivel de confianza del 90%.

3.3.6 MTBF y MTTR

3.3.6.1 Tiempo medio entre fallos (MTBF).

El tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés) es un KPI que se refiere al tiempo de producción promedio transcurrido entre un fallo y la próxima vez que se produce y se puede calcular utilizando una fórmula. (Saetta, y Caldarelli, 2018) y la formula se presenta en la figura 22.

Figura 22

Formula de indicador de MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de paradas de Máquina}}$$

Nota: En la figura se muestra la formula del MTBF donde el numerador indica las horas de operación y en el denominador el número de paradas. Fuente: (Saetta, y Caldarelli, 2018).

3.3.6.2 Tiempo medio para su reparación (MTTR).

El tiempo medio de reparación (MTTR) es el tiempo que se tarda en ejecutar una reparación después de producirse el fallo. Es decir, es el tiempo empleado durante la intervención en un proceso dado. (Saetta, y Caldarelli, 2018) y se muestra en la figura 23.

Figura 23

Formula de indicador de MTTR.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Número de paradas por reparación}}$$

Nota: En la figura se muestra la formula del MTTR donde el numerador indica las horas de reparación y en el denominador el número de paradas por reparación. Fuente: (Saetta, y Caldarelli, 2018).

3.3.7 AMEF

El análisis de modo y efecto de falla (FMEA) se ha utilizado ampliamente en industrias de alto riesgo para evaluar y mitigar las debilidades del proceso, este análisis se ha aplicado para examinar y mitigar los riesgos asociados a los modos de falla en muchos procesos de mantenimiento. AMEF no se ha aplicado para evaluar y abordar sistemáticamente las fallas también esta metodología AMEF es utilizado para identificar y abordar fallas potenciales dentro de un equipo. Para implementar el proyecto FMEA en la empresa de acuerdo con Van

Hoof et al. (2022), se crea un liderazgo que mide los resultados y también son monitoreados y evaluados por el Gerente de Planta. Los pasos de implementación se aplican de acuerdo con el proceso de implementación del FMEA.

Los datos secundarios para Filz et al. (2021) se recopilan para el análisis del proceso previo a la mejora. Los indicadores evalúan S, O, D, causas y proponen soluciones basadas en métodos expertos. Los expertos son personas con experiencia en el proceso. Son gerentes, ingenieros, trabajadores de alto nivel involucrados en el proceso.

- Pasos 3, 4, 5, 6: El equipo FMEA desarrolló la escala de calificación de severidad (Severity-S); Ocurrencia-O; La capacidad de detectar (Detección-D) de tipos de fallas. En base a eso, el equipo FMEA determina las puntuaciones S, O y D para cada tipo de falla.
- Pasos 7, 8, 9: El equipo FMEA calcula el factor de prioridad de riesgo RPN1 (antes de la mejora) para cada tipo de falla; los resultados de identificar 6 tipos de falla con el coeficiente RPN, luego, el grupo continúa discutiendo y analizando. para encontrar la causa de estas fallas en el Paso 9.
- Paso 10: El equipo FMEA analiza cómo encontrar soluciones para los 6 tipos de defectos anteriores que deben priorizarse para mejorar (Kadena et al., 2022)

4.- Capítulo 4: Metodología

En la presente tesis, el objetivo fue mejorar los procesos de mantenimiento mediante el análisis de métricas clave y el uso de herramientas de visualización de datos. Para ello, se inició con la recolección de datos históricos de fallas y reparaciones de los equipos, los cuales fueron utilizados para calcular el MTBF y el MTTR.

El MTBF permitió identificar los equipos con mayor frecuencia de fallas, mientras que el MTTR ayudó a comprender el tiempo promedio de reparación de estos equipos. Además, se evaluó la disponibilidad mecánica de los equipos para determinar el tiempo en que estuvieron operativos en comparación con el tiempo total.

Para visualizar estos datos, se utilizaron herramientas de análisis y gráficos que facilitaron la identificación de tendencias y patrones. Por ejemplo, se diseñaron dashboards interactivos que mostraban el rendimiento de los equipos en tiempo real, lo que permitió una toma de decisiones más informada

Basado en este análisis, se propuso e implementó una serie de mejoras en los procesos de mantenimiento, como la optimización de los planes de mantenimiento preventivo y la capacitación del personal en técnicas de reparación más eficientes. Los resultados mostraron una mejora significativa en las métricas de rendimiento, reduciendo el MTTR y aumentando la disponibilidad mecánica de los equipos.

En conclusión, la metodología aplicada no solo permitió identificar y solucionar problemas críticos en los procesos de mantenimiento, sino que también demostró la importancia del uso de herramientas de análisis y visualización de datos para la gestión eficiente del mantenimiento.

5.- Capítulo 5: Contenido de la tesis

5.1 Causas de la baja confiabilidad del sistema eléctrico de la flota de camiones

Para realizar este análisis se tuvo que realizar reuniones con los responsables del área de mantenimiento, planificación y de confiabilidad siendo muy importante también la participación de los técnicos líderes de cada área.

Las personas que participaron en esta reunión fueron los que se muestran en la tabla 03 líneas abajo los facilitadores de esta reunión estuvo a cargo del área de confiabilidad de equipos.

Tabla 3

Lista de participantes.

Tiempo de reunión		1 Hora				
Item	Integrantes	4/04/2023	25/04/2023	25/05/2023	25/06/2023	25/07/2023
1	Superintendente de mantenimiento	Participó	Participó	No participó	Participó	Participó
2	Jefe de planeamiento	Participó	Participó	Participó	Participó	No participó
3	Jefe de confiabilidad (Facilitador 1)	Participó	Participó	Participó	Participó	Participó
4	Jefe de taller	Participó	No participó	No participó	Participó	Participó
5	Jefe de mantenimiento campo	Participó	Participó	Participó	Participó	Participó
6	Supervisor de planeamiento de equipo	Participó	Participó	Participó	Participó	Participó
7	Supervisor de confiabilidad de equipos (Facilitador 2)	Participó	Participó	No participó	Participó	Participó
8	Técnico líder mecánico	Participó	Participó	Participó	Participó	Participó
9	Técnico líder eléctrico	Participó	Participó	Participó	Participó	Participó

Nota: En la tabla se muestra la lista y participación de los integrantes de las diversas áreas en las cinco fechas. Fuente: Elaboración propia.

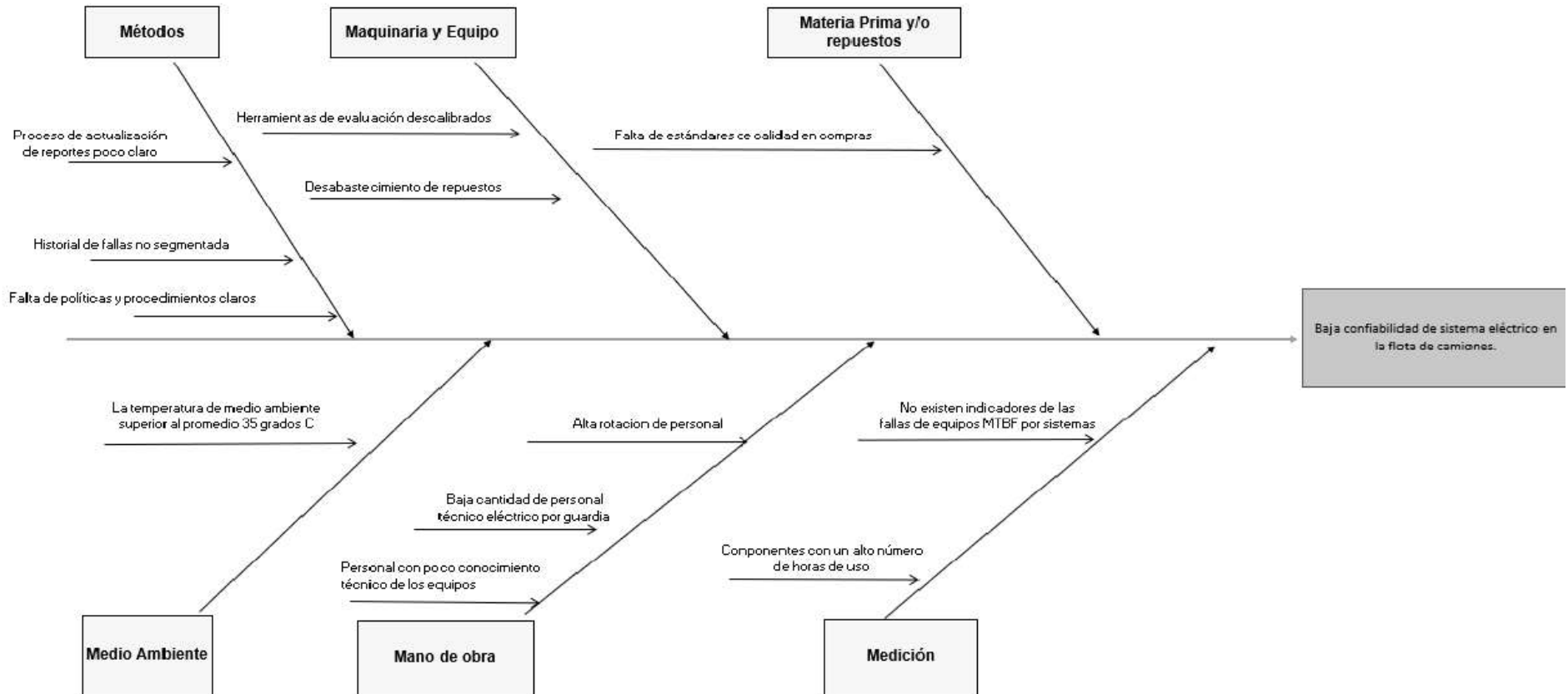
Fue muy importante la participación de todos los responsables de área para poder identificar, analizar y discutir las posibles causas por la baja disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

En base a las reuniones sostenidas se identificaron las principales causas por la baja disponibilidad de equipos, para poder analizar de una manera estructurada se utilizó el diagrama de Ishikawa y se muestra los resultados en la figura 24 presentado líneas abajo



Figura 24

Baja confiabilidad del sistema eléctrico de la flota de camiones.



Nota: En la figura se muestra las causas principales por la baja confiabilidad. Fuente: Elaboración propia.

Con el diagrama de Ishikawa se muestran las causas que generan la baja confiabilidad del sistema eléctrico de la flota de camiones y por ende la baja disponibilidad mecánica de la flota, asimismo para realizar un análisis más detallado es necesario determinar las causas básicas con la finalidad de identificar aquellas en las que se tiene mayor influencia o pueda generar un mayor impacto positivo.

En la tabla 04 se presenta las causas básicas basado en las seis emes asimismo se muestra las causas basado en niveles.

Tabla 4

Lista de las causas.

6 Ms	Causas	Nivel 1	Nivel 2
Método	Proceso de actualización de reportes poco claro	Sistema de registro deficiente	Estrategia de mantenimiento deficiente
	Historial de fallas no segmentada	No existe un análisis de componentes críticos	Estrategia de mantenimiento deficiente
	Falta de políticas y procedimientos claros	Estrategia de mantenimiento deficiente	Estrategia de mantenimiento deficiente
Maquinaria y equipo	Herramientas de evaluación descalibradas	Falta de planificación	Estrategia de mantenimiento deficiente
	Desabastecimiento de repuestos	Falta de planificación	Estrategia de mantenimiento deficiente
Materia prima	Falta de estándares de calidad en compras	Escasos proveedores en el mercado interno	Baja calidad de repuestos y servicios
Medio ambiente	La temperatura de medio ambiente superior al promedio 35 grados C	Estrategia de mantenimiento deficiente	Estrategia de mantenimiento deficiente
	Alta rotación de personal	Mercado competitivo	Motivación incorrecta al personal
Mano de obra	Baja cantidad de personal técnico eléctrico por guardia	Falta de MO calificada en el mercado	Motivación incorrecta al personal
	Personal con poco conocimiento técnico de los equipos	Falta de MO calificada en el mercado	Motivación incorrecta al personal
	Falta de sistema de gestión de datos	Estrategia de mantenimiento deficiente	Estrategia de mantenimiento deficiente
Medición	Componentes con un alto número de horas de uso	Registros desactualizados	Estrategia de mantenimiento deficiente

Nota: En la tabla se muestra las causas básicas y dos niveles del porqué de esta causa.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 05 se presenta el resumen del nivel dos, es decir el porqué de las causas, en la tabla se muestra que son 3 causas lo que generan la baja confiabilidad y disponibilidad de los equipos destacando con 8 puntos que hay una estrategia deficiente de mantenimiento.

Tabla 5

Lista de porqué de las causas.

Causas básicas	Total
Estrategia de mantenimiento deficiente	8
Motivación incorrecta al personal	3
Baja calidad de repuestos y servicios	1

Nota: En la tabla se muestra la lista de nivel dos enfocado al porqué de las causas donde se evidencia una falta de estrategia de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.

Se puede concluir que las estrategias de mantenimiento no son las correctas desde la parte operativa con el registro inicial de los reportes que no están correctamente estructurados seguido del área de planeamiento por un control deficiente de los componentes, repuestos, herramientas y más aún la falta de control de la tasa de uso de estos.

5.2 Alternativas de solución

Durante los capítulos anteriores se demostró lo siguiente.

- La empresa contratista no llega a cumplir con la meta de producción solicitado por el cliente.
- Los camiones mineros son equipos críticos porque trasladan el mineral de diferentes zonas a la chancadora del cliente.
- Las estrategias de mantenimiento no son las indicadas esto conlleva a una baja confiabilidad

Además, al cruzar la misión de la empresa contratista y el titular minero encontramos que no se está cumpliendo y se muestra en la tabla 06.

Tabla 6

Misión de la empresa contratista y del cliente.

Misión Empresa Contratista	Misión cliente Shougang
Contribuir al éxito de nuestros clientes desarrollando nuestras operaciones con altos estándares de calidad, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional, enfocándonos en la productividad y empleando la tecnología para lograr un negocio sostenible.	Ser una empresa proveedora de hierro que promueve mejora continua a través de prácticas seguras, confiables y de cuidado de medio ambiente, en todos sus sistemas y procesos para elevar el nivel de competitividad.

Nota: En la tabla se hace un comparativo entre la misión de la empresa contratista y la misión del cliente. Fuente: Elaboración propia.

En tal sentido es necesario redefinir las estrategias de mantenimiento a uno que permita cumplir con las expectativas del cliente manteniendo los costos dentro de los presupuestado

5.2.1 Planes de acción derivado del análisis

5.2.1.1 Desarrollar un plan de mantenimiento basado en la condición actual de los equipos

Para un correcto análisis y toma de decisiones es necesario que la información que se trabaja sea la real y para lograr esto es necesario que se trabaje en los siguientes puntos.

- Elaboración de los sistemas, subsistemas y partes de los equipos de manera abreviada y simple, asimismo estructuras de manera adecuada los modos de falla.
- Restructurar el proceso de registro de reportes basado en la calidad y velocidad de la información.
- Capacitar al personal técnico sobre el llenado de los reportes de intervenciones de los equipos basado en una estructuración y catalogación de los sistemas, subsistemas, partes y modos de falla
- Generación de planes de acción para mejorar el desempeño de las flotas basado en el análisis de los datos ya estructurados utilizando herramientas de inactividad o indisponibilidad de equipos como el Jack Knife porque permite de manera fácil identificar los problemas que afectan a la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos. Asimismo, se realizará el análisis estadístico de supervivencia de los componentes y sistemas críticos para identificar e ilustrar la probabilidad de que un componente sobreviva hasta un tiempo particular con el objetivo de aplicar estrategias de mantenimiento diferenciadas. Por último, se utilizará la herramienta de AMEF para identificar los problemas potenciales y sus posibles efectos.
- Realizar un plan de mantenimiento preventivo enfocado en el análisis de AMEF.

5.2.1.2 Desarrollar políticas de atracción y retención de personal técnico

El proceso tiene que ser sostenible en el tiempo y para lograrlo es necesario contar con personal técnico comprometido con la empresa y para lograr estos es necesario que el área de recursos humanos desarrolle el siguiente plan estratégico:

- Analizar el índice de rotación del año 2023, razones de renuncia, distribución de personal por guardia.
- Desarrollar planes de carrera profesional para el personal técnico tales como la capacitación y certificación
- Implementar planes de reconocimiento y recompensa en base al desempeño

5.2.1.3 Desarrollar políticas de evaluación de proveedores basado en la calidad de servicios y repuestos

Los equipos también dejan de ser confiables por falta de repuestos y más aún por repuestos de baja calidad que presentan falla una vez instalados en el equipo este último es más crítico porque duplica los esfuerzos tanto en repuestos y mano de obra, para poder minimizar estos eventos de mala calidad los planes de acción serían:

- Recopilar información de usuarios internos, con esta retroalimentación periódica de los usuarios internos se conocerá a detalle la calidad de los servicios y repuestos suministrados por los proveedores tomando decisiones oportunas.
- Calcular de manera periódica el MTTF de los repuestos y componentes de los diferentes proveedores y tener registro para la toma de decisiones.

5.3 Implementación:

5.3.1.- Desarrollar un plan de mantenimiento basado en la condición actual de los equipos.

El plan de implementación se dará de manera secuencial y en cinco pasos que a continuación se detalla y explica.

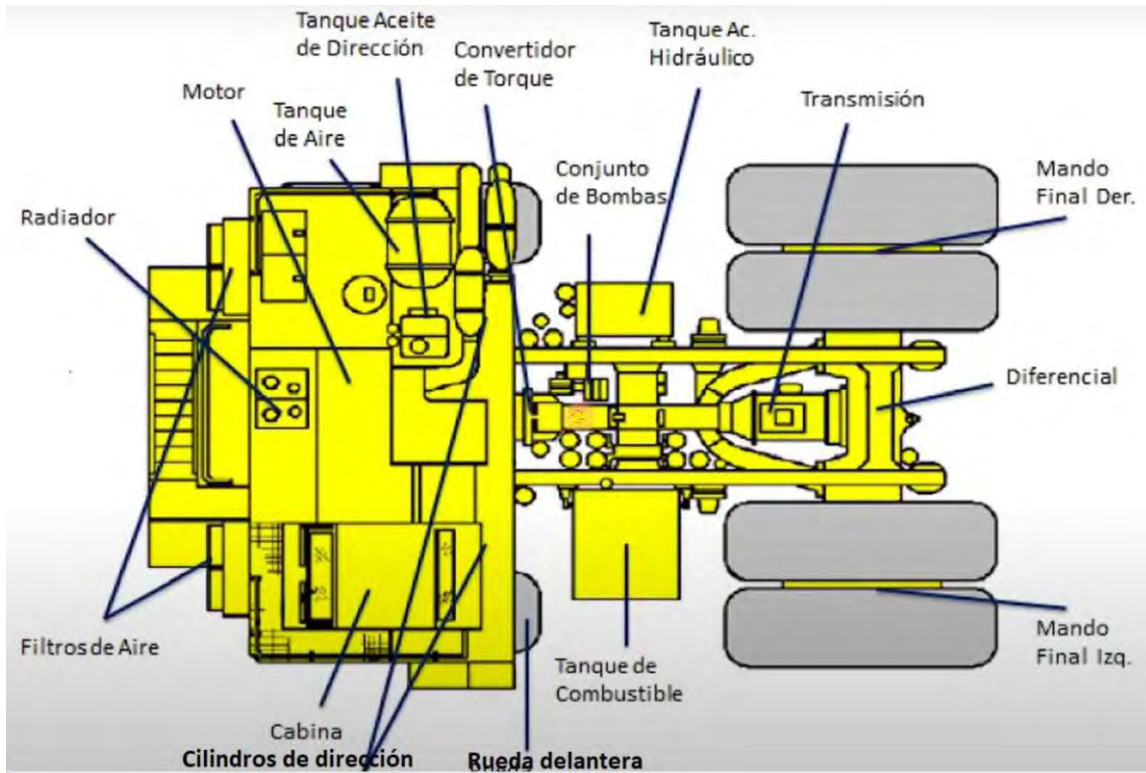
5.3.1.1 Paso 1: Elaboración de los sistemas, subsistemas, partes y modos de falla.

La flota de camiones son de modelo 785 C de la marca Caterpillar estos equipos se caracterizan por su capacidad de carga, estos equipos son capaces de transportar 125 toneladas, todos los sistemas son críticos, cualquier falla en plena operación conlleva a gestionar recursos tales como mano de obra y repuestos, por las dimensiones del equipo y la falla del equipo podría demandar de más recursos y más tiempo para la reparación.

En la figura 25 se muestra la siguiente vista tomada de la parte superior se muestra los sistemas principales del camión y la ubicación de cada uno de estos.

Figura 25

Vista superior de camión 785.



Nota: En la figura se muestra la vista superior del camión 785 donde se señala e indica las partes principales del equipo. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 26 se presenta la imagen frontal y se muestra de manera similar la ubicación de los sistemas principales del camión minero.

Figura 26

Vista frontal de camión 785.



Nota: En la figura se muestra la vista frontal del camión 785 donde se señala e indica las partes principales del equipo. Fuente: Elaboración propia.

Para poder hacer el despliegue de todos los sistemas, subsistemas y partes nos apoyaremos en la Norma ISO 14224 2016 en el cual se indica de manera lógica la estructuración de la taxonomía, en la tabla 07 se detalla la definición de cada división y los ejemplos relacionados en cada subdivisión.

Tabla 7

Norma ISO 14224.

Categoría principal	Nivel taxonómico	Jerarquía taxonómica	Definición	Ejemplos
Subdivisión de equipos	6	Clase/Unidad de equipos	Clase de unidades de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipo comparables (por ejemplo, compresores).	Intercambiadores de calor, compresores, tuberías, bombas, turbinas de gas, cabezales submarinos y árboles de Navidad, flotadores, extrusoras, BOPs submarinos (ver Tabla A.4)
	7	Subunidad	Un subsistema necesario para que la unidad de equipo funcione.	Subunidad de lubricación, subunidad de refrigeración, subunidad de control y monitoreo, subunidad de calefacción, subunidad de peletización, subunidad de enfriamiento, subunidad de refrigeración, subunidad de destilación, subunidad de control distribuido.
	8	Componente/Elemento mantenible (MI) a	El grupo de partes de la unidad de equipo que comúnmente se mantienen (reparan/restauran) como un todo.	Enfriador, acoplamiento, caja de cambios, bomba de lubricación de aceite, lazo de instrumentos, motor, válvula, filtro, sensor de presión, sensor de temperatura, circuito eléctrico.
	9	Parte b	Una pieza individual de equipo.	Sello, tubo, carcasa, impulsor, junta, placa de filtro, perno, tuerca, etc.

Nota: En la tabla se muestra el criterio para el despliegue de la taxonomía. Fuente: ISO 14224:2016.

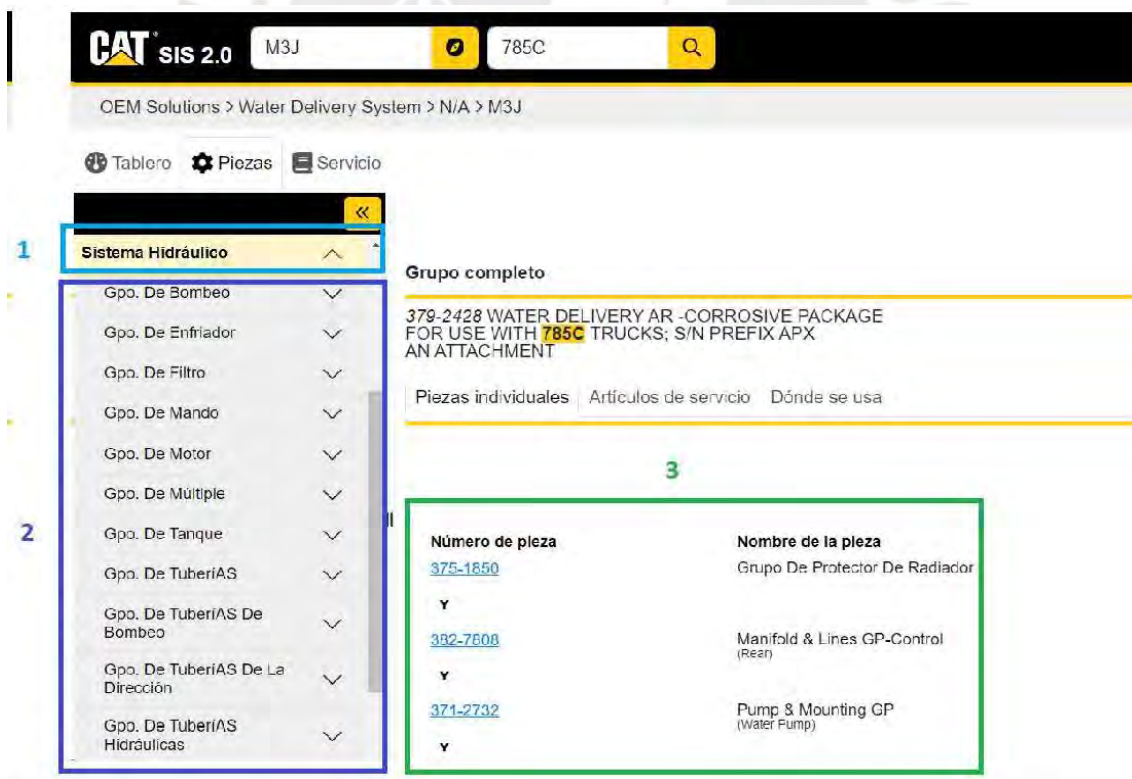
Asimismo para desarrollar la taxonomía del camión minero de una manera ordenada es nos apoyemos de la herramienta del SISCAT este software es utilizado para buscar información importante del equipos tales como partes , desmontaje , montaje , mantenimiento y toda la información del funcionamiento de los sistemas mecánicos y eléctricos por ultimo y muy importante se puede encontrar la actualización de los productos es decir mejoras que se realizaron a los diferentes componentes y sistemas proporcionando los nuevos número de partes.

Según lo explicado en el párrafo anterior se utilizará el software de SISCAT para ubicar de manera precisa los sistemas, subsistemas y partes principales de una manera lógica y secuencial

Como se puede observar en la figura 27 líneas abajo el punto 1 es el sistema en este caso es el sistema hidráulico, el punto 2 es el subsistema y el punto 3 son las partes.

Figura 27

Presentación del programa SISCAT.



Nota: En la figura se muestra el despliegue del programa SISCAT donde se detalla la taxonomía que servirá como guía para la estructuración de todos los sistemas principales. Fuente: Programa SISCAT de Ferreyros (2023).

Según lo expuesto líneas arriba se procede a estructurar de manera detallada todos los sistemas, subsistemas y partes de los camiones mineros y para poder identificar y asignar de manera práctica se coloca el código de asignación que solo son las primeras 3 letras de la flota de equipos , seguido de sistema y subsistema, por ejemplo de la flota camión las tres primeras letras será CAM, el sistema eléctrico que las tres primeras letras será ELE y el subsistema que en la columna del mismo nombre se describe todo esto tendrá como objetivo de que sea más fácil de identificar y redactar. Toda esta explicación se encuentra detallado en la tabla 08.

Tabla 8

Taxonomía de sistema eléctrico de camión minero.

DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACIÓN	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA ELÉCTRICO DE AIRE ACONDICIONADO	AAC	CAM - ELE - AAC	BLOWER	322-7212
			COMPRESOR	129-9491
			CONDENSADOR	4W-4033
			FUSIBLES	113-8490
			MODULO DE PROTECCIÓN A/C	344-2689
			MOTOR DE BLOWER	319-6901
			PORTA FUSIBLES	113-8490
			SOLENOIDE DE EMBRAGUE DE COMPRESOR A/C	9X-9482
			SWITCH DE PRESION ALTA DE A/C	103-4977
			SWITCH DE PRESION BAJA DE A/C	111-9563
SISTEMA ELÉCTRICO DE ARRANQUE	ARR	CAM - ELE - ARR	ARRANCADOR ELÉCTRICO	6V-0889
			CABLES ELECTRICOS	3T-3424
			MOTOR DE PRELUBRICACIÓN	317-1556
			SOLENOIDE DE ARRANCADOR	338-3453
			SOLENOIDE DE MOTOR DE PRELUBRICACIÓN	3E-5239
			VALVULA SOLENOIDE	279-6528

Nota: En la tabla se muestra la estructuración y el despliegue de la taxonomía incluyendo los numero de partes de cada ítem. Fuente: Elaboración propia

Los demás sistemas del equipo en general se detallan en el anexo 01 mostrando el mismo nivel de despliegue.

Para un análisis más detallado los sistemas deben de estar relacionados con diferentes modos de fallo, todos estos posibles modos de falla se detallan en el anexo 02.

5.3.1.2 Paso 2: Restructurar el proceso de registro de reportes basado en la calidad y velocidad de la información.

5.3.1.2.1 Proceso actual de registro de datos.

Actualmente el proceso de registro de la información es de manera manual el proceso del registro de la información es la siguiente:

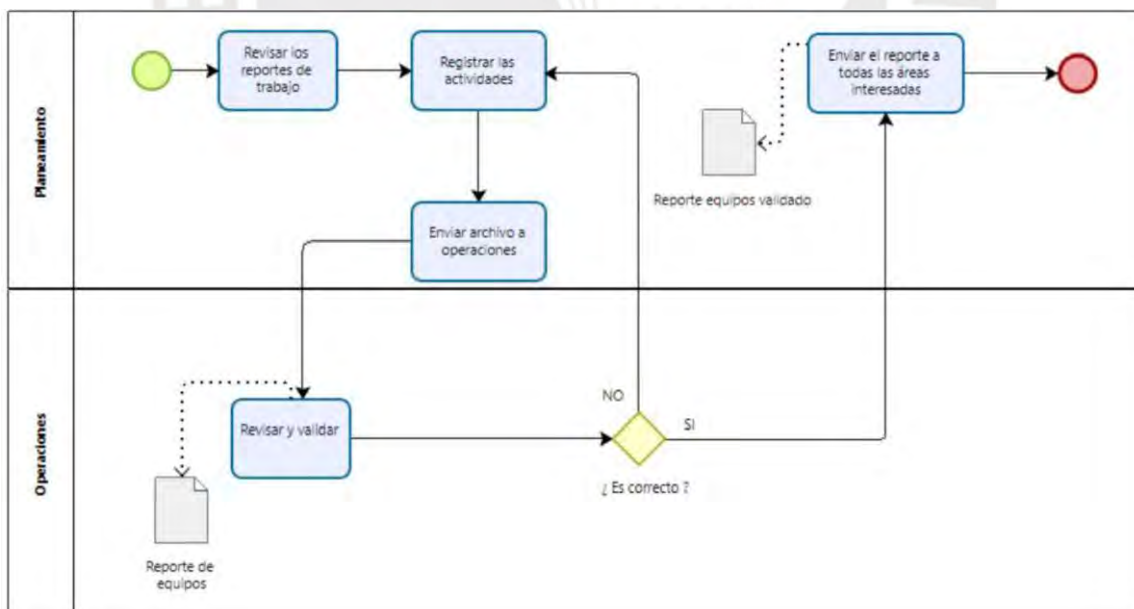
- Revisar los reportes: Personal de planeamiento recibe los reportes en físico esto demora 1 hora por guardia.

- Registrar las actividades. - La información se transcribe a un archivo Excel un total aproximado de 80 actividades por turno siendo en total 160 actividades por guardia, todo el proceso de ambas guardias demora 4 horas.
- Validar reporte por el área de operaciones. - Los reportes son enviados al área de operaciones para la validación de cada uno de las intervenciones o registros, luego operaciones reenvían el archivo indicando si existe observaciones en caso sea así estas tienen que ser corregidas por el área de mantenimiento, este es el proceso más lento porque esta área tiene que hacer las consultas con los supervisores de turno en total 12 horas.
- Enviar los reportes validados - Una vez conciliado las actividades de mantenimiento con operaciones el área de planeamiento envía el reporte a todas las áreas interesadas donde dentro de estas áreas está el área de confiabilidad para que se analice y se tome decisiones en base a esta información, este proceso demora 1 hora una vez validado la información.

A continuación, se presenta en la figura 28 el proceso actual AS IS.

Figura 28

Proceso AS IS registro de datos.



Nota: En la figura 29 se muestra el proceso AS IS donde se detalla el flujo de información y validación entre el área de planeamiento y operaciones. Fuente: Elaboración propia.

Los tiempos en cada proceso se muestran en la tabla 09, hay una restricción y demora en el área de operaciones por el proceso de validación de las actividades de mantenimiento esto porque los supervisores tienen que validar con el registro que ellos tienen.

Tabla 9

Diagrama analítico de proceso.

N°	PASOS	SIMBOLOS DE FLUJO	HORAS	SIMBOLO				
				○	➔	◡	□	▽
1	Revisar los reportes	□	1					
2	Registrar las actividades	○	4	●				
3	Validar reporte por el área de operaciones	□	15				●	
4	Enviar los reportes validados	○	1	●				
Total			21 horas	2	0	0	2	0

Nota: En la tabla se muestra los pasos y el tiempo en horas donde resalta el paso 3 que tiene un tiempo total de 15 horas. Fuente: Elaboración propia.

El tiempo del proceso de flujo de información no es la adecuada porque la toma de decisiones está basada en el análisis de los kpis para luego gestionar los recursos y cambio de estrategias en caso sea necesario siempre con el objetivo de priorizar la salud de los equipos.

5.3.1.2.2 Proceso Mejorado de registro de datos.

Basado en el problema de la lentitud del flujo de información es necesario apoyarnos de la tecnología actual como el de Google Sheets, las ventajas de este aplicativo son los siguientes.

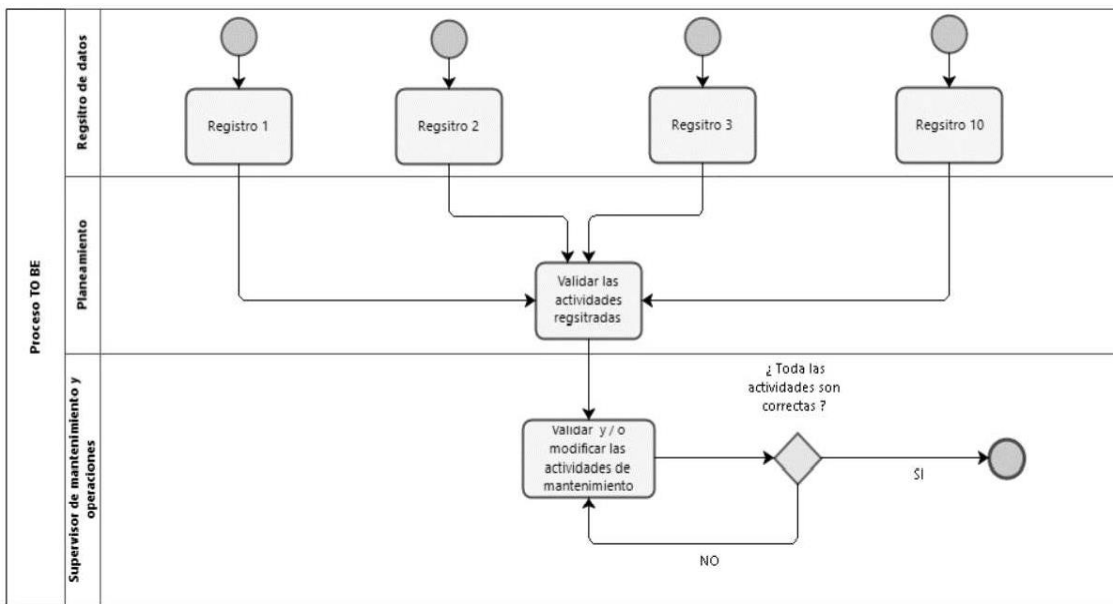
- Trabajo off line, este aplicativo trabaja sin señal de internet, los técnicos y operadores podrán realizar sus reportes en un dispositivo móvil sin importar la señal de internet el sistema de sincronizará y actualizará de manera automática una vez que exista señal de internet.
- Se visualizará los reportes de manera interactiva siendo importante la participación de las áreas involucradas para poder indicar si existen observaciones.
- Se actualizará los reportes de manera rápida y por ende los indicadores de gestión se realizarán en tiempo real.

- Se tomarán decisiones operativas más rápidas y precisas y se analizará los datos para decisiones estratégicas.

A continuación, en la figura 29 se presenta el proceso mejorado TO BE donde la velocidad del flujo de la información y la confiabilidad de los datos es vital para la toma de decisiones.

Figura 29

Proceso TO BE del registro de datos.



Nota: En la figura se muestra el proceso mejorado donde el flujo de información será más rápido que se iniciara en el registro en campo y finalizaran con la validación de los supervisores. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detallará el proceso mejorado

5.3.1.2.2.1 Registro de la actividad de mantenimiento.

Por medio de la Tablet el técnico de mantenimiento podrá realizar el registro de las intervenciones de mantenimiento a continuación se detalla los cuatro pasos que tendrá que seguir para que el registro sea visualizado por todas las áreas interesadas.

5.3.1.2.2.2 Identificación (ID).

Para ingresar el sistema es necesario colocar el número de DNI donde el sistema validará el puesto de trabajo tal como se muestra en la figura 31.

Figura 30

Inicio de proceso de registro identificación.

Formulario de inicio de registro de identificación. El formulario tiene un título "Bienvenido/a" y un campo de entrada etiquetado "DOCUMENTO ID". Debajo del campo de entrada hay un botón "Ingresar".

Nota: En la figura se muestra el inicio del proceso de registro de la información en esta pestaña se colocará el número de DNI del trabajador. Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.2.2.3 Registro de datos iniciales.

Según lo registrado en el punto uno se dará la bienvenida al usuario y se mostrará cuatros casillas que a continuación se explica y se muestra en la figura 31.

- Fecha. - En esta casilla se debe de registrar la fecha de inicio de la intervención
- Turno. - En esta casilla se registre el turno de la intervención.
- Código del equipo. – En esta casilla desplegable se encontrarán todos los equipos esto para evitar errores de tipeo.
- Hora. - En esta casilla se registrará la hora de la intervención inicial, muy importante para el análisis del indicador del MTTR.

Figura 31

Registro de datos iniciales.

Formulario de registro de datos iniciales. El formulario muestra el nombre de usuario "Bienvenido: Julio Porras M" y el puesto "Pue Puesto: Mecánico". Hay campos para "FECHA" y "HORA". Un campo "TURNO" tiene un menú desplegable con opciones "DIA" y "NOCHE". Un campo "CODIGO DEL EQUIPO" tiene un menú desplegable con opciones "CAM-01" a "CAM-12". Debajo de los campos hay un botón "Registrar".

Nota: En la figura se muestra los campos a llenar donde existe celdas con valores condicionales para evitar posibles errores al momento de escribir. Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.2.2.4 Registro de estado del equipo.

En esta sección se apertura una ventana donde se registrará datos importantes como el estado inicial y final del equipo con este dato se registra la parada del equipo para hallar indicadores claves como el MTBF. Asimismo, es muy importante registrar datos como de explica y se muestra en la figura 32.

Área responsable: En esta casilla se indicará el área responsable de la intervención del equipo teniendo cuatro posibilidades entre ellas se encuentra mantenimiento de equipos y operaciones esta última área referido por la mala operación de los equipos.

Tipo de intervención.- En esta casillas se apertura tres posibilidades mantenimiento preventivo referido al propio mantenimiento preventivo planificado o también a las inspecciones a inicios de guardia, también se apertura la opción de mantenimiento correctivo programado que se refiere a actividades programados que se tienen que ejecutar que no estuvieron programados en el mantenimiento pero se deben de hacer para no comprometer la operatividad del equipo y correctivo no programado referido a las fallas del equipo ,y que deja inoperativo el equipo.

Horómetro. - Todos los equipos cuentan con un horómetro el cual son las horas de trabajo del equipo, con este registro se puede sacar indicadores de calidad tales como horas de uso después de la intervención o cuantificar las horas de uso de los sistemas antes de la falla u horas de uso de componentes.

Figura 32

Registro del estado del equipo.

Bienvenido: Julio Porras M Puesto: Mecánico

ESTADO INICIAL ▼

ESTADO FINAL OPERATIVO
INOPERATIVO

TIPO DE INTERVENCIÓN ▼

ÁREA RESPONSABLE ▼

HOROMETRO

MANTTO PREVENTIVO (MP)
MANTTO CORRECTIVO PROGRAMADO (CP)
MANTTO CORRECTIVO NO PROGRAMADO (CNP)

MANTENIMIENTO EQUIPOS
MANTENIMIENTO OVERHAUL
OPERACIONES
MEDIA TENSIÓN

Retornar Registrar

Nota: En la figura se muestra celdas condicionadas para evitar errores al momento de registra los datos. Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.2.2.5 Registro de la codificación de la parada del equipo.

En esta parte se registra la hora final de la intervención asimismo los sistemas, subsistemas, partes y modos de falla basado en la taxonomía ya definida.

Cada una de las celdas están condicionadas para evitar errores y también para una fácil ubicación de los todos los subsistemas, partes y modos de falla y que se muestra en la figura 33.

Finalmente, una vez registrado se pulsará la opción registrar para que todos los datos sean subidos a la nube y luego ser visualizados por las partes interesadas.

Figura 33

Registro codificación de la parada del equipo.

Nota: En la figura se muestra celdas condicionadas para el registro de los sistemas, subsistemas, partes y modos de falla. Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.2.2.6 Tratamiento de los datos.

Los datos serán registrados en la plataforma de Google sheets cada registro ingresará a una fila con columnas ya determinadas por títulos como se muestra en la tabla 09.

Responsable del cumplimiento. – El área responsable del cumplimiento será el área de planeamiento, el planificador de turno será el responsable de verificar si existe alguna desviación e informar para poder corregirlo en el momento.

Tabla 10

Estructuración de los datos.

FECHA DE GUARDIA	TURNO	EQUIPO	ÁREA RESPONSABLE	CODIGO OT	HOROMETRO	AFECTA DISP.	PARADA	SISTEMA	SUBSISTEMA	PARTE	MODO DE FALLA
3/5/2024	NOCHE	CAM-12	MANTENIMIENTO	CNP	49617	SI	1	SISTEMA_AIRE_Y_FREN	GRUPO_DE_SISTEMA_DE_AIRE	TANQUE DE AIRE	BAJA PRESION
3/5/2024	DIA	CAM-14	MANTENIMIENTO	CNP	51481	SI	1	SISTEMA_AIRE_Y_FREN	GRUPO_DE_FRENO_DE_SERVIC	VALVULA DIVERTER	NO ACCIONA

Nota: En la tabla se muestra la estructuración de los datos de ingreso presentado en columnas. Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.2.2.7 Visualización e interpretación de los datos fila 1.

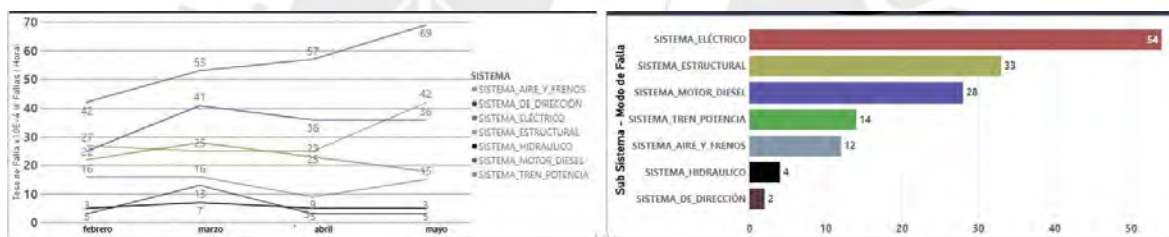
A continuación de la figura 34 se explicará el modo de la visualización de los datos y la interpretación de estos.

Visualización. - La grafica de la izquierda se muestra la tasa de fallas por sistemas y de la misma figura en la imagen de la derecha se muestra el número de paradas por sistema durante el mes en curso.

Interpretación. – En la línea de tendencia se puede visualizar la tasa de fallas de cada sistema y analizándolo como tendencia genera un panorama más claro sobre el impacto de la tasa de fallas por cada sistema en cada mes más aún si se relaciona con la gráfica de la derecha se puede visualizar la cantidad de fallas por cada sistema que va del mes, en estas dos graficas se puede concluir que el sistema eléctrico es el que impacta mes a mes en la confiabilidad de los equipos.

Figura 34

Sistemas prioritarios y eventos recurrentes.



Nota: En la figura se muestra la tendencia de los sistemas principales y los eventos recurrentes: Elaboración propia.

5.3.1.2.2.8 Visualización e interpretación de los datos fila 2.

A continuación de la figura 35 se explicará el modo de la visualización de los datos y la interpretación de estos.

Visualización. - Se puede visualizar los veinte eventos más recurrentes del subsistema relacionado con el modo de falla

Interpretación. –Identificar que subsistemas con modo de falla son los más recurrentes en los últimos tres meses, de esta manera se puede empezar a valorar aquellos subsistemas con mayores eventos.

Figura 35

Eventos recurrentes de los últimos 3 meses.



Nota: En la figura se muestra los 20 eventos más recurrentes en esta parte se relaciona los sistemas y el modo de falla. Elaboración propia.

5.3.1.2.2.9 Visualización e interpretación de los datos fila 3.

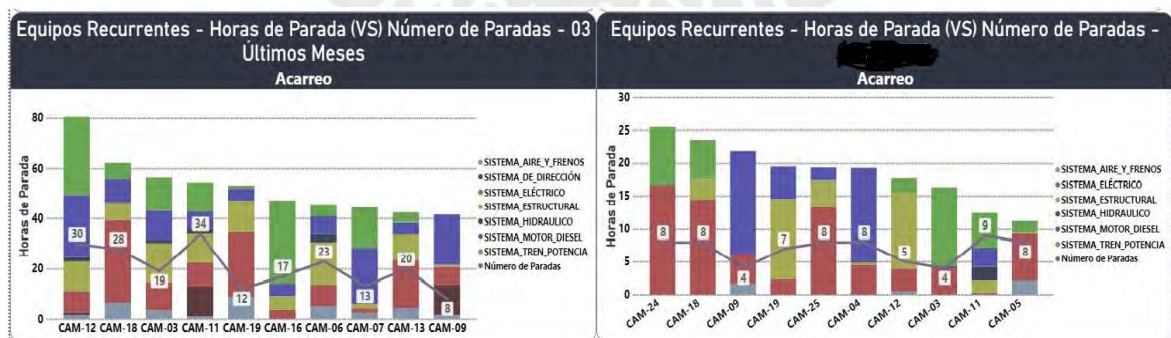
A continuación de la figura 36 se explicará el modo de la visualización de los datos y la interpretación de estos.

Visualización. - En la gráfica de la izquierda se puede visualizar las horas y número de paradas por equipos asimismo los colores nos indica las horas inoperativas por sistema esta grafica es de los últimos tres meses para ver los eventos más recurrentes, en la gráfica de la derecha se muestran los resultados del mes,

Interpretación. - Teniendo ambas graficas genera un mejor panorama de aquellos equipos que fallan con mayor frecuencia y también los sistemas con mayores eventos de los últimos tres meses y del mes en curso de esta manera se puede empezar a relacionar los equipos que tienen mayores eventos

Figura 36

Equipos con mayor número de paradas y horas inoperativas de tres meses y un mes.



Nota: En la figura se detalla los equipos con mayor número de paradas y horas inoperativas durante los tres meses y de un mes con el objetivo de hallar equipos recurrentes en fallas. Elaboración propia.

5.3.1.2.2.10 Visualización e interpretación de los datos fila 4.

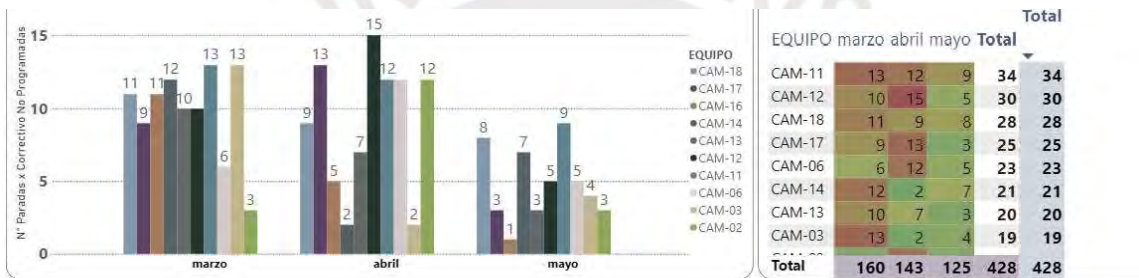
A continuación de la figura 37 se explicará el modo de la visualización de los datos y la interpretación de estos.

Visualización. - En la gráfica de la izquierda se muestra los equipos con mayor frecuencia de fallas por cada mes y en la gráfica de la derecha la cantidad de paradas por equipos y en cada mes

Interpretación. - Con estas dos graficas se puede identificar que equipos tiene la mayor cantidad de paradas en cada mes y como impacta al performance de la flota de camiones.

Figura 37

Equipos con mayor número de paradas en los últimos tres meses.



Nota: En la figura se muestra los equipos con el mayor número de paradas presentado en barras y en números para identificar equipos recurrentes. Elaboración propia.

5.3.1.3 Paso 3: Capacitar al personal técnico y operativo sobre el registro de intervenciones.

El personal técnico de mantenimiento y operativo deben de estar capacitados para el llenado de los reportes basado en la estructura ya definida de la taxonomía. Asimismo, es importante también que todos los campos del reporte estén correctamente registrados.

En el desarrollo de la capacitación que se detalla en la tabla 10 líneas abajo está comprendido lo siguiente:

- Fecha de inicio de la capacitación. - Comprende la fecha de inicio y fin de la capacitación que tiene como objetivo prever los recursos y asegurar la participación de personal.

- Responsable de cumplimiento de cada actividad. – Las diferentes actividades tienen que ser supervisadas con el fin de asegurar la participación de los capacitadores y de los recursos, materiales y control de la participación de los participantes
- Responsable de la capacitación. - En este punto es necesario detallar la empresa y el nombre del capacitador, en caso sea el mismo personal de la empresa se deberá de indicar. Basado en la experiencia en el rubro minero la identificación de los sistemas y partes estará a cargo del proveedor Ferreyros y en lo que refiere a llenado de reporte estará a cargo de jefe de confiabilidad de la empresa contratista.
- Tema para desarrollar. – Los temas que se desarrollaran están enfocados a la taxonomía de los equipos y el correcto llenado de los reportes de intervenciones.
- Objetivos de la capacitación. - Es lo que desea lograr al final de la capacitación impartida.
- Recursos necesarios. – Para que cada uno de los temas desarrollados por el capacitador lleguen a ser entendidos es necesario contar con los recursos adecuados en este caso es necesario proveer los equipos multimedia tales como proyectores de imágenes, parlantes en una sala de capacitación previamente preparada asimismo el recurso que se está solicitando es la disponibilidad de un equipo camión minero para que los participantes puedan interactuar y poder resolver dudas.
- Observaciones. - Con el objetivo de no afectar la operación con la disminución de las horas hombre en esta columna se indica los turnos disponibles ya sea de mañana o tarde.
- Por último, se detalla las horas de la capacitación por cada tema a desarrollar y la cantidad máxima de participantes por turnos.

El objetivo de esta capacitación sistemática es que todos los colaboradores técnicos y operativos estén entrenados en el correcto llenado de los reportes, teniendo un conocimiento técnico más detallado de todas las partes y sumado a los conceptos de mantenimiento

Por último, al tener datos más confiables y estructurados se logrará tomar decisiones más acertadas tanto operativas como estratégicas.

Tabla 11

Desarrollo de la capacitación.

Área	Responsable del cumplimiento	Empresa Capacitador	Tema a desarrollar	Objetivos de la capacitación	Recursos necesarios	Observaciones	Nro Horas	Turno Mañana	Turno Tarde	Nro Total de Personas
Mantto equipos	Jefe de Calidad equipos	Ferreyros	Examen de conocimientos	Identificar oportunidades de mejora en los participantes	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	4	10	10	20
Mantto equipos	Jefe de Calidad equipos	Ferreyros	Sistemas principales de camión 785	Identificar los sistemas del equipo	Sala de capacitación multimedia Equipo camión minero	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	4	10	10	20
Mantto equipos	Jefe de Calidad equipos	Ferreyros	Sistema de motor, eléctrico, tren de potencia e hidráulico	Identificar los subsistemas y partes de motor, eléctrico, tren de potencia e hidráulico	Sala de capacitación multimedia Equipo camión minero	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	4	10	10	20
Mantto equipos	Jefe de Calidad equipos	Jefe de confiabilidad	Llenado de reporte	Correcto llenado del reporte	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	4	10	10	20
Mantto equipos	Jefe de Calidad equipos	Jefe de confiabilidad	Llenado de reporte	Correcto llenado del reporte	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	4	10	10	20
Mantto equipos	Jefe de Calidad equipos	Jefe de confiabilidad	Llenado de reporte	Correcto llenado del reporte	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	4	10	10	20

Nota: En la tabla se muestra la estructuración de la capacitación y se detalla los recursos necesarios. Elaboración propia.

5.3.1.4 Paso 4: Análisis e interpretación de los datos.

Para poder analizar los datos es necesario que nos apoyemos con herramientas muy útiles para la toma de decisiones, en este caso utilizaremos el Jack knife, análisis de supervivencia y AMEF.

5.3.1.4.1 Matriz de priorización de equipos usando Jack Knife.

Con el diagrama Jack Knife se mostrara los equipos que estén sobre el promedio de indisponibilidad representado por una alta tasa de fallas y un alto tiempo de reparación con el objetivo de analizar las causas, con los datos del año 2023 se obtuvo los siguientes datos que se presentan en la tabla 11 en el cual se detalla los equipos, número de paradas solo por fallas, tiempo de reparación, tiempo medio de reparación (MTTR), tiempo medio entre fallas (MTBF), tasa de fallas, Indisponibilidad, disponibilidad mecánica y la comprobación de estos dos últimos valores que debe de ser igual siempre a uno.

Tabla 12

Datos para realizar el diagrama Jack Knife.

DATOS INICIALES				CALCULO				
Equipo	Número Paradas por Fallas [A]	Tiempo paradas F (Hrs) [B]	MTTR _(Hrs) [C]	MTBF	Tasa Fallas	No Disponibilidad	Disponibilidad	Comprobación
				$\frac{\text{HrsParada}}{F}$ [A]	$\frac{1}{\text{MTBF}}$ [E]			
CAM-01	131	567	4.3	59	0.017	0.08	0.92	1.0
CAM-02	131	566	4.3	63	0.016	0.08	0.92	1.0
CAM-03	117	365	3.1	57	0.018	0.05	0.95	1.0
CAM-04	152	1298	8.6	46	0.022	0.18	0.82	1.0
CAM-05	215	1739	8.1	32	0.031	0.24	0.76	1.0
CAM-06	155	583	3.8	51	0.020	0.08	0.92	1.0
CAM-07	203	1515	7.5	39	0.026	0.21	0.79	1.0
CAM-08	191	1316	6.9	37	0.027	0.18	0.82	1.0
CAM-09	215	873	4.1	37	0.027	0.12	0.88	1.0
CAM-10	149	823	5.5	41	0.024	0.11	0.89	1.0
CAM-11	171	1134	6.6	58	0.017	0.16	0.84	1.0
CAM-12	138	1162	8.4	78	0.013	0.16	0.84	1.0
CAM-13	170	915	5.4	43	0.023	0.13	0.87	1.0
CAM-14	126	634	5.0	79	0.013	0.09	0.91	1.0
CAM-15	168	840	5.0	42	0.024	0.12	0.88	1.0
CAM-16	137	882	6.5	67	0.015	0.12	0.88	1.0
CAM-17	212	1148	5.4	33	0.031	0.16	0.84	1.0
CAM-18	173	970	5.6	42	0.024	0.13	0.87	1.0
CAM-19	171	709	4.1	58	0.017	0.10	0.90	1.0
CAM-20	159	885	5.6	46	0.022	0.12	0.88	1.0
CAM-21	165	1562	9.5	46	0.022	0.22	0.78	1.0
CAM-22	138	625	4.5	62	0.016	0.09	0.91	1.0
CAM-23	171	833	4.9	38	0.026	0.12	0.88	1.0
CAM-24	135	683	5.1	58	0.017	0.09	0.91	1.0
CAM-25	203	1260	6.2	35	0.028	0.18	0.82	1.0
CAM-26	179	1507	8.4	34	0.030	0.21	0.79	1.0
CAM-27	150	577	3.8	51	0.020	0.08	0.92	1.0
CAM-28	173	992	5.7	40	0.025	0.14	0.86	1.0
CAM-29	152	1850	12.2	41	0.024	0.26	0.74	1.0
RESULTADO	4742	28812.7	6.1	44.0	0.0227	0.138	0.86	1.0

Nota: En la tabla se muestra el cálculo de la tasa de falla, la disponibilidad y la indisponibilidad datos básicos para realizar el diagrama de Jack Knife. Fuente: Elaboración propia

Se procede a tomar los resultados de la figura 10 de la parte superior para poder realizar el diagrama de correlación, para hallar la recta de tasa de falla en el eje X se considera la tasa de falla y en el eje Y su escala correspondiente.

Para hallar la recta del MTTR en el diagrama de correlación en el eje X se coloca la escala y en el eje Y el resultado de MTTR.

Por último, para hallar la recta de la indisponibilidad o no disponibilidad en el diagrama de correlación en el eje X se considera la escala de 0.01 y 0.04 y en el eje Y la división de la no disponibilidad es decir 0.138 entre la escala de 0.01 y 0.04 tal como se muestra en la tabla 12.

Tabla 13

Correlación de datos.

Media	Eje X	Eje Y
Tasa de Falla	0.0227	1
	0.0227	50
MTTR	0.01	6.1
	0.04	6.1
No-Disponibilidad	0.01	13.8
	0.04	3.4

Nota: En la tabla se muestra la relación de los datos del eje x e y para hallar las rectas de la tasa de fallas, tiempo medio de reparación y la indisponibilidad. Fuente: Elaboración propia

Por último, en la tabla 13 se realiza el diagrama de correlación de la tasa de fallas y el MTTR de todos los equipos con el objetivo de identificar los valores que están fuera de los parámetros.

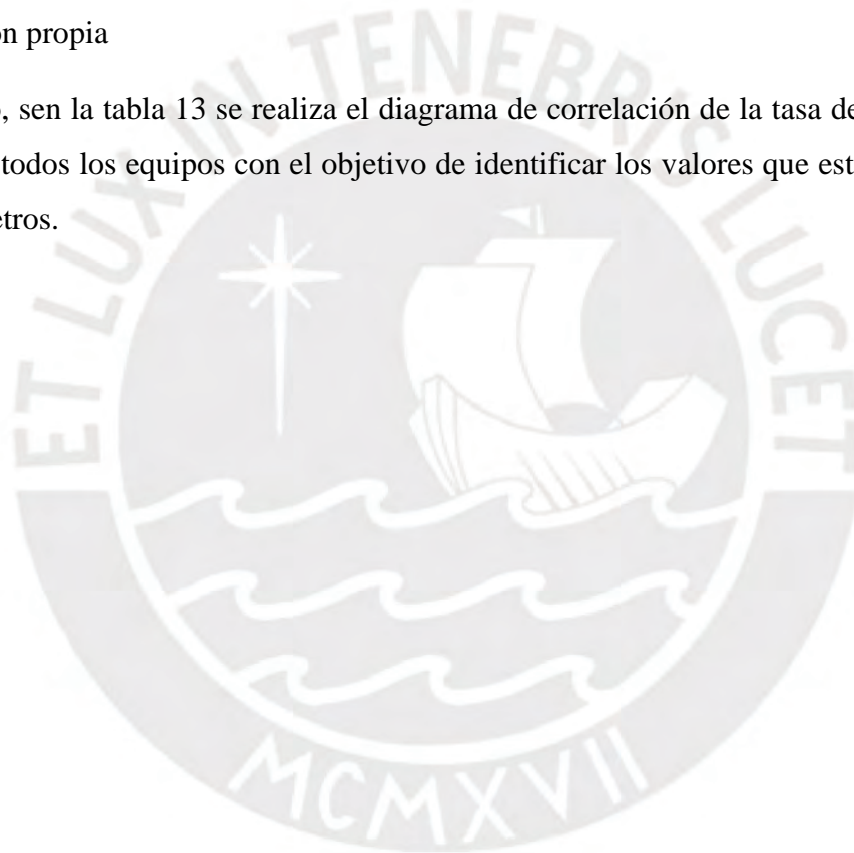


Tabla 14

Tasa de fallas y MTTR.

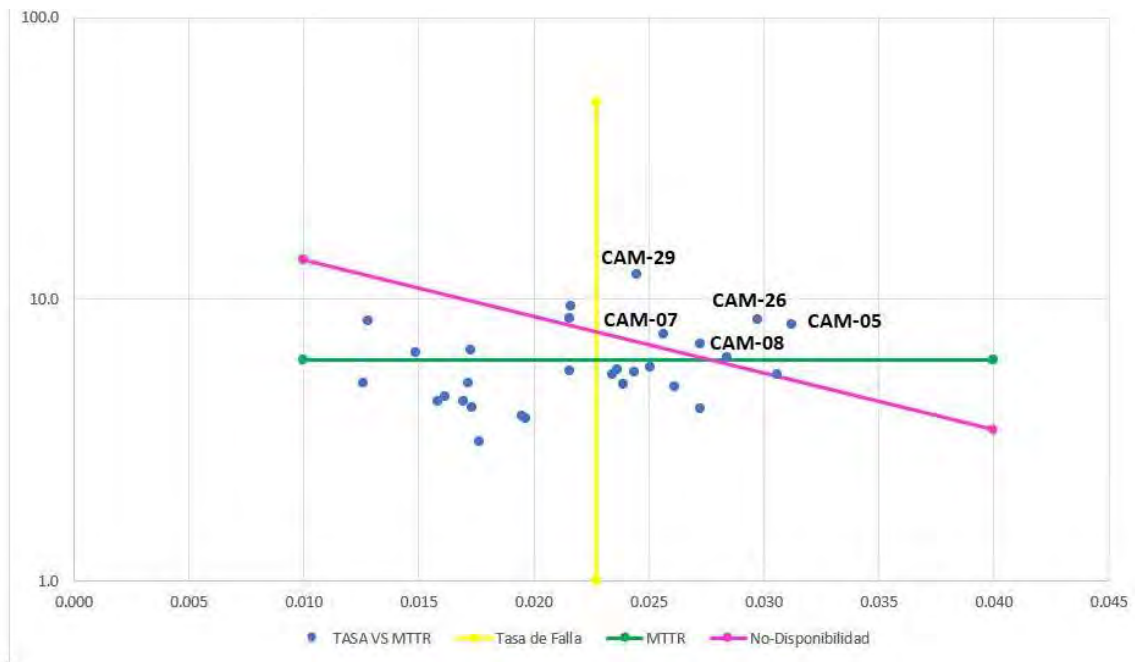
Equipo	Tasa Fallas	MTTR _F (Hrs) (t)
CAM-01	0.017	4.3
CAM-02	0.016	4.3
CAM-03	0.018	3.1
CAM-04	0.022	8.6
CAM-05	0.031	8.1
CAM-06	0.020	3.8
CAM-07	0.026	7.5
CAM-08	0.027	6.9
CAM-09	0.027	4.1
CAM-10	0.024	5.5
CAM-11	0.017	6.6
CAM-12	0.013	8.4
CAM-13	0.023	5.4
CAM-14	0.013	5.0
CAM-15	0.024	5.0
CAM-16	0.015	6.5
CAM-17	0.031	5.4
CAM-18	0.024	5.6
CAM-19	0.017	4.1
CAM-20	0.022	5.6
CAM-21	0.022	9.5
CAM-22	0.016	4.5
CAM-23	0.026	4.9
CAM-24	0.017	5.1
CAM-25	0.028	6.2
CAM-26	0.030	8.4
CAM-27	0.020	3.8
CAM-28	0.025	5.7
CAM-29	0.024	12.2

Nota: En la tabla se muestra la tasa de fallas y el MTTR para realizar el diagrama de correlación. Fuente: Elaboración propia

En la figura 38, se presenta el diagrama Jack Knife en el cual se puede identificar a aquellos equipos que sobrepasan el promedio con una tasa de fallas y un alto tiempo medio de reparación.

Figura 38

Diagrama de Jack Knife para equipos.



Nota: En la figura se muestra el diagrama de Jack knife donde se identifica equipos como el CAM05, CAM26 con una alta tasa de fallas e indisponibilidad. Fuente: Elaboración propia

5.3.1.4.2 Matriz de priorización de sistema de los equipos usando Jack Knife

De la misma manera en la tabla 14 realizamos un diagrama Jack Knife para poder identificar los sistemas que han representado la mayor indisponibilidad.

Tabla 15

Cálculo de los sistemas críticos.

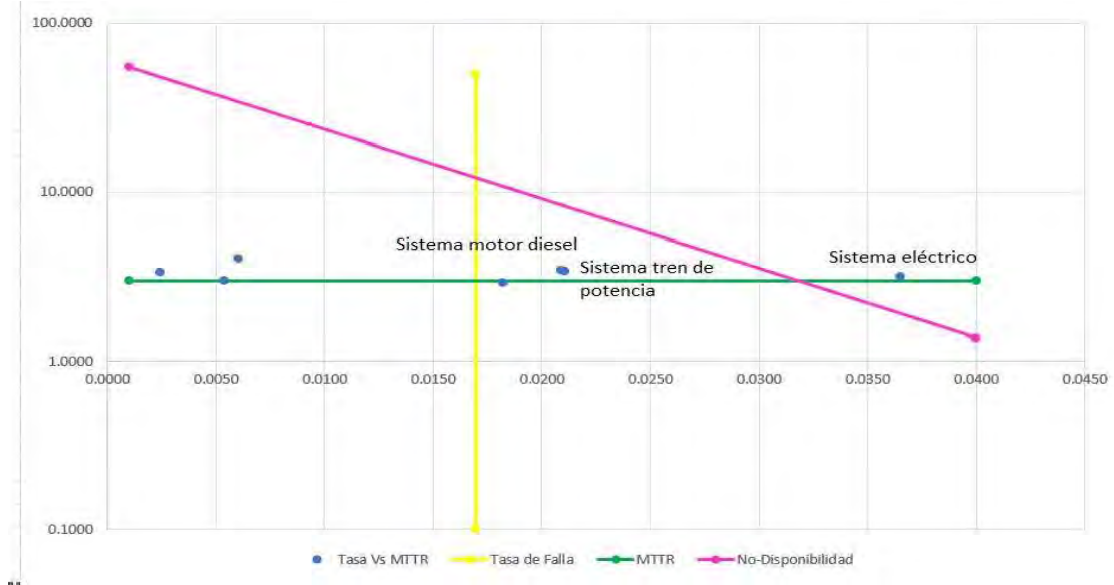
Sistema	DATOS INICIALES			CALCULO				
	Número Paradas por Fallas [A]	Tiempo paradas F (Hrs) [B]	MTTR (Hrs) [C]	MTBF HrsParadaF [A] [D]	Tasa Fallas $\frac{1}{MTBF}$ [E]	No Disponibilidad	Disponibilidad	Comprobación
SISTEMA_AIRE_Y_FRENOS	193	778	4.0	166	0.0060	0.11	0.89	1.0
SISTEMA_DE_DIRECCIÓN	78	262	3.4	410	0.0024	0.04	0.96	1.0
SISTEMA_ELÉCTRICO	1168	3689	3.2	27	0.0365	0.51	0.49	1.0
SISTEMA_ESTRUCTURAL	584	1704	2.9	55	0.0183	0.24	0.76	1.0
SISTEMA_HIDRAULICO	172	517	3.0	186	0.0054	0.07	0.93	1.0
SISTEMA_MOTOR_DIESEL	669	2296	3.4	48	0.0209	0.32	0.68	1.0
SISTEMA_TREN_POTENCIA	674	2282	3.4	47	0.0211	0.32	0.68	1.0
RESULTADO	3538.0	11528.7	3.3	59.0	0.0169	0.055	0.94	1.0

Nota: En la tabla 13 se muestra los cálculos para hallar la indisponibilidad, tasa de fallas y el tiempo medio de reparación. Fuente: Elaboración propia

Según los datos se muestra el resultado en el diagrama Jack knife mostrado en la figura 39 donde se evidencia que el sistema eléctrico es que presenta una alta indisponibilidad, y una alta tasa de fallas y un tiempo de reparación mayor al promedio.

Figura 39

Diagrama de Jack Knife para sistemas.



Nota: En la figura se muestra los sistemas con una alta tasa de fallas, tiempo medio de reparación e indisponibilidad donde se evidencia que el sistema eléctrico es el sistema con mayor relevancia. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se identifica que el sistema eléctrico es el que tiene una alta tasa de fallas e indisponibilidad se realiza un análisis más detallado a los subsistemas que están presentando mayores eventos de falla e indisponibilidad.

Basado en esto se muestra en la figura 40 al subsistema con una alta tasa de falla e indisponibilidad que es el sistema eléctrico de aire acondicionado.

Como se puede verificar la parte que está presentando mayores eventos de parada y un alto tiempo de reparación es el compresor que pertenece al subsistema del aire acondicionado y al sistema eléctrico.

5.3.1.4.3 Análisis de supervivencia de los datos

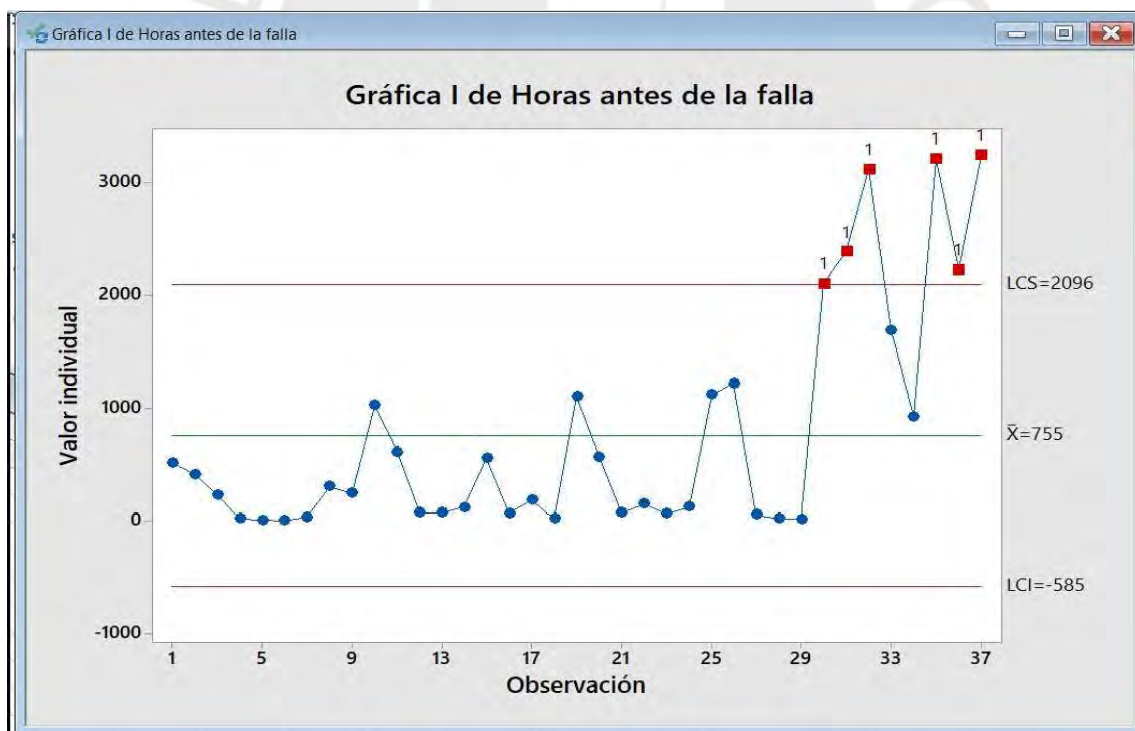
Para entender el comportamiento de los datos es necesario realizar una prueba de supervivencia de los datos y entender cuántas horas de uso continuo pueden tener estos compresores antes de la falla, con el objetivo de implementar técnicas de mantenimiento y evitar la falla de esta parte o componente.

El cálculo inicial consistirá en determinar las horas de uso del compresor antes de la falla y para el cálculo nos apoyaremos del software Minitab.

Antes de todo se debe analizar los datos para identificar los datos atípicos, en la figura 42 se observa que 6 datos son atípicos porque superan el límite superior.

Figura 42

Identificación de datos atípicos.

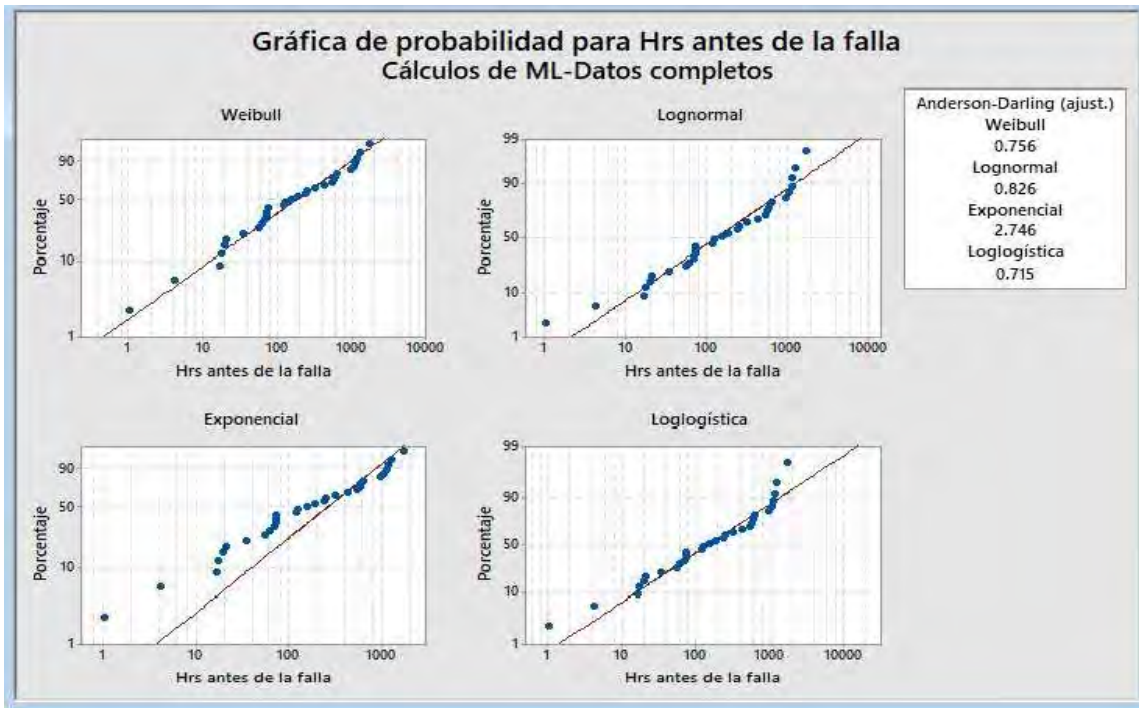


Nota: En la figura 41 se observa que seis datos son atípicos y estos no ingresan al cálculo del análisis. Fuente: Elaboración propia.

Con el resultado obtenido se observa en la figura 43 que el modelo que más se ajusta a valor 1 es log normal con valor de 0.826.

Figura 43

Cálculo de modelo para el análisis.

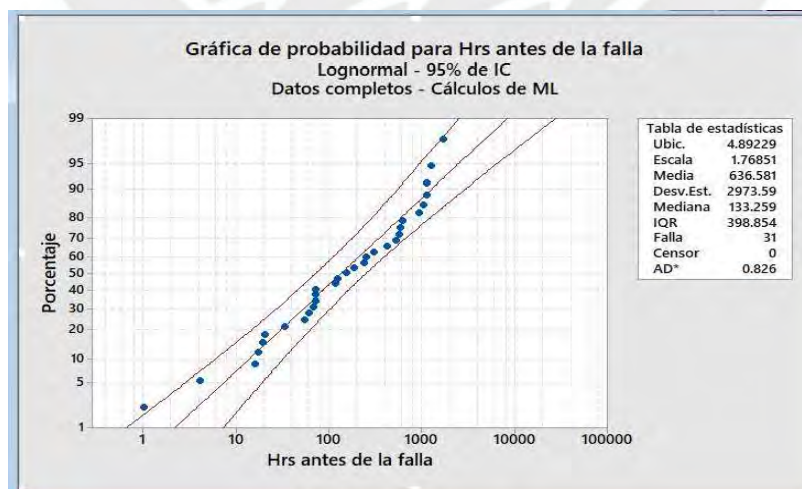


Nota: En la figura se observa cuatro modelos para el análisis de supervivencia, pero solo se considera al que se aproxima a la unidad. Fuente: Elaboración propia.

Basado en este el modelo que más se ajusta es la Log normal y procedemos a realizar el cálculo de la supervivencia de los datos, el resultado se muestra en la figura 44.

Figura 44

Grafica de probabilidad antes de la falla.



Nota: En la figura se muestra la distribución de los datos según el modelo Log Normal.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados que se muestran en la tabla 15 líneas abajo indican el porcentaje que se entiende como la probabilidad de fallar según las horas de uso del componente, por ejemplo, en la columna con porcentaje con valor 1 se puede interpretar como existe una probabilidad de 99% que el componente no fallara en 2 horas con un límite mínimo de 0.6 horas y un límite superior de 7.2 horas.

Basado en esto para poder asegurar un 60 % de confiabilidad en el componente el resultado me indica que el valor que se espera es de 85 horas con un límite inferior de 45 y un límites superior de 160 horas, entonces se puede interpretar que el componente o sistema debe de tener una alerta al llegar a las 85 horas y realizar una inspección a este componente.

Tabla 16

Cálculo del límite superior e inferior.

Porcentaje	Hrs antes de la falla	Límite inferior	Límite superior
1	2.17736	0.656816	7.21800
2	3.52616	1.17646	10.5688
3	4.78786	1.69926	13.4903
4	6.02658	2.23775	16.2304
5	7.26702	2.79667	18.8830
6	8.52202	3.37854	21.4959
7	9.79954	3.98502	24.0980
8	11.1051	4.61736	26.7086
9	12.4429	5.27663	29.3417
10	13.8163	5.96380	32.0082
20	30.0804	14.5766	62.0740
30	52.7140	27.1373	102.397
40	85.1355	45.2309	160.245
50	133.259	71.5030	248.351
60	208.583	110.817	392.604
70	336.871	173.422	654.371
80	590.347	286.075	1218.24
90	1295.28	554.790	2977.61
91	1427.15	605.209	3365.38
92	1599.07	664.875	3845.89
93	1812.11	736.902	4456.15
94	2083.76	826.103	5256.07
95	2443.62	940.414	6349.64
96	2946.59	1094.11	7935.58
97	3708.94	1316.34	10450.3
98	5036.03	1680.22	15094.3
99	8155.67	2460.22	27036.2

Nota: En la tabla se muestra el porcentaje y los límites superior e inferior en base al modelo de Log Normal: Elaboración propia.

5.3.1.5 Análisis de modo y efectos de falla AMEF

En esta parte se utilizará el AMEF para proponer planes de mejora sobre los modos de falla que se logró identificar, asimismo con el análisis de supervivencia ya realizado se puede determinar las horas en la cual los componentes o partes del subsistema aire acondicionado pueden ser inspeccionados con el fin de evitar las paradas inesperadas por falla de estos componentes del sistema eléctrico.

A continuación, se detalla cada una de las columnas:

- Componente

Las partes o componentes con los mayores eventos de fallas fueron el compresor y condensador de aire acondicionado.

- Función

Se detalla las funciones de estos dos componentes y lo importante de estos para la función final del sistema de AC que es la generar confort en la operación del equipo.

- Modo de falla

Se detalla los modos de falla de los dos componentes identificados en el análisis previo,

- Efecto de la falla

Los efectos por la falla de estos componentes pueden traer como consecuencia la parada del equipo por presentar una condición subestándar por las altas temperaturas que se producen en el interior de la cabina del operador.

- Severidad

En este punto se coloca valor de 7 por la degradación de la función principal como se muestra en el anexo 03.

- Ocurrencia

Las ocurrencias por falla de estos componentes son altas y la valoración en este caso es de 9 puntos tal como se muestra en la tabla 16.

Tabla 17

Criterio de evaluación para la ocurrencia.

Likelihood of Occurrence	Criteria: Possible Failure Rates/ Mean Time Between Failure (MTBF)	Rating
Very High	Intermittent operation resulting in 1 failure in 10, or MTBF of less than 1 hour	10
Very High	Intermittent operation resulting in 1 failure in 100 production pieces or MTBF of 2 to 10 hours	9
High	Intermittent operation resulting in 1 failure in 1000 production pieces or MTBF of 11 to 100 hours	8
High	Intermittent operation resulting in 1 failure in 10,000 production pieces or MTBF of 101 to 400 hours	7
Moderate	MTBF of 401 to 1000 hours	6
Moderate	MTBF of 1001 to 2000 hours	5
Moderate	MTBF of 2001 to 3000 hours	4
Low	MTBF of 3001 to 6000 hours	3
Low	MTBF of 6001 to 10,000 hours	2
Remote	MTBF greater than 10,000 hours	1

Nota: En la tabla se muestra que el puntaje de 9 corresponde a un MTBF de 2 a 10 horas. Fuente: Ford Production system (1996).

- Controles actuales.

Actualmente no existen controles orientados al mantenimiento integral de este sistema, en los programas de mantenimiento por frecuencia solo se visualiza la actividad de pruebas funcionamiento del sistema de AC y no especifica mayor detalle

- Detectabilidad

Actualmente no existen controles específicos sobre los componentes del sistema de aire acondicionado, basado en esto se coloca un valor de 10 como se muestra en el anexo 04.

- Valor RPN antes

Basado en los puntajes obtenidos de S=7, O=9 y D=10 se tiene un valor de 630 considerado de alto riesgo y de deben de tomar medidas preventivas.

- Acciones recomendadas

Se realiza recomendaciones para dar una mayor confiabilidad a los dos componentes como inspecciones basadas en toma de parámetros en caso del compresor a una frecuencia de 125 horas basado en el análisis de supervivencia, asimismo la inspección a los condensadores a la misma frecuencia en horas

- Valor RPN actual

Con estas acciones recomendadas el nuevo valor seria S=2, O=1 y D=2 obteniendo un valor de 4 siendo un valor de bajo riesgo.

A continuación, se presenta en la tabla 17 el análisis AMEF indicando los valores obtenidos antes y después de las acciones recomendadas.

Tabla 18

Tabla de análisis de modo de falla y efectos AMEF.

Sistema	Sistema Eléctrico	Responsable del diseño	Empresa en estudio	Número de FMEA	Diseño de FMEA 001
Subsistema	Sistema eléctrico de AC	Fecha próxima revisión	26 de Diciembre 2024	Página	1 De 1
Parte	Compresor y condensador			Preparado por	Edson Gutierrez A
Proyecto	Alto número de paradas por falla de compresor y condensador de AC			Fecha de análisis para FMEA	02 de Enero al 30 de Diciembre de 2023
Equipo de trabajo	Jefe de mantenimiento, jefe de confiabilidad, supervisor de mantenimiento, supervisor de confiabilidad.				

Sub-Sistema	Componente / Elemento	Función	Modo de Falla	Efecto de la falla	Severidad	Clasificación	Ocurrencia (O)	Controles actuales de Prevención "Como evitamos que la falla se presente"?	Detectabilidad (D)	RPN (S x O x D)	Acciones recomendadas	Fecha	Acciones Tomadas	Severidad	Ocurrencia (O)	Detectabilidad (D)	RPN (S x O x D)
Sistema de Aire Acondicionado	Compresor 46%	Su función principal es aumentar la presión y la temperatura del refrigerante gaseoso circulante en el sistema	Baja presión del sistema y no acciona el compresor	Perdida de capacidad de enfriamiento del sistema de AC parada de equipo por condición sub estándar.	7		9	No existe estrategia definida para verificar la presión de gas del sistema de AC	10	630	1.- La recarga de gas debe de realizarse siguiendo los procedimientos establecidos para asegurar la confiabilidad del componente.	1/1/2023	Realizar inspecciones y verificar las presiones de carga del sistema de AC cada 125 horas en cada equipo.	2	1	2	4
	Condensador 24%	Su función principal es liberar el calor absorbido del interior de un espacio, ayudando así a mantener una temperatura fresca y cómoda en el interior.	Saturación por contaminación externa (polvo), fugas de líquido refrigerante.					No existe un plan de mantenimiento definido.			1.- Realizar inspecciones en campo y realizar limpiezas periódicas de los condensadores		Limpieza de los condensadores cada 125 horas				

Nota: En la tabla se muestra que un valor RPN de 630 y con los planes y acciones se baja a un RPN de valor de 4 . Fuente: Ford Production system (1996).

5.3.1.5.1 Implementación de los resultados del AMEF.

5.3.1.5.1.1 Cartillas de inspección.

Basado en el AMEF se presenta la cartilla de inspección y los trabajos preventivos a realizar en cada uno de los componentes del sistema de aire acondicionado, en las actividades de inspección del compresor se incluye pruebas básicas con el objetivo de asegurar una alta confiabilidad del sistema, asimismo se incluye trabajos preventivos para el condensador como inspecciones y limpiezas periódicas.

Asimismo, el formato que se presenta busca identificar fallas en el sistema y según se vaya completando las pruebas el personal de mantenimiento colocara un check en la ejecución asimismo colocara si existe alguna observación en cada actividad de mantenimiento y por último la firma de todos los involucrados en el proceso de inspección del sistema, esto sirve para dar la conformidad del servicio.

Por ultimo las cartillas de inspección serán revisados por el supervisor de mantenimiento y serán procesados por el área de planeamiento y se creara ordenes de trabajo si se dejó de hacer algún trabajo o si se encontró alguna observación y poder tomar acciones necesarias antes de la falla del sistema de aire acondicionado.

Líneas abajo se muestra la tabla 18 donde se muestra los campos a marcar y llenar.

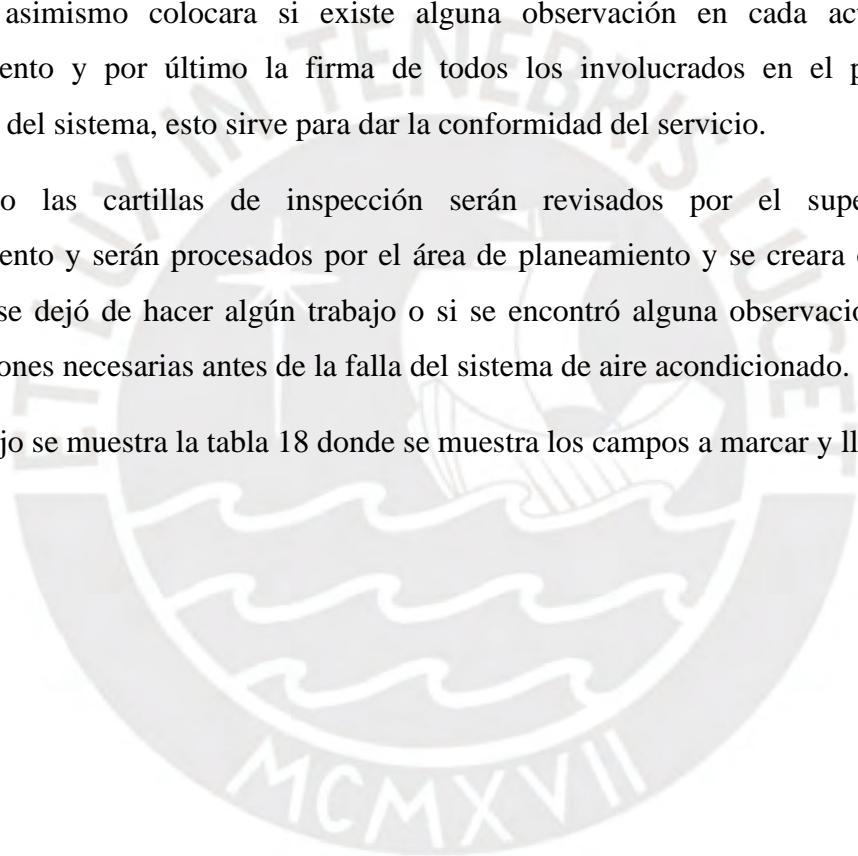


Tabla 19

Cartilla de inspección del sistema de aire acondicionado.

CARTILLA DE INSPECCIÓN			
SERVICIO DE INSPECCIÓN			ot. <input type="text"/>
HOROMETRO :			
FECHA:			
DATOS DE EQUIPO			
CODIGO	DESCRIPCION	MARCA	MODELO
	CAMIÓN MINERO	CAT	785
TAREAS A REALIZAR			
1.- SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO			Ejecutado
			SI NO
Verificar funcionamiento del sistema de AC			
Revisar las tuberías y abrazaderas del sistema de AC.			
Identificar fugas de gas refrigerante			
2.- SISTEMA COMPRESOR DE AIRE ACONDICIONADO			Ejecutado
			SI NO
Revolucionar el motor a 1000 RPM			
Verificar rango de presión del sistema de AC			
Verificar presión lado bajo de 15 a 30 PSI			
Verificar presión lado alto de 150 a 220 PSI			
Verificar una temperatura en cabina en un rango de 16 a 22 C			
Verificar que exista lubricación en el sistema			
3.- SISTEMA DE CONDENSADOR			Ejecutado
			SI NO
Verificar estado de los soportes de anclaje			
Inspeccionar y limpiar panel intercambiador de calor			
Inspeccionar que no exista fugas de refrigerante			
Inspeccionar estado de mangueras o abrazaderas.			
Verificar que exista lubricación en el sistema			
<i>Observaciones encontradas</i>			
OBSERVACIONES			

Firma operador		Firma Tecnico-Proyecto	
Firma Supervisor			

Nota: En la tabla se muestra los campos a inspeccionar del sistema de aire acondicionado, del sistema de compresor de aire y de sistema de condensador. Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.5.1.2 Tiempo para la ejecución de los trabajos de inspección

Para realizar estos trabajos es necesario identificar el tiempo y la cantidad de técnicos por cada actividad, las actividades principales están divididas en tres grupos y no necesariamente se tiene que realizar todas estas actividades en el mismo momento la cartilla está diseñada para realizar trabajos por grupos aprovechando las ventanas de oportunidades como la hora de almuerzo u horarios de voladura, en tal tabla 19 se muestra el desarrollo de estas actividades.

- Inspección sistema de aire acondicionado

Las actividades están enfocadas a verificar el correcto funcionamiento del sistema en la cabina del operador que el sistema de aire sea capaz de enfriar la cabina además de actividades como inspeccionar tuberías e identificar fugas de refrigerante, para esta actividad se requiere de 1 personal de mantenimiento eléctrico con experiencia en el desarrollo de esta actividad, los tiempos de ejecución es de aproximado de 1 hora donde el mayor tiempo está enfocado a tareas de inspección esto por el tamaño del circuito.

- Inspección de compresor de aire acondicionado

Los tiempos de ejecución de este componente es un total de 1.1 horas con la participación de un técnico electricista la actividad que tiene un mayor tiempo de ejecución es la verificación del rango de presión del refrigerante, si las presiones no están en el rango se debe de recargar e inspeccionar posibles fugas del sistema.

- Inspección del condensador del aire acondicionado

Este conjunto de actividades tendrá un total de 1 hora, la actividad de mantenimiento que demora un poco más es la de inspeccionar y limpiar los intercambiadores de calor esto por la alta concentración de polvo que se presenta en el medio ambiente y la cantidad de técnicos en total será de un técnico electricista.

Tabla 20

Tiempo y cantidad de técnicos por cada actividad.

1.- SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO		Tiempo de ejecución	Cantidad de técnicos
Verificar funcionamiento del sistema de AC en cabina		0.1	1
Revisar las tuberías y abrazaderas del sistema de AC.		0.5	1
Identificar fugas de gas refrigerante		0.5	1
	Total	1.1	1
2.- SISTEMA COMPRESOR DE AIRE ACONDICIONADO		Tiempo de ejecución	Cantidad de técnicos
Revolucionar el motor a 1000 RPM		0.1	1
Verificar rango de presión del sistema de AC		0.5	1
Verificar presión lado bajo de 15 a 30 PSI		0.1	1
Verificar presión lado alto de 150 a 220 PSI		0.1	1
Verificar una temperatura en cabina en un rango de 16 a 22 C		0.1	1
Verificar que exista lubricación en el sistema		0.2	1
	Total	1.1	1
3.- SISTEMA DE CONDENSADOR		Tiempo de ejecución	Cantidad de técnicos
Verificar estado de los soportes de anclaje		0.2	1
Inspeccionar y limpiar panel intercambiador de calor		0.3	1
Inspeccionar que no exista fugas de refrigerante		0.1	1
Inspeccionar estado de mangueras o abrazaderas.		0.2	1
Verificar que exista lubricación en el sistema		0.2	1
	Total	1.0	1

Nota: En la tabla se indica el tiempo por cada actividad y la cantidad de técnicos por cada uno de estos. Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.5.1.3 Calculo de cantidad de personal de mantenimiento.

Para realizar todos los trabajos de mantenimiento sean preventivos o correctivos se requiere de mano de obra en este caso de personal técnico mecánico y eléctrico, para poder hallar la cantidad de técnicos hallaremos el MR (Maintenance ratio) usando la siguiente formula que se muestra en la figura 45.

Figura 45

Fórmula para el cálculo del MR

$$MR = \frac{\text{Horas hombre de mantenimiento \& reparación}}{\text{Horas máquina trabajadas}}$$

Nota: En la figura se muestra la fórmula para el cálculo del MR (Maintenance Ratio) donde el numerador son las horas hombre por mantenimiento y reparación y el denominador son las horas trabajadas del equipo. Fuente: Elaboración propia.

Para poder hallar las horas hombre de mantenimiento y de reparación calcularemos las actividades que se hacen en un tiempo de 570 horas de trabajo del equipo. En la tabla presentada se detalla cada actividad tales como el de mantenimiento preventivo (PM1, PM2, PM3), inspecciones y mantenimiento correctivo además de detalla las horas, frecuencia y numero de técnicos y de esta manera calculamos las horas hombre al mes.

Como se muestra en la tabla 20 el total de horas hombre de mantenimiento y reparación es de 351.8 horas y las horas máquina de 570 realizamos la división y obtenemos un MR de 0.62.

Tabla 21

Cálculo de MR.

Tipo de actividad	Horas	Frecuencia Mes	Nro técnicos	HH Mes
PM1 - 250	8	1	3	24
PM2 - 500	12	1	4	48
PM3 - 1000	18	1	4	72
Inspección sistema de AC	3.2	4	1	12.8
Mantenimiento Correctivo	65		3	195
Total Horas hombre de mantenimiento y reparación				351.8
Hora maquina trabajada				570
MR				0.62

Nota: En la tabla se detalla las actividades de mantenimiento, las horas, frecuencia y cantidad de técnicos durante las horas de operación programadas del equipo. Fuente: Elaboración propia.

El MR tiene un resultado de 0.62 comparado con los parámetros establecidos por fabrica estamos con un desempeño pobre tal como muestra en la tabla 20, esto nos indica que solo se programa los mantenimientos preventivos y la demás gestión está basado en mantenimientos reactivos.

Tabla 22

Tabla comparativa de MR del valor obtenido y el recomendado.

Relación de Mantenimiento: Evaluaciones / Características	Rango de la maquina	
	785-793	797
Excelente: alto porcentaje de tiempo de inactividad programado; la gestión del equipo, la organización es altamente proactiva.	0.30 -0.35	0.45 -0.50
Aceptable: la mayor parte del tiempo de inactividad es programado; hay un énfasis sustancial en la gestión del equipo.	0.35 - 0.40	0.50 -0.55
Marginal: aproximadamente la mitad de todo el tiempo de inactividad es programado; la disciplina de gestión del equipo no está completamente funcional.	0.40 - 0.50	0.55 - 0.65
Regular: menos del 40% del tiempo de inactividad es programado; esfuerzo mínimo en la gestión del equipo.	0.50 - 0.60	0.65 - 0.75
Pobre: solo se programan los mantenimientos preventivos (PM); la gestión del equipo, la organización es puramente reactiva.	> 0.60	> 0.75

Nota: En la tabla se indica que según el resultado obtenido está en un rango donde comprende solo tareas reactivas y solo se programa mantenimientos preventivos. Fuente: Caterpillar (2019. p.20).

A continuación, procedemos a hallar la cantidad de horas hombre mensual, en la tabla 22 se muestra los datos tales como la utilización mensual del equipo que es de 570 horas al mes y los numero de equipos es de 29 unidades el resultado es de 10202 horas al mes.

Tabla 23

Cálculo de horas hombre requerida.

Cantidad de HH requeridas	Datos
MR	0.62
Utilización mensual	570
Número de equipos	29
HH Mensual	10202

Nota: En la tabla se muestra los datos como la utilización mensual que es la cantidad de días por las horas de trabajo por día. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, hallamos la capacidad instalada por técnico al mes, en la tabla 23 mostrado líneas abajo se detalla los días de trabajo sabiendo que se tiene un régimen de trabajo de 14 días de trabajo por 7 días libres además se multiplica por los factores de vacaciones, enfermedad y de refrigerio, el resultado es de 98.9 el cual significa la capacidad instalada por técnico.

Tabla 24

Capacidad instalada por técnico.

Capacidad instalada por técnico		Datos
Días Mes		30
Días Semana		7
Nro. meses al año		12
Días trabajado		21
Factor vacaciones	11	0.9
	12	
Factor enfermedad	358	1.0
	365	
Factor refrigerio	11	0.9
	12	
Capacidad instalada mes		98.9

Nota: En la tabla se realiza el cálculo de la capacidad instalada por mes. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo el resultado de Horas hombre mensual requerida y la capacidad instalada se puede hallar la cantidad de técnicos por guardia la formula a utilizar sera lo que se

Figura 46

Formula para halla la cantidad de técnicos.

$$\text{Cantidad de técnicos} = \frac{\text{Horas hombre al mes requerida}}{\text{Capacidad instalada}}$$

Nota: En la figura se muestra la fórmula para hallar la cantidad de técnicos donde el numerador se calculó en la tabla 21 y el denominador en la tabla 22. Fuente: Caterpillar (2019. p.54).

Reemplazando los valores se tiene el resultado de 103.2 o 104 técnicos en total y por guardia seria 35 técnicos, es decir se necesitaría contratar a 3 técnicos adicionales porque actualmente cada guardia tiene 33 técnicos.

Es decir, para la implementación de la actividad de inspección del sistema de aire acondicionado se tendría que contratar 3 técnicos de mantenimiento adicionales la evaluación y comparación se realiza en la tabla 24.

Tabla 25

Evaluación de contratación de personal adicional.

Detalles	Número de técnicos
Sin la actividad de sistema de AC	32
Con la actividad de sistema de AC	35
Personal adicional	3

Nota: En tabla se muestra el número de técnicos adicionales que se debe de contratar basado en la nueva actividad de inspección de sistema del aire acondicionado. Fuente: Elaboración propia.

5.3.2.- Desarrollar políticas de atracción y retención de personal técnico

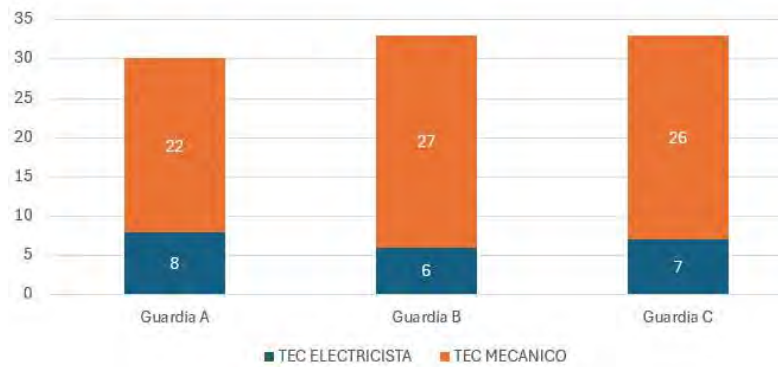
5.3.2.1 Análisis del estado actual.

Actualmente la operación minera trabaja a un sistema de catorce días laborables por siete días de descanso, el horario de trabajo es de 12 horas por guardia es decir se trabaja de día y de noche, el personal operativo de mantenimiento está divididos en tres grupos las cuales se denomina guardia A, guardia b y guardia C, en la figura 45 líneas abajo se muestra la distribución del personal de mantenimiento por guardia donde en promedio son de 32 técnicos.

En la figura 47 se muestra la distribución por especialistas tanto mecánicos como eléctricos. Como se puede apreciar, en todas las guardias, la participación del personal de mantenimiento mecánico es mucho mayor que la del personal de mantenimiento eléctrico. Esto se debe principalmente a las renunciaciones por diversos motivos

Figura 47

Distribución de técnicos por guardia.

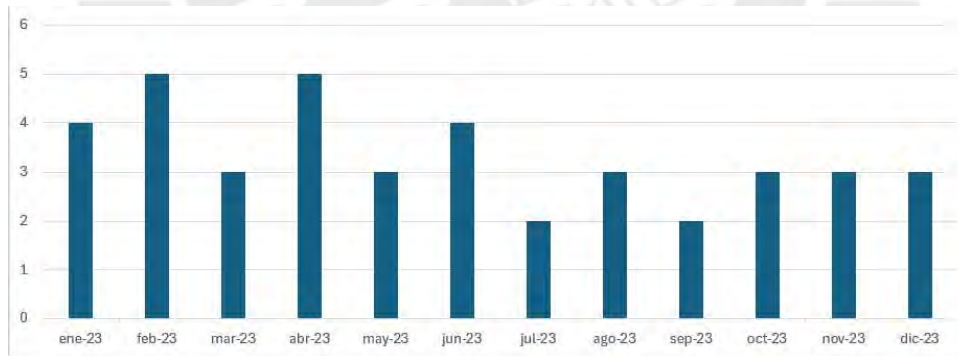


Nota: En figura se muestra las tres guardias y la distribución de los técnicos electricistas y los técnicos mecánicos.

La cantidad de técnicos que renuncian mes a mes está en un promedio de 3 personas, en la gráfica 48 se visualiza el detalle de los técnicos que renunciaron mes a mes siendo los más representativos en el mes de enero y abril con 5 renunciaciones respectivamente, en los últimos meses del año hubo 3 renunciaciones consecutivas

Figura 48

Cantidad de renunciaciones por mes.

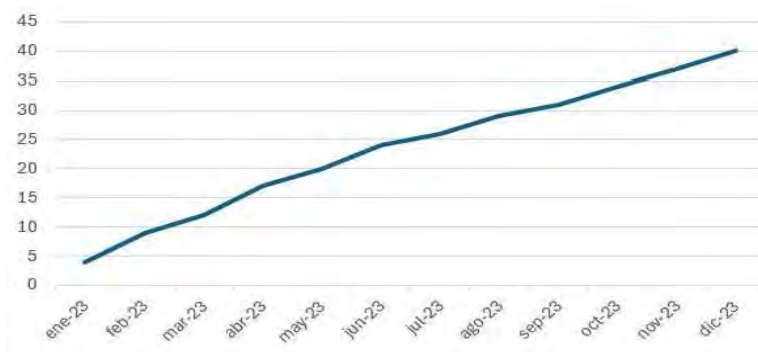


Nota: En figura se muestra la cantidad de renunciaciones por mes donde en el mes de febrero y abril ocurren la mayor cantidad de renunciaciones con la renuncia de 5 colaboradores en cada mes.

Asimismo, en la figura 49 se puede ver que la tasa de renunciaciones es constante en el tiempo y no hay indicios de poder mejorar la retención de personal técnico tanto de mantenimiento eléctrico y mecánico.

Figura 49

Cantidad de renunciadas acumuladas en el 2023.



Nota: En la figura se muestra que la cantidad de renunciadas en el 2023 fue de un total de 40 colaboradores.

Se procede a hallar el índice de rotación de personal sabiendo que en el año 2023 hubo cuarenta personas que renunciaron a su puesto de trabajo y la cantidad de personas en el área de mantenimiento son de 254 personas, entonces hallamos el índice de rotación de personas en el año 2023 para esto utilizamos la fórmula que se presenta en la figura 50.

Figura 50

Formula de índice de rotación de personal.

$$\text{Índice de rotación de personal} = \frac{\text{Personal que renunció el 2023}}{\text{Total de personas en el área de mantenimiento}}$$

Nota: En la formula se muestra los datos iniciales para el cálculo de índice de rotación de personal.

Reemplazando los datos en la ecuación se tiene el siguiente resultado y se muestra en la figura 51.

Figura 51

Cálculo de índice de rotación de personal.

$$\text{Índice de rotación de personal} = \frac{40}{125} \times 100\% = 32\%$$

Nota: En la figura se muestra que el índice de rotación es de 32%.

Basado en el resultado obtenido se puede indicar que un cuarto de los técnicos de mantenimiento rota, basado en un Benchmarking para este indicador que es de 5 % se puede indicar que hay una rotación alta de personal de mantenimiento.

A continuación, se presenta el resultado de la encuesta realizada a los cuarenta técnicos de mantenimiento que dejaron de laborar en la empresa y se muestra en la tabla 25, 26 27 y 28.

A la pregunta ¿cuál es el motivo de la renuncia?, se puede identificar que existe quince respuestas relacionadas a mejoras oportunidades laborales y también hay dieciocho personas que indicaron que no hay falta de desarrollo profesional.

Tabla 26

Resultado a la pregunta de los motivos de renuncia.

¿Cuál es el motivo de renuncia ?	Cantidad
Mejor oportunidad laboral	15
Problemas con mi jefe	0
Falta de desarrollo profesional	18
Compensación y beneficios insuficientes	0
Cambio de ubicación	0
Problemas personales	3
Ambiente de trabajo insatisfactorio	4

Nota: En la tabla se muestra que el los principales motivos de renuncia son mejores oportunidades laborales y la falta de desarrollo profesional.

A la pregunta de la satisfacción del trabajo en general se puede identificar que quince personas indicaron que estuvieron insatisfecho con el trabajo y veinte cinco sostuvieron una respuesta neutra a esta pregunta.

Tabla 27

Resultado a la pregunta de la satisfacción al trabajo.

¿Qué tan satisfecho/a estuvo con su trabajo en general?	Cantidad
Muy satisfecho/a	0
Satisfecho/a	0
Neutro/a	25
Insatisfecho/a	15
Muy insatisfecho/a	0

Nota: En la tabla se muestra que 25 personas fueron neutras en su respuesta y 15 personas estuvieron insatisfechos con su trabajo.

A la pregunta sobre la satisfacción de la compensación y beneficios se puede identificar que treinta personas estuvieron insatisfechas y diez de ellos sostuvieron una respuesta neutra sobre esta pregunta.

Tabla 28

Resultado a la pregunta de satisfacción con la compensación y beneficios.

¿Qué tan satisfecho/a estaba con su compensación y beneficios?	Cantidad
Muy satisfecho/a	0
Satisfecho/a	0
Neutro/a	10
Insatisfecho/a	30
Muy insatisfecho/a	0

Nota: En la tabla se muestra que 10 personas fueron neutras en su respuesta y 20 personas estuvieron insatisfechos con los beneficios.

En relación con la pregunta del comparativo de beneficios de la empresa en relación a otras empresas se puede visualizar que hay treinta y cinco personas que indicaron que los beneficios son peores y cinco personas indicaron que los beneficios son iguales.

Tabla 29

Resultado a la pregunta de los beneficios en comparación con otras empresas.

¿Cómo considera que los beneficios y compensaciones ofrecidos por la empresa se comparan con los de otras empresas en el sector?	Cantidad
Mucho mejores	0
Mejores	0
Iguales	5
Peores	35
Mucho peores	0

Nota: En la tabla se muestra que 5 personas consideran que los beneficios son iguales y 35 personas consideran que los beneficios de la empresa son peores.

Basado en las respuestas a estas preguntas se puede indicar que la empresa no ofrece los mejores beneficios en comparación con otras empresas más aun con relación a los ascensos en la empresa en estudio no existen políticas claras para poder ascender o cambiar de puesto a los técnicos tampoco existe una evaluación por parte de la supervisión para valorar y realizar los ascensos respectivos.

Como se observa en la tabla 28 los técnicos de nivel 3 pueden pasar más de dos años en el mismo puesto sin ser promovidos y por ende sin modificaciones en su escala salarial siendo esto perjudicial principalmente para los intereses del trabajador por un tema de crecimiento profesional.

Tabla 30

Tiempo promedio de ascenso laborales.

Nombre del puesto	Tiempo promedio para ascenso
Técnico de mantenimiento A / mecánico electricista	> 2 años
Técnico de mantenimiento B / mecánico electricista	> 2 años
Técnico de mantenimiento C / mecánico electricista	> 2 años

Nota: En la tabla se muestra que el tiempo promedio para el ascenso es de 2 años, es decir pasar de técnico de nivel C a B puede demorar un promedio de 2 años.

CONCLUSION

Según los datos presentados la empresa en estudio no es referente para poder trabajar por falta de una línea de carrera, sueldos muy por debajo del mercado, ningún beneficio extraordinario, pocas oportunidades de promoción en el puesto de trabajo. Por esta razón la rotación de la empresa es alta con un 32% de rotación anual, esto quiere decir que aproximadamente un cuarto del personal en un año se va de la empresa, muchas veces, adquiriendo y desarrollando nuevas habilidades que en el día a día van desarrollando, resolviendo y conociendo de los procesos complejos, pero por temas de crecimiento laboral y falta de oportunidad renunciando a la empresa.

Existe un costo enorme por dejar ir a las personas como por ejemplo capacitar al personal nuevo en seguridad en el trabajo, gestión documentaria, uso de software de mantenimiento, creación de ordenes de trabajo, procesos internos para reportar el estado de los equipos y más aún capacitar sobre las técnicas de mantenimiento que se utilizan en la actualidad con cada uno de los equipos.

5.3.2.2 Propuesta de mejora.

Por esta razón se propone los siguientes planes estratégicos para que la empresa sea un referente para poder atraer y retener técnicos de mantenimiento.

- 1.- Desarrollar planes de carrera personalizado
- 2.- Implementar planes de reconocimiento y recompensa en base al desempeño.

A continuación, se desarrollará cada uno de estos planes estratégicos con el objetivo inicial de que el índice de rotación no sea mayor a 10% anual.

5.3.2.2.1 Desarrollar planes de carrera personalizado.

Lo técnicos de mantenimiento tienen diferentes aptitudes, las capacitaciones y certificaciones tienen diferente objetivo, las capacitaciones pueden ser dictados a todo el

personal técnico según la disponibilidad no existe requisitos para la asistencia a este curso, cualquier personal de mantenimiento podrá acceder a estas capacitaciones previa inscripción y validación de su supervisor inmediato, mientras que las certificaciones están orientadas a personal técnico mucho más específico que tengan aptitudes y actitudes reconocidos y validados por las áreas correspondientes y por ser de una inversión en tiempo y plata no todos podrán tener acceso a estas certificaciones

Por esta razón con el objetivo de que todo el personal de mantenimiento tenga acceso a los cursos y certificaciones se propone dividir en dos grupos en programas de capacitación y certificación y que a continuación se explicara y detallara.

5.3.2.2.1.1 Programa de capacitación.

El personal de mantenimiento debe de estar en constante preparación porque el avance y la actualización en la tecnología es dinámico en el tiempo y resolver las fallas de los sistemas de los equipos se vuelve más complejo por lo tecnológico de los equipos, el personal de mantenimiento debe de estar preparado para dar solución de manera rápida basado en calidad y seguridad.

Actualmente el área de seguridad valora cuando el personal de mantenimiento trabaja respetando las normas de seguridad y sobre todo respetando los procedimientos, de nada valdría si el personal de mantenimiento soluciona fallas eléctricas y mecánicas si el personal incurre en incidentes, accidentes o peor aún en accidentes incapacitantes.

Basado en esto, es importante implementar un plan de capacitación tal como se muestra en la tabla 30, enfocado a reforzar las habilidades y destreza en el personal de mantenimiento, Asimismo, que un personal de mantenimiento cuente con un certificado de capacitación que acredite la participación es altamente valorado por el personal de mantenimiento y a la vez suma como crecimiento y desarrollo personal.

Tabla 31*Plan de capacitación a personal de mantenimiento.*

Fechas	Responsable del cumplimiento	Empresa Capacitador	Tema a desarrollar	Objetivos de la capacitación	Recursos necesarios	Observaciones	Nro Horas	Turno Mañana	Turno Tarde	Nro Total de Personas
2 veces al año	Jefe de Calidad equipos	Ferreyros	Examen de conocimientos	Identificar oportunidades de mejora en los participantes	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	4	10	10	20
2 veces al año	Jefe de Seguridad y Salud Ocupacional y Medio Ambiente SSOMA	Instituto de seguridad minera ISEM	Seguridad en la minería	Identificar los peligros y riesgos en la operación minera.	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	12	10	10	20
2 veces al año	Jefe de Calidad equipos	Ferreyros	Capacitación sobre lectura de planos hidráulicos	Identificar fallas en base a la lectura de planos hidráulicos	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	12	10	10	20
2 veces al año	Jefe de Calidad equipos	Ferreyros	Capacitación sobre lectura de planos eléctricos en maquinaria pesada.	Identificar fallas en base a la lectura de planos eléctricos.	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	12	10	10	20
2 veces al año	Jefe de Calidad equipos	Ferreyros	Evaluación de equipos	Identificar falla en base a pruebas del equipo	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	12	10	10	20

Nota: En la tabla se muestra un plan de capacitación donde se incide las frecuencias, los responsables, la empresa que realizara la capacitación, el tema de desarrollar, el objetivo de la capacitación, los recursos necesarios y las frecuencias de capacitación. Fuente: Elaboración propia.

La estructuración del cuadro de capacitación está orientada para todo el personal técnico no solo basado en temas de equipos y la solución de problemas mecánicos sino también está basado en temas de seguridad, calidad y también orientado a la parte técnica esto para la solución de problemas complejos de la parte mecánicos o eléctricos de los equipos por medio de la lectura de planos tanto eléctricos como mecánicos.

El rubro de la minería tener cursos o capacitaciones en seguridad en la minería también es valorado por las empresas mineras porque suma mucho en tener conocimiento de la identificación de peligros, valoración de los riesgos, identificar los formatos de control ante una condición subestándar o de primeros auxilios ante eventos no deseados hace que esta capacitación ayude y prepare al personal a sumar y trabajar con seguridad.

5.3.2.2.1.2 Programa de certificación.

La empresa se debe a la calidad de personas y a la capacidad de resolver los problemas que se presentan en todo momento, las empresas valoran la capacidad resolutoria de las personas, pero también las personas necesitan capacitarse y por ende certificarse y por eso las empresas deben de apostar e invertir en su capital humano apostando por ejemplo en la certificación o capacitación de los técnicos de mantenimiento.

Asimismo, en el mercado laboral actual es muy valorado personal técnico polivalente es decir que puedan resolver e identificar fallas eléctricas y mecánicas con capacidad de análisis sumado a emitir informes generando un gran valor al trabajo y la solución de problemas de diferente índole.

Actualmente la empresa no tiene políticas establecidas sobre los requisitos y penalidades que deben de tener las personas que accedan a certificaciones, basado en esto la certificación debe de estar diseñado basado en los intereses de la empresa y luego para los intereses de los técnicos basado en esto se propone los siguientes lineamientos para acceder a la certificación, considerando que el universo de técnicos que tiene la empresa y el promedio de años de trabajo de estos técnicos

- Evaluación de desempeño con un valor mayor a 3 puntos que significa que cumple las expectativas del puesto.
- Tiempo en la empresa mayor a 1 año.
- Record de faltas injustificadas menor a 2 veces en un periodo de un año.

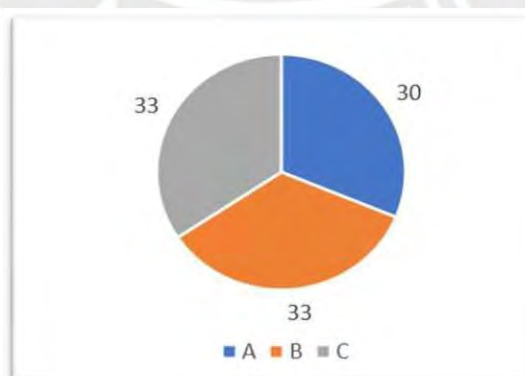
Aquellos técnicos que cumplan con estos requisitos tendrán que firmar un acuerdo con la empresa por una permanencia en la empresa no menor a 1 año caso contrario se realizara el cobro del programa de certificación, lo que se busca es retener al personal en el cual se apostó y pago una certificación.

Luego que el técnico este certificado deberá desarrollar capacitaciones programadas con el fin de compartir los conocimientos adquiridos de esta manera los conocimientos son compartidos y adquiridos por otros técnicos de mantenimiento con el objetivo de aprender y desarrollar nuevas habilidades.

En el proceso de desarrollo y aprendizaje los técnicos de mantenimiento siempre buscaran una empresa que apuesten por ellos con capacitaciones y más aún certificaciones. Hacer una línea de carrera y de ascenso en el puesto de trabajo es tentativo para cualquier técnico de mantenimiento considerando que el nivel 3 son técnicos que solo tienen 2 años de experiencia y son personas relativamente más jóvenes con ganas de aprender y demostrar superación caso contrario con técnicos de nivel 1 tiene que tienen en promedio 5 años a más de experiencia, en ambos casos la certificación de habilidades técnicas puede significar ascensos y cambios en la escala salarial y más aún cambios en el puesto de trabajo, en la figura 52 se muestra la categoría o nivel de los técnicos y las cantidades por cada categoría siendo el nivel B y C las categorías con la mayor cantidad de técnicos ambos con 33 técnicos de mantenimiento.

Figura 52

Cantidad de técnicos por niveles.



Nota: En la figura se muestra la cantidad de técnicos por cada categoría siendo el nivel A técnicos de primer nivel y como se ve en la figura son los de menos cantidad. Fuente: Elaboración propia.

Basado en esto se propone la tabla 31 el plan para la certificación que tendrá como objetivo inicial de medir la capacidad y validar los conocimientos de los técnicos de mantenimiento con preguntas realizados por el dealer es decir la empresa Ferreyros, ellos serán los responsables de estructuras las preguntas con el objetivo de medir de manera cuantitativa los conocimientos de los técnicos y por ende saber el nivel de cada uno de ellos.

Luego de obtener los resultados se escogerá a los tres primeros puestos de los niveles 3 y 2 con el objetivo de certificarlos a un nivel superior es decir nivel 2 y 1, con esto se logrará que cada uno de los técnicos demuestre sus conocimientos técnicos y certifique a un nivel superior basado en esto se propone el siguiente plan de certificación mostrado en la tabla 30 donde el responsable del cumplimiento será el jefe de calidad y la empresa que certificara será Ferreyros.



Tabla 32*Programa de capacitación para la certificación de técnicos.*

Responsable del cumplimiento	Empresa Capacitador	Tema a desarrollar	Objetivos de la capacitación	Recursos necesarios	Observaciones	Nro Horas	Turno Mañana	Turno Tarde	Nro Total de Personas
Jefe de Calidad equipos	Ferreyros	Examen de conocimientos	Identificar oportunidades de mejora en los participantes	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	4	45	45	90
Jefe de Calidad equipos	Ferreyros	Capacitación para certificación	Certificar a Técnico nivel 2	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	20	3	3	6
Jefe de Calidad equipos	Ferreyros	Capacitación para certificación	Certificar a Técnico nivel 1	Sala de capacitación con equipos multimedia (proyector).	1er turno: Mañana 2do turno: Tarde	20	3	3	6

Nota: En la tabla se muestra el plan de capacitación para la certificación de los técnicos donde se indica los temas a desarrollar, el objetivo de cada uno de los temas y los recursos necesarios para que se pueda realizar cada una de estas actividades de capacitación. Fuente: Elaboración propia.

5.3.2.2 Implementar planes de reconocimiento y recompensa en base al desempeño.

Uno de los factores que también afecta a que el índice de rotación sea mayor al 10 % es porque el sueldo en la empresa en estudio este por debajo del promedio del mercado, esto hace que sea menos atractivo trabajar en esta empresa. Más aún si lo hacen sea solo por un corto tiempo hasta que aparezca otra oportunidad de trabajo.

Los sueldos actuales que la empresa en estudio ofrece en comparación con el promedio de otras empresas similar envergadura y ofreciendo el mismo servicio está por debajo con una variación de 500 soles en promedio, según la plataforma de CompuTrabajo (2024), la escala salarial por los mismos puestos de trabajo en la empresa San Martín Contratistas está por encima con promedio de 4000 soles mensuales. De la misma manera en la plataforma de Bumeran (2024) indica que los rangos salariales para los técnicos de maquinaria pesada para el área de minería están en un rango de 4600 soles mensuales, tal como se indica en el portal estos rangos es el promedio de los sueldos que los candidatos colocan dentro de sus expectativas salariales al momento de su postulación.

La escala salarial de los técnicos de nivel tres tienen un sueldo promedio de 3000 soles mensuales mientras que en empresas similares ofrecen un sueldo de 3500 soles esto quiere decir 500 soles más, considerando que este puesto es para técnicos con una experiencia de 1 a 2 años. De la misma manera se observa que los técnicos de nivel 2 tienen una escala salarial de 3600 soles en promedio mientras que empresas similares ofrecen por el mismo puesto un rango de 4100 soles al mes de la misma manera la variación es de 500 soles más al mes este nivel de técnicos es un poco más experimentados con un promedio de 3 a 4 años de experiencia. Por último los técnicos de nivel 1 tienen una escala salarial de 4200 soles al mes mientras que el mercado ofrece por el mismo puesto un salario de 4800 soles en promedio siendo 600 soles más en comparación con lo que ofrece la empresa en estudio.

En la tabla 32 líneas abajo se muestra el promedio actual que la empresa ofrece a sus colaboradores versus lo que las empresas de similar envergadura ofrecen a sus trabajadores.

Tabla 33*Escala salarial de la empresa y el promedio del mercado laboral.*

Escala salarial	Actual	Pormedio del mercado	Variación
Técnico nivel 3	3000	3500	500
Técnico nivel 2	3600	4100	500
Técnico nivel 1	4200	4800	600

Nota: En la tabla se muestra la escala salarial y la variación entre lo que ofrece actualmente la empresa y lo que ofrece el mercado. Fuente: Elaboración propia.

Según la escala salarial indicado líneas arriba se puede indicar que las empresas de igual envergadura los técnicos son mejores recompensadas económicamente y más aún esto es en todos los niveles entonces se puede indicar que el sueldo en la empresa en estudio es bajo y no es atractivo para trabajar.

Basado en esto es necesario empezar a modificar el sueldo del personal técnico pero basado en requisitos que los técnicos deberían de cumplir y serían los siguientes:

- Personal técnico con un año como mínimo en la empresa.
- Durante el año haber asistido por lo menos a 2 cursos de capacitación.
- En la evaluación interna haber obtenido 3 puntos en promedio.

Los técnicos que cumplan estos requisitos deberán pasar un examen de conocimientos técnicos y practico en campo donde se realizaran preguntas relacionados al puesto, donde se validara el conocimiento de la maquinaria, una vez que se valide se debe de modificar el nombre del puesto y también la escala salarial, en la tabla 33 se detalla la nueva escala salarial y la variación de cada uno de estos puestos.

Tabla 33*Escala salarial de la empresa y el promedio del mercado laboral.*

Escala salarial	Antes	Propuesto	Variación
Técnico nivel 3	3000	3600	600
Técnico nivel 2	3600	4200	600
Técnico nivel 1	4200	4800	600

Nota: En la tabla se propone un aumento en la escala salarial en cada uno de los niveles de los técnicos. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la empresa no existe una política que reconozca el desempeño de los trabajadores, y el hecho de que el área de recursos humanos no valore el trabajo de los técnicos de mantenimiento causa desunión en los grupos de trabajo. No reconocer el trabajo del personal de mantenimiento no es un buen indicador ni referente para los futuros postulantes. Para poder tener un ambiente de trabajo colaborativo y valorado, se propone implementar lo siguiente:

- Reconocer al personal técnico. – Esto se realizaría previa aprobación del supervisor de guardia validando el esfuerzo de cada uno de los técnicos y cada fin de mes en la charla de seguridad nombrar y reconocer al técnico del mes con un pequeño presente, esto beneficiara a todo el grupo porque empezaran a notar que el trabajo que hacen ellos es valorados y se promoverá una competencia interna para hacer las tareas y actividades de mantenimiento de la mejor manera basado en seguridad y cuidado del medio ambiente.
- Nombrar y celebrar los onomásticos. – Las personas también deben ser reconocidas y nombradas por el día de su onomástico, cada fin de mes se debe de celebrar los cumpleaños de todos los técnicos de mantenimiento con el fin de reconocer un día tan importante y disfrutar de un momento para compartir con todo el grupo de trabajo.

En la tabla 34 se detalla el plan de reconocimiento de personal.

Tabla 34

Plan de reconocimiento al personal de mantenimiento.

Fechas	Responsable del cumplimiento	Actividad a desarrollar	Objetivos de la actividad	Recursos necesarios	Observaciones	Nro Horas
Cada fin de mes	Jefe de recursos humanos	Reconocer al técnico del mes	Valorar el trabajo que realizan.	Parlante con Altavoces Medalla con nombre del técnico	Se realizara en la charla a inicio de guardia	0.5
Cada fin de mes	Jefe de recursos humanos	Compartir por onomástico.	Valorar los onomásticos de los colaboradores	Sala de reunión Equipo de sonido con micrófono Bocaditos	Se realizara en el turno día, 30 minutos antes del final de guardia.	0.5

Nota: En la tabla se detalla el plan de capacitación donde se indica la frecuencia, los responsables, la actividad a desarrollar y los recursos para poder realizar cada actividad.

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. Desarrollar políticas de evaluación de proveedores basado en la calidad de servicios y repuestos.

5.3.3.1 Análisis del estado actual.

Los equipos para que puedan tener un buen performance necesitan de repuestos de calidad y sobre todo que ofrezca una alta confiabilidad en plena operación, estos equipos trabajan a doble turno con un promedio de 17 horas, todo esto conlleva a que los componentes mayores y menores a que los componentes que se cambian o reemplazan deben ser de calidad porque los cambios programados o no programados conlleva al uso de recursos y tiempo.

5.3.3.1.1 Los proveedores actuales.

Los proveedores en la flota de camiones que dan soporte con el servicio y venta de repuestos son los siguientes:

- MECANIZA S.A.

Empresa que se dedica a dar servicio de reparación de componentes mayores tales como cilindro de levante, cilindros de suspensión delantera posterior y cilindros de dirección.

- FERREYROS S.A.

Empresa que también se dedica a dar servicio de reparación de componentes, pero a diferencia del proveedor anterior estos son de mayor envergadura como convertidores de potencia, diferenciales, mandos finales motor Diesel, ruedas delanteras y caja de transmisión, asimismo se dedica a la venta de repuestos. El valor de estas reparaciones dependerá del tipo del componente y la exclusividad en la reparación de estos componentes, en la tabla 35 se detalla los precios en dólares de las reparaciones considerando la exclusividad del servicio y las reparaciones programadas por frecuencia de los componentes

Tabla 35

Lista de precios por las reparaciones de los componentes mayores.

Opción de Soporte	Modelo	Componente	Cant	Precio Unitario 2022_Junio
Rep General	785C	Motor	1	254,475.57
Rep General	785C	Transmisión	1	58,308.98
Rep General	785C	Convertidor	1	25,295.99
Rep General	785C	Diferencial	1	15,991.17
Rep General	785C	Mando Final	2	58,191.09
Rep General	785C	Rueda	2	26,083.34
Rep General	785C	Cil Dirección	2	6,009.51
Rep General	785C	Cil Levante	2	7,290.44
Rep General	785C	Cil Susp Del	2	7,704.01
Rep General	785C	Cil Susp Post	2	10,081.30
Rep General	785C	Válvulas de control	1	6,750.87
Rep General	785C	Mando de BB	1	5,640.21
Nuevo + Perifericos	785C	Válvulas de control	1	18,784.31
Reman + Perifericos	785C	Válvulas de control	1	14,003.48

Nota: En la tabla se detalla el costo por la reparación de cada uno de los componentes siendo el más caro el motor del camión 785. Fuente: Elaboración propia.

- ARNAO SERVICES SAC

Empresa que se dedica a la reparación y mantenimiento de todo tipo de radiadores.

- INMENA SAC

La empresa se dedica a dar servicios de maestría a las estructuras principales del equipo tales como reparación de tolvas, trabajos de soldadura de estructuras principales.

5.3.3.1.2 Horas de duración de los componentes.

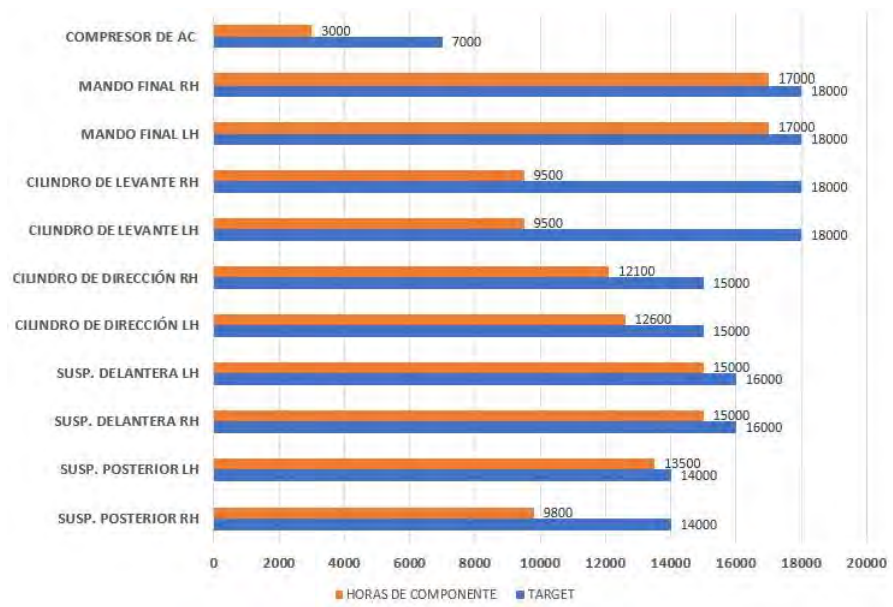
Actualmente se tiene deficiencias con los repuestos utilizados porque fallan con frecuencia no llegando a las horas ofrecidas por el proveedor ocasionando parada de los equipos y por ende ocasionando pérdidas en la producción.

Los equipos están conformados por componentes de mediana y gran envergadura, en la figura 53 se muestra los componentes de mediana envergadura en los cuales se puede mostrar que algunos componentes no están llegando a las horas ofrecidas por el proveedor, por ejemplo, los compresores de aire acondicionado están llegando en promedio a 3000 horas siendo el target u objetivo llegar a las 7000 horas de uso, lo mismo, lo mismo sucede con los cilindros de levante que en promedio solo están llegando a 9500 horas siendo su target a las 18000 horas y lo mismo sucede con los cilindros de dirección llegan a 12100 horas siendo el

objetivo 15000 horas de trabajo, en conclusión los componentes no están llegando a las horas que el proveedor

Figura 53

Horas de trabajo de los componentes versus lo recomendado por el proveedor.



Nota: En la figura se muestra cada uno de los componentes y las horas de duración comparado con lo recomendado por el proveedor, en ninguno de estos se está llegando a las horas recomendadas por el cliente. Fuente: Elaboración propia.

Por esta razón existe una preocupación por los componentes instalados a los equipos porque no están llegando a las horas ofrecidas por el proveedor, más aún cuando los componentes fallan ingresan a un proceso de espera, los componentes deben de ser evaluados por el proveedor buscando las causas de la falla, este proceso pueden demorar en casos extremos más de dos meses y un tiempo optimista es de 1 mes desde la falla, tiempo en el cual el equipo no puede estar inoperativo buscando soluciones como préstamo de componentes de otros equipos o compras de emergencia de estos componentes o peor aún reparación de componentes que ya fueron dados de baja.

En la empresa actualmente no cuenta con procesos para evaluar la calidad del servicio de los proveedores externos, es decir no se toma en cuenta la satisfacción de los usuarios o las áreas finales los cuales son los responsables de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. Los procesos de renovación de las reparaciones de componentes y de servicios se hacen por la comparación de los precios es decir solo se reconoce los aspectos comerciales, más no temas como sistemas de calidad, aspectos logísticos y por temas de cuidado al medio

ambiente es necesario considera aspectos socio ambientales, basado en este problema se propone lo siguiente.

5.3.3.2 Propuesta de mejora.

5.3.3.2.1 Recopilar información de los usuarios finales sobre los servicios de los proveedores.

Las evaluaciones sobre el servicio de los proveedores deben de ser evaluados cada 6 meses con el objetivo de medir de manera exacta el desempeño de los proveedores y que no exista una variabilidad marcada entre la medida de ambos desempeños., el puntaje del servicio post venta debe de ser constante en el tiempo para poder tener clientes satisfechos.

Las áreas o clientes finales que evalúan el desempeños de los proveedores son el área de reparación , área de confiabilidad , y el área de planificación, estas tres áreas son los que están en constante comunicación con los proveedores coordinando la entrega, llegada y estatus de los componentes, tener una comunicación constante sobre el estado real es necesario para la planificación y programación de cambio de componentes y también el área de confiabilidad tiene un papel importante porque son los responsables del monitoreo y comportamiento del componente en campo con pruebas como termografía , análisis SOS y vibraciones y lanzar las alertas de diferentes niveles a las áreas correspondientes cuando los limites están fuera de rango y el componente presenta una condición.

Se propone utilizar el formato presentado en la tabla 36, el cual debe ser completado por los jefes de las áreas de mantenimiento. El área de logística y compras evaluará los resultados con el objetivo de que los usuarios finales participen y valoren la calidad del servicio de cada proveedor.

Líneas abajo se muestra el formato de evaluación interna donde se detalla los campos a llenar, donde 1 significa que cumple y 0 no cumple.

Tabla 36*Formato de evaluación del área de mantenimiento al proveedor.*

FECHA DE EVALUACIÓN	<input type="text"/>	RAZON SOCIAL	<input type="text"/>	RUC	<input type="text"/>
ÁREA	<input type="text"/>	PRODUCTOS O SERVICIO	<input type="text"/>		

En caso el criterio establecido no aplique se le colocará el máximo puntaje

ITEM	DESCRIPCION	1	0	Puntaje Obtenido
Evaluación interna				1.0
1	¿ El producto reparado es de calidad ?	SÍ	NO	1
2	¿ El proveedor ofrece toda la información solicitada ?	SÍ	NO	1
3	¿ El proveedor presta atención a sus reparaciones ?	SÍ	NO	1
4	¿ El proveedor absuelve dudas en un tiempo prudencial ?	SÍ	NO	1

Nota: En la tabla se muestra las preguntas que en este caso debe de respondidas por el cliente inmediato que es el área de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados tendrán un rango donde tener un puntaje en un rango de 3 a 4 significa que el proveedor cumple con las expectativas del cliente, pero si tiene un puntaje de 1 a 0 significa que el proveedor no cumple con las expectativas del cliente interno y es necesario que el área de logística evalúe al proveedor

Asimismo, como parte de la evaluación al proveedor es necesario considerar el formato del anexo 05 que es la ficha de homologación de proveedores esto para la homologación de los futuros proveedores, hay varios aspectos y criterios como son los comerciales, financieros, aspectos técnicos, gestión legal, de calidad, de seguridad, medio ambiente y post venta para una evaluación integral al proveedor. Las alternativas en cada uno de estos son dos SI cuando cumple o NO cuando no cumple.

El detalle sobre la ficha o reporte de la visita técnica se especifica en el anexo 06, con un enfoque en el conocimiento técnico, la estructura y la implementación de los talleres.

Todos los puntajes obtenidos son presentados en la tabla 37 donde se ve el puntaje obtenido por cada criterio estipulado para la homologación de los proveedores.

Tabla 37

Ficha de homologación de proveedor.

FECHA DE INSPECCIÓN	0/01/1900	RAZON SOCIAL	0	RUC	0
RUBRO	0	PRODUCTOS O SERVICIO	0		
FECHA DE INICIO DE RELACIONES	0/01/1900				

Criterio	Puntaje Obtenido	Ponderación
Criterios Comerciales	75	0.05
Criterios Económico Financieros	100	0.1
Criterios Técnicos (Servicios)	75	0.2
Criterios Legales y Licencias	30	0.1
Criterios de Calidad	100	0.1
Criterios de Seguridad y Salud en el Trabajo	100	0.1
Criterios de Gestión del Medio Ambiente	100	0.1
Criterios pre y post venta	100	0.1
Criterio clientes internos	100	0.2
PUNTAJE		92
CALIFICACIÓN		CUMPLE

Nota: En la tabla se muestra los puntajes obtenidos por cada uno de los criterios donde el puntaje final obtenido indicara si el proveedor cumple o no cumple. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 38 se presenta el rango de los puntajes y la calificación obtenida para cada uno de estos donde obtener un puntaje de 0 a 60 el proveedor no cumple, con un puntaje de 81 a 80 la calificación seria de regular donde se la hace saber al proveedor donde obtuvo el puntaje más bajo y el proveedor debe de tomar acción sobre esto y si el proveedor tiene un puntaje de 81 a más la calificación seria de cumple

Tabla 38

Rango de puntaje y calificación para la homologación de proveedor.

CALIFICACIÓN	PUNTAJE
NO CUMPLE	DE 0 A 60
REGULAR	DE 61 A 80
CUMPLE	DE 81 A MÁS

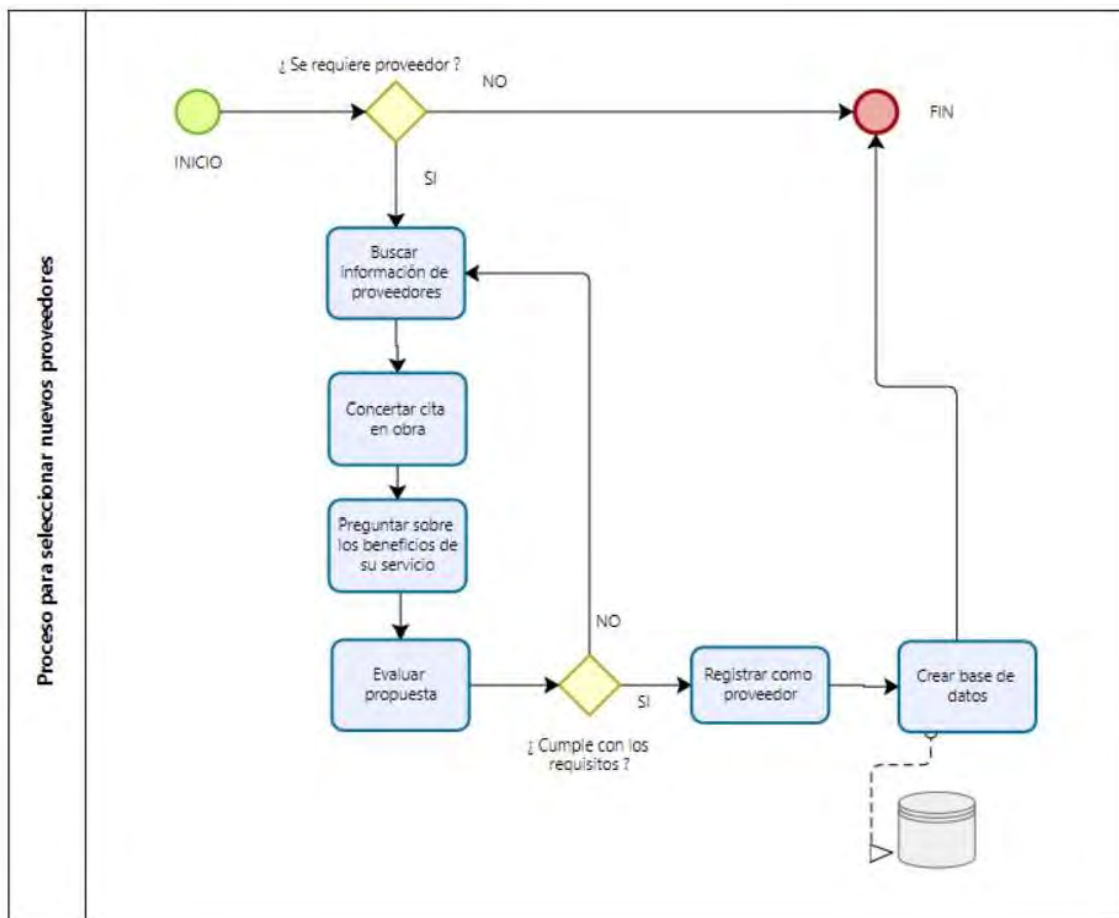
Nota: La tabla muestra los rangos de puntaje y sus correspondientes calificaciones.

Una vez que obtenga los resultados los responsables de logística tomaran las decisiones correspondientes como búsqueda de otros proveedores u homologar a nuevos proveedores.

En caso de la búsqueda de nuevos proveedores se propone el flujo mostrado en la figura 54 con el objetivo de ampliar la cantidad de proveedores y tomar la mejor decisión para escoger al proveedor que la empresa necesita.

Figura 54

Diagrama de flujo para los nuevos proveedores.



Nota: En el diagrama se muestra el proceso para registro de los nuevos proveedores. Fuente: Elaboración propia.

5.3.3.2.2 Calcular de manera periódica el MTTF de los componentes.

Actualmente, no se cuenta con ningún indicador que mida la duración de los componentes de los proveedores. La implementación de un indicador ayudaría a medir y comparar la duración de los componentes con las reparaciones históricas y, además, a evaluar de manera global las reparaciones y compararlas con otros proveedores. Es decir, permitiría hacer comparativos basados en la duración de los componentes y proveedores antes de la falla.

La falta de un indicador que mida la duración de los componentes de los proveedores representa un problema significativo para la gestión y evaluación del rendimiento de los mismos. Sin este tipo de indicador, es imposible realizar un seguimiento preciso de la vida útil de los componentes, lo que dificulta la identificación de patrones de fallos y la comparación efectiva con los registros históricos de reparaciones. Además, esta carencia impide evaluar de manera global las reparaciones y comparar el desempeño de diferentes proveedores. La ausencia de comparativos basados en la duración de los componentes antes de la falla limita la capacidad de tomar decisiones informadas sobre la selección de proveedores, la optimización del mantenimiento y la mejora continua de la calidad y confiabilidad de los componentes utilizados. En resumen, la implementación de un indicador adecuado es crucial para mejorar la gestión de los componentes y garantizar un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo.

Elegir el indicador MTTF (Mean Time To Failure) para abordar la problemática tiene las siguientes razones:

- **Medición Precisa de la Vida Útil:** El MTTF proporciona un valor promedio del tiempo hasta que los componentes experimentan su primera falla. Esto permite un seguimiento preciso de la duración real de los componentes, facilitando la identificación de patrones de fallos y su comparación con los registros históricos de reparaciones.
- **Evaluación Global de Reparaciones:** Con el MTTF, se puede evaluar de manera global la confiabilidad de los componentes proporcionados por diferentes proveedores. Este indicador permite comparar directamente la duración de los componentes antes de la falla, ofreciendo una base objetiva para evaluar el desempeño de los proveedores.
- **Decisiones Informadas:** La información obtenida a partir del MTTF ayuda a tomar decisiones informadas sobre la selección de proveedores. Al conocer la vida útil promedio de los componentes, es posible elegir aquellos proveedores cuyos productos demuestran una mayor durabilidad y confiabilidad, optimizando así la gestión del suministro.
- **Optimización del Mantenimiento:** El MTTF facilita la planificación del mantenimiento preventivo. Al conocer el tiempo promedio hasta la falla, se pueden

programar intervenciones de mantenimiento antes de que ocurran fallos, reduciendo el tiempo de inactividad y los costos asociados a las reparaciones no planificadas.

- **Mejora Continua de la Calidad:** Utilizar el MTTF como indicador permite una mejora continua de la calidad y confiabilidad de los componentes utilizados. Al comparar los resultados de diferentes proveedores y realizar un seguimiento constante de la duración de los componentes, se pueden identificar áreas de mejora y fomentar la competencia entre proveedores para ofrecer productos de mayor calidad.

En resumen, la elección del MTTF como indicador es adecuada para abordar la problemática de la falta de seguimiento y comparación de la duración de los componentes de los proveedores. Este indicador proporciona la información necesaria para mejorar la gestión, optimizar el mantenimiento y garantizar un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo.

La fórmula del indicador MTTF que se muestra en la figura 55 tiene como numerador el tiempo total de operación antes de la falla esto quiere decir si por ejemplo si el componente 1 empezó a trabajar con un horómetro de 5000 y falla a las 10000 horas el tiempo total de operación será la diferencia es decir 5000 horas , asimismo si se tiene el componente 2 de igual característica y trabaja 6000 horas antes de la falla y así sucesivamente se sumaría las horas de duración del componente 1 y 2 es decir las horas de operación total en este caso sería de 11000 horas por otro lado el denominador sería de 2 por estar relacionado con el número de componentes es decir el MTTF tendría un valor de 5500 horas.

Figura 55

Fórmula del tiempo medio hasta la falla (MTTF).

$$MTTF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número de componentes fallados}}$$

Nota: En la formula se muestra en el numerador el tiempo total de operación y en el denominador el número de componentes fallados. Fuente: Fuente: SMRP (2020, p. 22)

5.3.3.2.2.1 Implementación de formatos de control.

Para que este indicador pueda ser sostenible en el tiempo es necesario que los datos sean los correctos porque de lo contrario no se tomaran las decisiones adecuadas, basado en esto lo más importante es que los datos del componente sean los correctos tales como proveedor

responsable de la reparación, fecha de entrega del componente y que estos componentes sean fáciles de identificar.

Por ser componentes de dimensiones grandes se propone como mejor opción colocar placa de metal a los componentes, es decir colocar a cada componente una placa donde se debe de indicarse características únicas que el proveedor debe de colocar a los componentes reparados

Una vez que el componente tenga esta placa el componente puede ser asignado a un equipo, es importante recordar que estos componentes son intercambiables es decir pueden estar en uno u otro equipo y el control se vuelve un poco más tedioso, claro está los equipos tienen que tener las mismas características o serie de fabricación.

Procedimiento

Teniendo definido las características del componente y la compatibilidad el procedimiento por ejemplo para los motores Diesel se debe de empezar registrando en un archivo digital como se muestra en la tabla 39 y donde se registrará los siguientes ítems:

Datos del equipo.

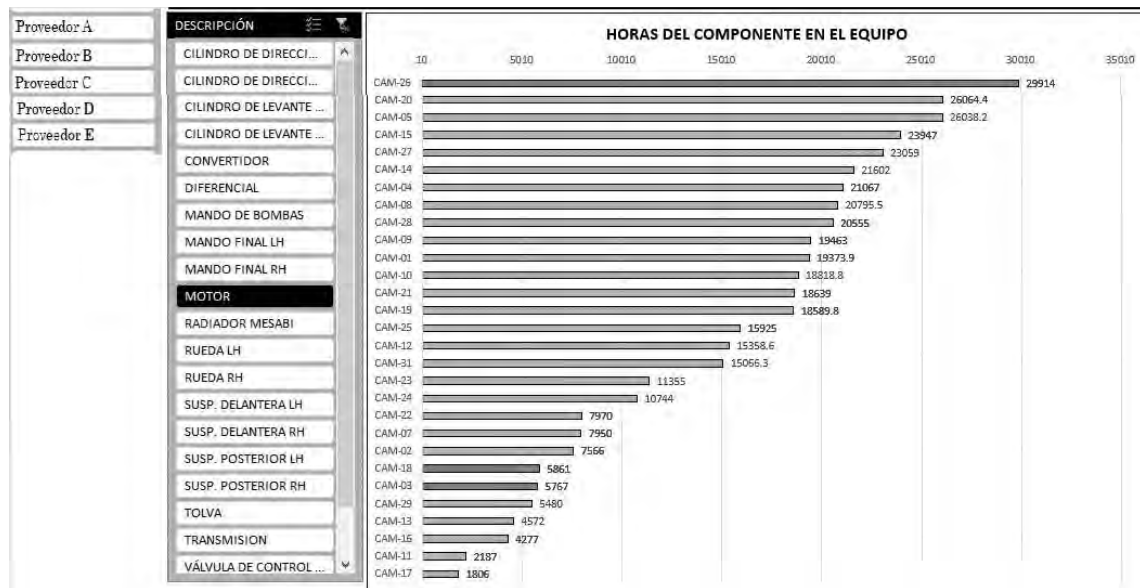
- Modelo: Es importante que el modelo del equipo se registre en esta pestaña esto para identificar más rápido el modelo de la flota de equipos.
- Código interno. - Los equipos son identificados por su código interno por tener características especiales y abreviadas.

Datos del componente.

- Marca. - Se debe de registrar la marca del componente.
- Número de placa: Se colocará el número de placa del componente donde estará los datos del proveedor que reparo el componente.
- Número de parte. – Se debe de registrar el número de parte del componente para una fácil ubicación en el manual de partes.
- Número de serie. - Los componentes tienen un número de serie único y el registro tendrá como objetivo la trazabilidad de este componente.
- Fecha de inicio de operación. – En esta pestaña se debe de colocar la fecha de instalación del componente

Figura 56

Control de componentes por tipo de proveedor.



Nota: En la figura se muestra cómo se controlará las horas de duración de los componentes antes de la falla, tendrá un segmentador por proveedor para un análisis más detallado. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se utilizará la tabla del anexo 07 para controlar de manera individual a cada proveedor y el tipo de componente basado en el indicador de MTTF, todos los componentes tendrán como target u objetivo las horas indicadas por el proveedor, de esta manera habrá una referencia y punto de comparación para medir la calidad de la reparación de los componentes Control del indicador.

El control del indicador de MTTF se realizará de manera mensual junto con la presentación mensual de los indicadores donde se analizará el rendimiento de los componentes de manera general y poniendo énfasis a los componentes reparado por los proveedores por medio de los resultados de las pruebas predictivas como los análisis de aceite, pruebas termográficas y también los reportes de campo con modos de fallo incipiente como sonido, fugas de aceite u otros modos de fallo como pérdida de potencia.

En caso un componente presente desviaciones en las pruebas predictivas tales como sonido, resultados de muestra de aceite fuera de parámetros, temperatura fuera de rango o falta de potencia será derivado al proveedor para que se pueda tomar acción y tomar las medidas preventivas poder recibir el feedback si el componente puede seguir trabajando o no.

El proceso para considerar que un componente reparado ha llegado a fallar será el siguiente:

Instalación del componente. - El proceso inicia una vez instalado del componente en el equipo, de esta manera se inicia el proceso de monitoreo del componente.

Realizar mantenimientos por frecuencia y análisis. – Los componentes tienen un plan de mantenimiento preventivo por frecuencia en las cuales incluye toma de parámetros y pruebas predictivas como análisis de aceite, pruebas termográficas, vibraciones asimismo todos estos datos son evaluados. En este proceso es que se crean alertas porque los resultados de las pruebas no están acordes con los valores nominales.

Informar al proveedor. - En caso de que los valores estén fuera de rango se le comunicara al proveedor para que pueda evaluar el componente.

Evaluación del proveedor. – El proveedor evaluará el componente y dará un diagnóstico, si el componente no puede seguir trabajando será considerado como falla del componente, se procederá a registrar como una falla generando información a la base de datos y luego se procederá al cambio del componente.

De esta manera se registrará la falla del componente por proveedor, en la figura 57 se detalla el flujo de este proceso de registro de falla.

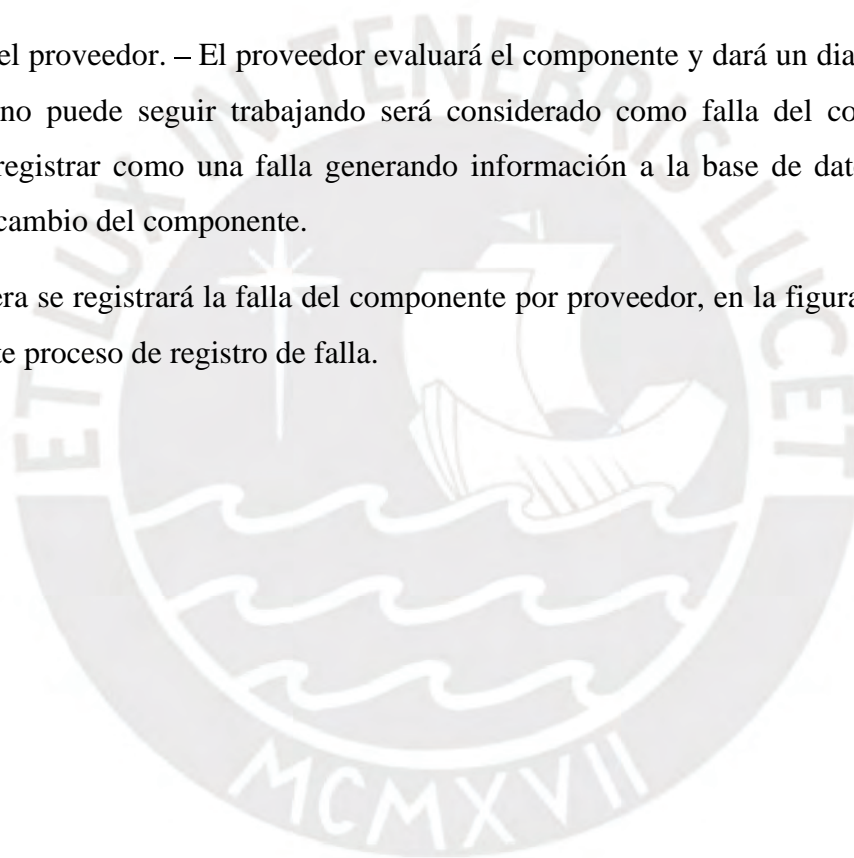
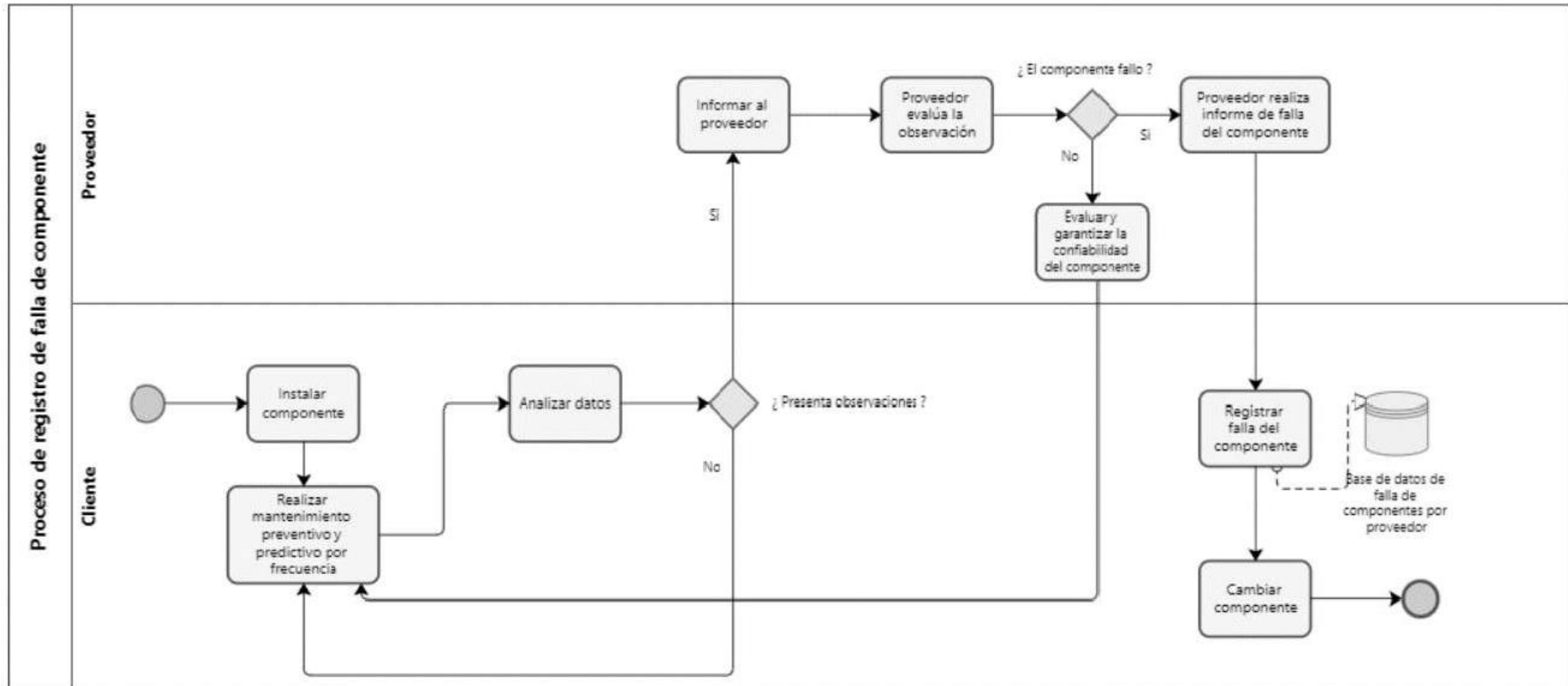


Figura 57

Diagrama de flujo para el registro de falla de componente.



Nota: La figura ilustra el flujo completo para registrar la falla de un componente, detallando la participación del proveedor y las acciones preventivas que puede tomar antes de que ocurra la falla. Fuente: Elaboración propia.

Conclusión:

Teniendo los componentes correctamente identificado por medio de placas y sumado a tener los datos estructurados y ordenados se podrá calcular de manera rápida el indicador MTTF y el control se realizara de manera mensual identificando las falencias de manera global en un tiempo corto y por medio de informes que el proveedor realizara se identificara las falencias y modos de falla de los componentes reparados de los diferentes proveedores, de esta manera con la información recolectada y almacenada se podrá analizar y se podrá tomar las decisiones estratégicas basado en la calidad de las reparaciones que los proveedores.

6.- Capítulo 6: Evaluación financiera del proyecto

Para el flujo de caja del proyecto se calcula el costo de oportunidad (COK) (Véase Anexo 08. El COK calculado es 11.76%, por lo tanto, el flujo de caja del proyecto esperado da un VAN de \$356,481 y una TIR 117.41% de como se muestra a continuación:

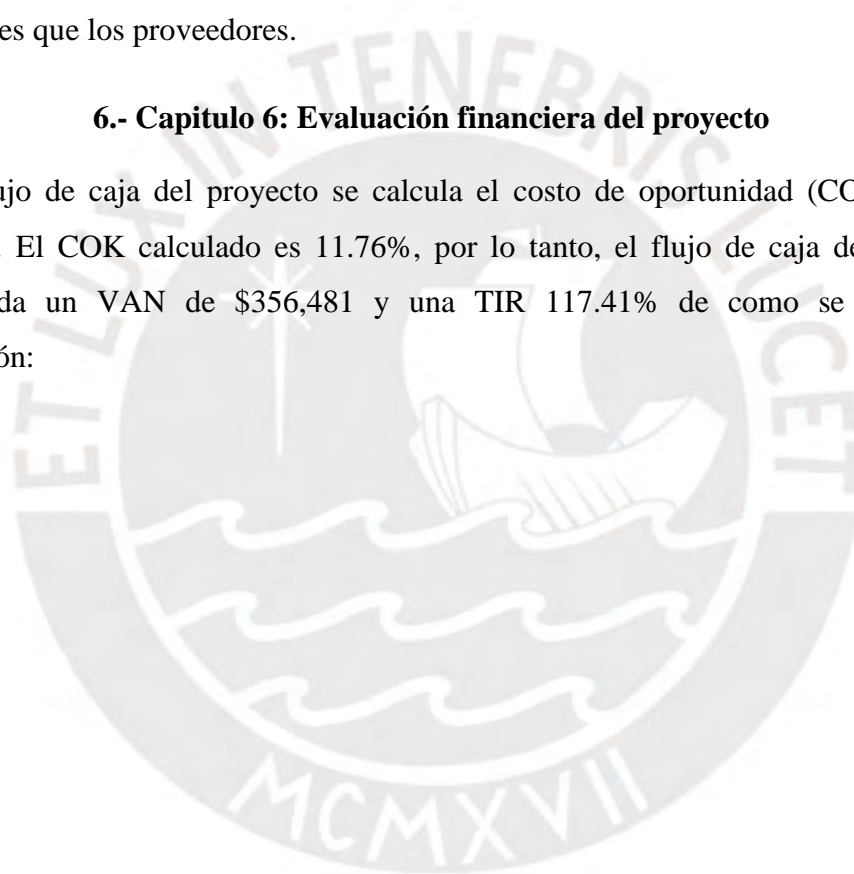


Tabla 40 *Escenario esperado*

Supuestos - Real						
Depreciación	100%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuesto (T)	29.50%					
Costo de Oportunidad del Capital (COK)	11.76%					
	0	1	2	3	4	5
Ahorros		\$432,188	\$432,188	\$432,188	\$432,188	\$432,188
(-) Costos						
(-) Gastos operativos						
(-) Depreciación		\$600,000	\$600,000	\$600,000	\$600,000	\$600,000
(=) UAI = EBIT		\$1,032,188	\$1,032,188	\$1,032,188	\$1,032,188	\$1,032,188
(-) Impuestos		-\$304,495	-\$304,495	-\$304,495	-\$304,495	-\$304,495
(+) Depreciación		-\$600,000	-\$600,000	-\$600,000	-\$600,000	-\$600,000
Flujo Económico de Operación (FEO)		\$127,692	\$127,692	\$127,692	\$127,692	S/.127,692
Gastos netos de capital	-\$106,515					
Flujo de Caja de Libre Disponibilidad (FCLD)	-\$106,515	\$127,692	\$127,692	\$127,692	\$127,692	\$127,692
VAN	\$356,481					
TIR	117.41%					

Nota: En la tabla se muestra un escenario optimista con un TIR de 117.41 %.

Tabla 41

Escenario pesimista

Supuestos - Real						
Depreciación	100%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuesto (T)	29.50%					
Costo de Oportunidad del Capital (COK)	11.76%					
	0	1	2	3	4	5
Ahorros		\$411,336	\$411,336	\$411,336	\$411,336	\$411,336
(-) Costos						
(-) Gastos operativos						
(-) Depreciación		\$600,000	\$600,000	\$600,000	\$600,000	\$600,000
(=) UAII = EBIT		\$1,011,336	\$1,011,336	\$1,011,336	\$1,011,336	\$1,011,336
(-) Impuestos		-\$298,344	-\$298,344	-\$298,344	-\$298,344	-\$298,344
(+) Depreciación		-\$600,000	-\$600,000	-\$600,000	-\$600,000	-\$600,000
Flujo Económico de Operación (FEO)		\$112,992	\$112,992	\$112,992	\$112,992	\$112,992
Gastos netos de capital	-\$106,515					
Flujo de Caja de Libre Disponibilidad (FCLD)	-\$106,515	\$112,992	\$112,992	\$112,992	\$112,992	\$112,992
VAN		\$303,179				
TIR		103.00%				

Nota: En la tabla se muestra un pesimista con un TIR de 105.97 %.

Tabla 42

Escenario optimista

Supuestos - Real		100%	20%	20%	20%	20%	20%
Depreciación		29.50%					
Impuesto (T)							
Costo de Oportunidad del Capital (COK)		11.76%					
	0	1	2	3	4	5	
Ahorros		\$440,476	\$440,476	\$440,476	\$440,476	\$440,476	\$440,476
(-) Costos							
(-) Gastos operativos							
(-) Depreciación		\$600,000	\$600,000	\$600,000	\$600,000	\$600,000	\$600,000
(=) UAII = EBIT		\$1,040,476	\$1,040,476	\$1,040,476	\$1,040,476	\$1,040,476	\$1,040,476
(-) Impuestos		-\$306,941	-\$306,941	-\$306,941	-\$306,941	-\$306,941	-\$306,941
(+) Depreciación		-\$600,000	-\$600,000	-\$600,000	-\$600,000	-\$600,000	-\$600,000
Flujo Económico de Operación (FEO)		\$133,536	\$133,536	\$133,536	\$133,536	\$133,536	\$133,536
Gastos netos de capital	-\$106,515						
Flujo de Caja de Libre Disponibilidad (FCLD)	-\$106,515	\$133,536	\$133,536	\$133,536	\$133,536	\$133,536	\$133,536

VAN	\$377,669
------------	------------------

TIR	123.10%
------------	----------------

Nota: En la tabla se muestra un escenario optimista que resulta un TIR de 123.10 %.

En las tablas 40 a 42 se muestran los escenarios esperado, pesimista y optimista, los cuales cumplen con

$VAN \geq 0$ y

$TIR > COK$

Por lo que se cumple la factibilidad económica del proyecto.



7.- Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

La elaboración del piloto de la implementación permite confirmar el aumento positivo en la disponibilidad mecánica al aplicar la metodología RCM con la herramienta AMEF y el TPM con los dos pilares mantenimiento autónomo y planificado en una empresa de maquinaria pesada. Se puede concluir que se logra disminuir la falta de mantenimiento preventivo, ya que las interrupciones debidas a fallas eran muy frecuentes. También se puede concluir que se logra reducir los intervalos cortos entre fallos, ya que una mejor planificación en la gestión del mantenimiento contribuye a esa reducción. Además, se observa que se logra minimizar los retrabajos, ya que la implementación del Pilar del Mantenimiento Autónomo disminuye los tiempos prolongados de reparación y espera.

La evaluación financiera del proyecto confirma su viabilidad, ya que los resultados indican que los tres escenarios evaluados son favorables. En el escenario más optimista, se obtiene un Valor Actual Neto (VAN) de 48,188, que es positivo y mayor que cero. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 46.00%, superando el 11% de tasa requerida por la empresa, y el período de recuperación de la inversión es de 1.77 años (Pay Back).

La validación de la propuesta se lleva a cabo mediante el piloto, que ya se implementó anteriormente y demostró que reducir las paradas de 3116 horas a 1870 horas, los retrabajos del 14% al 4% y aumentar la disponibilidad del 84% al 90%.

Se recomienda aplicar los indicadores sugeridos en este proyecto en las otras líneas de producción para identificar áreas que también requieran mejoras en sus procesos. Además, se sugiere implementar un programa de capacitación trimestral para los operadores de maquinaria en las actividades de inspección de equipos, con el fin de fomentar la participación y el conocimiento del personal.

Por último se recomienda profundizar en el uso de herramientas de monitoreo y análisis de datos en la gestión de flotas, con el objetivo de mejorar la toma de decisiones en mantenimiento. La integración de tecnologías avanzadas para la recopilación y procesamiento de datos permitirá optimizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, lo que impactará positivamente en la productividad y reducción de costos operativos.

Referencias

- Antezano, T. (2017). *Equipos mineros subterráneos 1* [Diapositiva de PowerPoint].
Diplomatura en Especialización en Gestión de Maquinaria Pesada, Pontificia
Universidad Católica del Perú.
- Arslankaya, S., & Atay, H. (2015). Maintenance management and lean manufacturing
practices in a firm which produces dairy products. *Procedia-Social and
Behavioral Sciences*, 207, 214-224.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815052234>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2024, agosto 28). *Evolución del precio del dólar*.
Recuperado de
<https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/resultados/PN01208PM/html>
- Baptista, M., Sankararaman, S., de Medeiros, I. P., Nascimento Jr, C., Prendinger, H., &
Henriques, E. M. (2018). Forecasting fault events for predictive maintenance
using data-driven techniques and ARMA modeling. *Computers & Industrial
Engineering*, 115, 41-53.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036083521730520X>
- Bertolini, M., Mezzogori, D., & Zammori, F. (2019). Comparison of new
metaheuristics, for the solution of an integrated jobs-maintenance scheduling
problem. *Expert Systems with Applications*, 122, 118-136.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417418307991>
- Boletín sociedad nacional de minera petróleo y energía (04 de abril de 2023) *Boletín
estadístico mensual minero*.

Caterpillar. (2019) *Performance Handbook* (p 755 – 1201).

<https://www.warrencat.com/content/uploads/2021/09/pdfPerformanceHandbook49.pdf>

Caterpillar (2019). *Mining Equipment Managenent*.

<https://es.slideshare.net/AlexanderRamos482228/2019-caterpillar-mining-equipment-management-metrics-document-v4pdf>

Colledani, M., Magnanini, M. C., & Tolio, T. (2018). Impact of opportunistic maintenance on manufacturing system performance. *CIRP Annals*, 67(1), 499-502.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850618301021>

Dondapati, S., Trivedi, M., Dondapati, R. S., & Chandra, D. (2017). Investigation on the mechanical stresses in a muffler mounting bracket using Root Cause Failure Analysis (RCFA), finite element analysis and experimental validation. *Engineering Failure Analysis*, 81, 145-154.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630717309317>

Escobar Ramírez Alejandra, Londoño Borda Claudia A (2017). *Ventajas competitivas del outsourcing*. Pag 2 - pag 3.

<http://hdl.handle.net/20.500.12237/819>

Escuela de formación profesional Ingenium (20 de junio 2023) *Minería subterránea: Definición y ventajas*.

<https://ingenium.edu.pe/blog/mineria/mineria-subterranea-definicion-y-ventajas/>

Fernandes, M., Canito, A., Bolón-Canedo, V., Conceição, L., Praça, I., & Marreiros, G.

(2019). Data analysis and feature selection for predictive maintenance: a case-study in the metallurgic industry. *International Journal of Information Management*, 46,252-262

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401218304699>

Filz, M. A., Langner, J. E. B., Herrmann, C., & Thiede, S. (2021). Data-driven failure mode and effect analysis (FMEA) to enhance maintenance planning. *Computers in Industry*,129,103451.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361521000580?via>

[%3Dihub](#)

Ford Production system (1996) *Manual Suplementario de Análisis de Modos y Efectos de Falla para Maquinaria*. Recuperado de

[fordmachineryfmea.pdf \(volumetric.com.br\)](http://fordmachineryfmea.pdf(volumetric.com.br))

Gutiérrez Mario (2023, marzo 27) Cinco estrategias para fortalecer la imagen y reputación de tu empresa *Gestión*. Recuperado de

<https://gestion.pe/economia/empresas/cinco-estrategias-para-fortalecer-la-imagen-y-reputacion-de-tu-empresa-noticia/?ref=gesr>

Infocapitalhumano.pe. (2024, junio 8). *El Perú tiene el más alto índice de rotación laboral en Latinoamérica*. Recuperado de

<https://infocapitalhumano.pe/recursos-humanos/noticias-y-movidas/el-peru-tiene-el-mas-alto-indice-de-rotacion-laboral-en-latinoamerica/>

Ioannou, A., Angus, A., & Brennan, F. (2019). Informing parametric risk control policies for operational uncertainties of offshore wind energy assets. *Ocean*

Engineering, 177,1-11.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801818316755>

Kadena, E., Koçak, S., Takács-György, K., & Keszthelyi, A. (2022). FMEA in Smartphones: A Fuzzy Approach. *Mathematics*, 10(3), 513.

<https://www.mdpi.com/2227-7390/10/3/513>

Laloix, T., Iung, B., Voisin, A., & Romagne, E. (2019). Parameter identification of health indicator aggregation for decision-making in predictive maintenance: Application to machine tool. *CIRP Annals*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850619300216>

Liu, X., He, D., Lodewijks, G., Pang, Y., & Mei, J. (2019). Integrated decision making for predictive maintenance of belt conveyor systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 188, 347-351.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832018312122>

Liu, Q., Dong, M., & Chen, F. F. (2018). Single-machine-based joint optimization of predictive maintenance planning and production scheduling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 51, 238-247.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584517300649>

Lopes, R. (2018). Integrated model of quality inspection, preventive maintenance and buffer stock in an imperfect production system. *Computers & Industrial Engineering*, 126, 650-656.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835218304893>

Ministerio de energía y minas (4 de junio de 2023) Producción minera archivo.

<https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/3614940-produccion-minera>

Ministerio de economía y finanzas (23 de diciembre 2021) ministro Francke: “En el 2021 el Perú será el país con el mayor crecimiento económico de América Latina y con la mayor reducción del déficit ” *Plataforma dl Estado Peruano*.

[Ministro Francke: “En el 2021 el Perú será el país con el mayor crecimiento económico de América Latina y con la mayor reducción del déficit - Noticias - Ministerio de Economía y Finanzas - Plataforma del Estado Peruano \(www.gob.pe\)](https://www.gob.pe/institucion/mef/informes-publicaciones/3614940-produccion-minera)

Munyensanga, P., Widyanto, S. A., & Aziz, M. N. (2018). Information management to improve the effectiveness of preventive maintenance activities with computerized maintenance management system at the intake system of circulating water pump. *Procedia CIRP*, 78, 289-294.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118312034>

Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 215-228.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584517300686>

Pascal, V., Toufik, A., Manuel, A., Florent, D., & Frédéric, K. (2019). Improvement indicators for Total Productive Maintenance policy. *Control Engineering Practice*, 82, 86-96.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967066118305665>

Rumbo Minero Internacional. (1 de abril de 2023). China acelera proyectos de mineral para asegurar suministro internacional.

<https://www.rumbominero.com/peru/noticias/internacionales/china-acelerara-proyectos-de-mineral-de-hierro/>

Rumbo Minero Internacional. (16 de mayo de 2023). Producción nacional de hierro creció 32.3% en el primer trimestre del año.

<https://www.rumbominero.com/peru/produccion-nacional-de-hierro-primer-trimestre/>

Rumbo Minero Internacional. (14 de febrero 2023). APN otorgó habilitación portuaria a Shougang Hierro Perú para la construcción de su nuevo muelle.

<https://www.rumbominero.com/peru/apn-shougang-hierro-peru-nuevo-muelle/>

Rumbo Minero Internacional (24 de abril de 2023) Compras globales de la minería peruana bordean los US\$ 10 mil millones al año.

<https://www.rumbominero.com/peru/compras-globales-mineria-peruana/>

Rumbo Minero Internacional (25 de mayo de 2023) Transformando la minería con la gestión de datos: Un catalizador para la eficiencia y la seguridad.

<https://www.rumbominero.com/actualidad/mineria-gestion-de-datos-eficiencia-y-la-seguridad/>

Saetta, S., & Caldarelli, V. (2018). The machinery performance analysis with smart technologies: a case in the food industry. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 441-446. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318314654>

Seiti, H., Hafezalkotob, A., & Fattahi, R. (2018). Extending a pessimistic–optimistic fuzzy information axiom-based approach considering acceptable risk: Application in the selection of maintenance strategy. *Applied Soft Computing*, 67, 895-909.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494617306804>

Sociedad nacional de Minería, petróleo y energía (29 de mayo de 2023). Publicaciones del sector minero Los minerales, el hierro.
<https://www.snmpe.org.pe/mineria/publicaciones-del-sector-minero/los-minerales/4671-el-hierro-2.html>

Spüntrup, F. S., Dalle Ave, G., Imstrand, L., & Harjunoski, I. (2019). Performance-based maintenance planning for asset fleets. *IFAC-PapersOnLine*, 52(1), 697-702.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896319302319>

SMRP Best Practices 6th Edition 2009-2020.

<https://www.slideshare.net/VictorMarcos18/smrp-best-practices-6th-edition>

Sueldos del personal de mantenimiento de maquinaria para minería (24 de junio 2024).
[Salarios por área en Perú \(bumeran.com.pe\)](https://bumeran.com.pe)

Sueldos actuales de los técnicos de mantenimiento en la empresa San Martín contratistas (23 de junio 2024).
[¿Cómo son los sueldos en San Martín Contratistas Generales S.A Perú? | Computrabajo](#)

Van Hoof, V., Bench, S., Soto, A. B., Luppá, P. P., Malpass, A., Schilling, U. M., Rooney, K. D., Stretton, A., & Tintu, A. N. (2022). Failure mode and effects

analysis (FMEA) at the preanalytical phase for POCT blood gas analysis: Proposal for a shared proactive risk analysis model. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 60(8), 1186–1201.
<https://doi.org/10.1515/cclm-2022-0319>

Yakovleva V. L. , . Berseneva V. A. , . Glebova A. V. *, Kulniyazb S. S. **, and Marininc M. A. (23 de setiembre de 2019) Selecting Cyclical-and-Continuous Process Flow Diagrams for Deep Open Pit Mines. MINERAL MINING TECHNOLOGY.

<https://doi.org/10.1134/S106273911905615X>

Yang, L., Ye, Z. S., Lee, C. G., Yang, S. F., & Peng, R. (2019). A two-phase preventive maintenance policy considering imperfect repair and postponed replacement. *European Journal of Operational Research*, 274(3), 966-977.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221718309172>

Yepez, P., Alsayyed, B., & Ahmad, R. (2019). Intelligent Assisted Maintenance Plan generation for Corrective Maintenance. *Manufacturing Letters*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384631830155X>

Anexos

Anexo 01: Taxonomía camión 785

DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACIÓN	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA ELÉCTRICO DE CABINA	CAB	CAM - ELE - CAB	CLAXÓN	50-6998
			CONJUNTO DE FRENOS	45-7606
			CONJUNTO VELOCIMETRO/TACOMETRO	318-1181
			ECM CIGDS	351-4429
			ECM RAC	239-4254
			ECM VIMS	179-1730
			GRUPO DE RELAYBREAKER DE CHASIS	184-4788
			GRUPO DE SWITCH DE CONSOLA	165-4026
			HARNESS DE ECM VIMS	143-5123
			HARNESS DE TABLERO VIMS Y SWITCHES	230-9202
			LUZ DE TECLADO	375-1478
			LUZ TABLERO VIMS	375-1476
			RADIO COMUNICACIÓN	97-4247
			SISTEMA DE LIMPIA PARABRISAS	309-7914
SISTEMA ELÉCTRICO DE LEVANTAVIDRIOS	8W-6217			
SISTEMA ELÉCTRICO DE CARGA	CAR	CAM - ELE - CAR	ALTERNADOR	566-9549
			BATERÍA	378-4052
			CABLEADO ELÉCTRICO	159-5247
			SWITCH DE DESCONEXIÓN DE BATERÍA	437-8753
SISTEMA ELÉCTRICO DE DIRECCIÓN	DIR	CAM - ELE - DIR	HARNESS DE SISEMA ELÉCTRICO DE DIRECCIÓN	110-6150
			SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE DE DIRECCIÓN	100-3055
			SWITCH DE PRESIÓN DE ACEITE DE DIRECCIÓN	307-6719
			SWITCH DE PRESIÓN DE ACEITE DE DIRECCIÓN ALTA	154-9520
			SWITCH DE PRESIÓN DE DIRECCIÓN BAJA	164-7577
			VÁLVULA SOLENOIDE DE ALIVIO DE PRESIÓN DE ACUMULADORES	51-0901

DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACIÓN	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA ELÉCTRICO DE LEVANTE	LEV	CAM - ELE - LEV	HARNESS DE SISTEMA ELÉCTRICO DE LEVANTE	517-1522
			SENSOR DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	338-1462
			SENSOR DE POSICIÓN DE PALANCA DE LEVANTE	200-047
			SENSOR DE POSICIÓN DE TOLVA	202-000
			SWITCH DE SCREEN DE LEVANTE	250-894
			VÁLVULA SOLENOIDE DE LEVANTE/BAJADA DE TOLVA	251-446
SISTEMA ELÉCTRICO DE LUCES	LUZ	CAM - ELE - LUZ	HARNESS DE SISTEMA DE LUCES DELANTERAS	251-451
			HARNESS DE SISTEMA DE LUCES INTERMITENTES	251-726
			HARNESS DE SISTEMA DE LUCES POSTERIORES	251-782
			LUCES DELANTERAS	252-229
			LUCES INTERMITENTES	252-232
SISTEMA ELÉCTRICO DE SUSPENSIONES	SUS	CAM - ELE - SUS	LUCES POSTERIORES	252-242
			HARNESS DE SENSORES DE SUSPENSIONES DELANTERAS	252-247
			HARNESS DE SENSORES DE SUSPENSIONES POSTERIORES	252-881
			SENSOR DE PRESIÓN SE SUSPENSION DELANTERA DERECHA	253-010
			SENSOR DE PRESIÓN SE SUSPENSION DELANTERA IZQUIERDA	253-685
			SENSOR DE PRESIÓN SE SUSPENSION POSTERIOR DERECHA	253-729
SENSOR DE PRESIÓN SE SUSPENSION POSTERIOR IZQUIERDA	253-748			

DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACIÓN	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA ELECTRÓNICO DE FRENOS	FRE	CAM - ELE - FRE	ECM DE FRENOS	257-405
			HARNESS DE SISTEMA DE FRENOS	257-937
			SENSOR DE PRESIÓN DE AIRE DE FRENOS	258-574
			SENSOR DE PRESIÓN DE AIRE DE FRENOS	261-264
			SENSOR DE PRESIÓN DE LIBERACION DE FRENO DERECHO	262-036
			SENSOR DE PRESIÓN DE LIBERACION DE FRENO IZQUIERDO	262-663
			SENSOR DE TEMPERATURA DE FRENO DELANTERO DERECHO	269-182
			SENSOR DE TEMPERATURA DE FRENO DELANTERO IZQUIERDO	274-690
			SENSOR DE TEMPERATURA DE FRENO POSTERIOR DERECHO	288-044
			SENSOR DE TEMPERATURA DE FRENO POSTERIOR IZQUIERDO	289-933
			SOLENOIDE DE CONTROL DE ARC	289-934
			SOLENOIDE DE TCS DE 4 VÍAS	289-935
			SOLENOIDE DE TCS PROPORCIONAL	290-164
			SOLENOIDE DIVERTER DE ENFRIAMIENTO DE FRENOS DELANTEROS	290-168
			SWITCH DE FRENO DE PARQUEO	290-222
			SWITCH DE PRESIÓN DE RETARDADOR AUTOMÁTICA	294-456

DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACION	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA ELECTRONICO DE TREN DE POTENCIA	TPO	CAM - ELE - TPO	ECM DE CHASIS/TRANSMISION	294-458
			HARNESS DE DIFERENCIAL Y FRENSOS	295-008
			HARNESS DE TRANSMISION/VIMS	295-087
			HARNESS DE VALVULAS DE CONTROL DE TRANSMISION	295-183
			MOTOR DE VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO DE DIFERENCIAL	295-232
			SENSOR DE NIVEL DE TRANSMISION	295-280
			SENSOR DE POSICION DE ACTUAL GEAR DE TRANSMISION	295-293
			SENSOR DE POSICION DE PALANCA DE TRANSMISION	295-340
			SENSOR DE PRESION DE DIFERENCIAL	295-341
			SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE DE CONVERTIDOR	295-342
			SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE DE DIFERENCIAL	295-343
			SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE DE TRANSMISION	295-344
			SENSOR DE VELOCIDAD DE MANDO FINAL DERECHO	295-345
			SENSOR DE VELOCIDAD DE MANDO FINAL IZQUIERDO	295-346
			SENSOR DE VELOCIDAD DE SALIDA DE CONVERTIDOR	295-347
			SENSOR DE VELOCIDAD DE SALIDA DE TRANSMISION	295-348
			SENSOR DE VELOCIDAD DE TRANSMISION	295-349
			SOLENOIDE DE EMBRAGUE LOCKUP	295-360
			SOLENOIDE DOWNSHIFT	295-361
			SOLENOIDE UPSHIFT	295-363
			SWITCH DE FILTRO DE CARGA DE CONVERTIDOR	295-365
			SWITCH DE FILTRO DE CARGA DE TRANSMISION	295-366
			SWITCH DE FILTRO DE CARGA Y LUBRICACION DE LA TRANSMISION	295-386
			SWITCH DE FILTRO DE ENTRADA AL CONVERTIDOR	295-388
			SWITCH DE FILTRO SATURADO DE DIFERENCIAL	295-395
			SWITCH DE LA REJILLA DE SALIDA DE CONVERTIDOR	295-396
			SWITCH DE NIVEL DE ACEITE DE DIFERENCIAL LH	295-426
			SWITCH DE NIVEL DE ACEITE DE DIFERENCIAL RH	295-447
			SWITCH DE REJILLA DE CONVERTIDOR	295-448

DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACION	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA ELECTRONICO DEL MOTOR	MOT	CAM - ELE - MOT	CABLEADO DE FRAME DE MOTOR	295-449
			ECM DE MOTOR	295-454
			HARNESS DE INYECTORES	295-455
			HARNESS DE MOTOR	295-456
			SENSOR DE NIVEL DE AGUA DE CAMISAS	295-458
			SENSOR DE NIVEL DE COMBUSTIBLE	295-460
			SENSOR DE NIVEL DE REFRIGERANTE	295-524
			SENSOR DE NIVEL DE REFRIGERANTE DE POSTENFRIADOR	295-559
			SENSOR DE POSICION DE PEDAL DE ACELERADOR	295-575
			SENSOR DE PRESION ATMOSFERICA	295-576
			SENSOR DE PRESION DE ACEITE DE CARTER	295-622
			SENSOR DE PRESION DE ACEITE DE MOTOR	295-642
			SENSOR DE PRESION DE AIRE ACONDICIONADO	295-663
			SENSOR DE PRESION DE COMBUSTIBLE	295-664
			SENSOR DE PRESION DE CRANKCASE	295-741
			SENSOR DE PRESION DE ENTRADA DE TURBOCARGADOR	296-004
			SENSOR DE PRESION DE SALIDA DE TURBOCARGADOR	296-013
			SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE	296-082
			SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE DE MOTOR	296-091
			SENSOR DE TEMPERATURA DE GASES DE ESCAPE	296-095
			SENSOR DE TEMPERATURA DE POSTENFRIADOR DELANTERO	296-203
			SENSOR DE TEMPERATURA DE REFRIGERANTE	296-230
			SENSOR DE VELOCIDAD - SINCRONIZACION DE MOTOR	296-401
			SENSOR DE VELOCIDAD DE SALIDA DE MOTOR	296-448
			SOLENOIDES DE INYECTORES	296-480
			SWITCH DE FLUJO DE REFRIGERANTE	296-487
			SWITCH DE NIVEL BAJO DE ACEITE DE MOTOR	296-603
			SWITCH DE NIVEL DE AGUA DE LAS CAMISAS	296-832
			SWITCH DE NIVEL DE POSTENFRIADOR	296-834

DESCRIPCION SISTEMA	CODIGO SISTEMA	DESCRIPCION SUB SISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACIÓN	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE			
SISTEMA DE AIRE & FRENOS	AFR	GRUPO DE FRENO DE SERVICIO & PARQUEO	FRE	CAM - AFR - FRE	BOMBA DE LIBERACION DE FRENO DE PARQUEO	5T-1060			
					ENFRIADOR DE ACEITE DE FRENS DELANTEROS	200-5975			
					ENFRIADOR DE ACEITE DE FRENS POSTERIORES	200-5975			
					FILTRO DE FRENO DE PARQUEO	391-7125			
					MOTOR DE LIBERACION DE FRENO DE PARQUEO	5T-1060			
					PAQUETES DE FRENO DE SERVICIO	205-0567			
					SCREB. DE ENFRIAMIENTO DE FRENS POSTERIOR	3P-0887			
					SCREB. DE ENFRIAMIENTO DE FRENS DELANTEROS	3P-0887			
					SLACK DEADJUSTER DELANTERO	205-0557			
					SLACK DEADJUSTER POSTERIOR	205-0559			
					TANQUE DE COMPENSACION DE FRENS	8W-3406			
					VALVULA DE ALIVIO	159-5149			
					VALVULA DE CONTROL AUTOMATICO DE RETARDADOR	127-4661			
					VALVULA DE FRENO DE SERVICIO	237-7318			
					VALVULA DE FRENO SECUNDARIO	113-1543			
					VALVULA DE LIBERACION DE FRENO DE PARQUEO	172-5602			
					VALVULA DIVERTER	237-7318			
					VALVULA DOBLE CHECK DIVERTER DE ENFRIADOR DE FRENS	358-5500			
					VALVULA RELE DE FRENO DE SERVICIO/RETARDADOR	189-8666			
					GRUPO DE SISTEMA DE AIRE	AIR	CAM - AFR - AIR	CILINDROS MAESTROS DE FRENS	9T-7204
		COMPRESOR	160-9845						
		GOBERNADOR	4N-9580						
		MULTIPLE DE SUMINISTRO DE AIRE	351-0524						
		SECADOR DE AIRE	355-0210						
		TANQUE DE AIRE	304-0417						
		TANQUE SECUNDARIO DE AIRE	253-0779						
		VALVULA CHECK	304-0417						
		VALVULA DE ALIVIO DE TANQUE DE AIRE	524-0073						
		VALVULA DE PROTECCION DE SISTEMA DE AIRE	6B-9664						
		VALVULA DE PURGA DE CONDENSADO	7X-7655						
		VALVULA DOBLE CHECK DE AIRE DE FRENS	8M-3368						
		VALVULA INVERSORA	351-0524						
		LINEAS Y TUBERIAS	LIN	CAM - AFR - LIN				ABRAZADERAS	3C-8665
								CONECTORES HIDRAULICOS	5P-9617
					MANGUERAS DE AIRE	172-0989			
					MANGUERAS HIDRAULICAS	8W-4956			
					TUBERIAS DE ENFRIAMIENTO DE ACEITE HIDRAULICO	177-3956			

DESCRIPCION SISTEMA	CODIGO SISTEMA	DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACIÓN	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA DE DIRECCION	DIR	GRUPO DE BOMBAS Y VALVULAS	BBV	CAM - DIR - BBV	BOMBA DE DIRECCION	5T-0912
					BOMBA DE DOSIFICACION O HAND METERING	9T-4247
					VALVULA COMPENSADORA DE PRESION	352-214
					VALVULA DE ALIVIO CRUZADO	352-239
					VALVULA DE ALIVIO DE RESPALDO DEL SISTEMA	352-279
		GRUPO DE DIRECCION & CILINDROS	CIL	CAM - DIR - CIL	ACUMULADOR DE DIRECCION LH	352-280
					ACUMULADOR DE DIRECCION RH	352-281
					CILINDRO DE DIRECCION LH	352-282
					CILINDRO DE DIRECCION RH	353-017
					TANQUE DE DIRECCION	353-020
		LINEAS HIDRAULICAS	LIN	CAM - DIR - LIN	ABRAZADERAS	353-021
					MANGUERAS HIDRAULICAS DE DIRECCION	353-025
					TUBERIAS HIDRAULICAS	353-025

DESCRIPCION SISTEMA	CODIGO SISTEMA	DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACION	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE			
SISTEMA DE TREN DE POTENCIA	TPO	GRUPO DE EJE POSTERIOR & TRASLACION	EJE	CAM - TPO - EJE	ARANDELAS DE BRONCE DE MANDO FINAL LH	353-076			
					ARANDELAS DE BRONCE DE MANDO FINAL RH	353-179			
					BOMBA DE ACEITE DE DIFERENCIAL	353-180			
					DIFERENCIAL	353-181			
					ENFRIADOR DE ACEITE DE EJE POSTERIOR	353-196			
					FILTRO DE ACEITE DE DIFERENCIAL	353-199			
					MANDO FINAL LH	353-200			
					MANDO FINAL RH	353-201			
					RUEDA LH	353-202			
					RUEDA RH	353-203			
					SEMIEJE DE MANDO FINAL LH	353-397			
					SEMIEJE DE MANDO FINAL RH	353-430			
					VALVULA DE CONTROL DE FLUIDO	353-441			
					VALVULA DE CONTROL DE PRESION/TEMPERATURA	353-464			
					LINEAS Y TUBERIAS HIDRAULICAS	LIN	CAM - TPO - LIN	MANGUERAS HIDRAULICAS	353-480
					NEUMATICOS	NEU	CAM - TPO - NEU	NEUMATICO POSICION 1	353-528
								NEUMATICO POSICION 2	353-536
								NEUMATICO POSICION 3	353-657
		NEUMATICO POSICION 4	353-686						
		NEUMATICO POSICION 5	353-751						
		NEUMATICO POSICION 6	353-822						
		SENSOR DORAN	354-021						
		SISTEMA DE CONVERTIDOR	CTO	CAM - TPO - CTO	BOMBA DE CARGA DE CONVERTIDOR	354-150			
					BOMBA DE TRASBEGO DE CONVERTIDOR	354-190			
					CONVERTIDOR	354-191			
					ENGRANAJE A LA VOLANTE DEL MOTOR	354-194			
					FILTRO DE CARGA DE CONVERTIDOR	354-539			
					REJILLA DE CARGA DE CONVERTIDOR	354-527			
		VALVULA LOCKUP	354-535						
		SISTEMA DE TRANSMISION	TRA	CAM - TPO - TRA	BOMBA DE CARGA DE TRANSMISION	354-549			
					BOMBA DE LUBRICACION DE TRANSMISION	354-550			
					BOMBA TRASBEGO DE TRANSMISION	354-560			
					CONTROL DE VALVULAS DE TRANSMISION	354-561			
					CRUCETA DE EJE CENTRAL	354-562			
					EJE DE UNION DE CONVERTIDOR	354-651			
					ENFRIADOR DE ACEITE DE TRANSMISION	356-964			
					FILTRO DE LUBRICACION DE TRANSMISION	357-361			
					FILTRO DE TRANSMISION DE CARGA	350-210			
					MANDOS DE BOMBAS PTO	358-903			
					SCREEN DE BARRIDO DE TRANSMISION	359-650			
					TABLETA DE POSICION DE MARCHA	359-651			
					TRANSMISION	359-652			

DESCRIPCION SISTEMA	CODIGO SISTEMA	DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACION	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA CONTRAINCENDIOS	SCI	CONTROL ELÉCTRICO SCI	CELE	CAM - SCI - CELE	ACTUADOR ELÉCTRICO	363-480
					ACTUADOR MECÁNICO	363-481
					CABLE SENSOR	363-483
					MÓDULO DE INTERFASE	363-527
					PANEL DE CONTROL	364-427
		ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN	ALDI	CAM - SCI - ALDI	MANGUERAS DE DISTRIBUCIÓN DE DESCARGA	367-564
					BOQUILLAS	367-981
					BOTELLAS DE NITRÓGENO	368-150
					TANQUES PQS	368-370
					TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE DESCARGA	370-191

DESCRIPCION SISTEMA	CODIGO SISTEMA	DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACION	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA ESTRUCTURAL	EST	BASTIDOR Y CAJA	CHA	CAM - EST - CHA	BASTIDOR	296-878
					CABINA	296-919
					CAJA Y TECHO	296-933
					CILINDROS DE SUSPENSION DELANTERA LH	296-988
					CILINDROS DE SUSPENSION DELANTERA RH	297-001
					CILINDROS DE SUSPENSION POSTERIOR LH	297-048
					CILINDROS DE SUSPENSION POSTERIOR RH	297-049
					COMPUERTA DEL MOTOR DEL CAMION	297-233
					ESCALERA	297-659
					PASADISO (BARANDAS)	297-707
					RETROVISORES	297-843
					TOLVA	298-382
		CABINA	CAB	CAM - EST - CAB	ASIENTO	298-923
					CINTURON DE SEGURIDAD	301-391
					ESPEJOS RETROVISORES	301-400
					MANIJA DE PUERTA	302-875
					PUERTAS	302-987
					RECURRIMIENTO DE TECHO & PISO	309-966
		GRUPO DE LUBRICACION AUTOMATICA	LUB	CAM - EST - LUB	TABLETO	310-141
					TAPASOL	310-269
					VIDRIOS & VENTANAS	315-537
					BOMBA DE LUBRICACION AUTOMATICA	315-561
					DEPOSITO DE GRASA	316-816
INYECTORES DE GRASA	317-962					
LINEAS DE GRASA	318-236					
VALVULA DE DISTRIBUCION DE LUBRICACION	320-143					

DESCRIPCION SISTEMA	CODIGO SISTEMA	DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACIÓN	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA HIDRAULICO	HID	BOMBAS Y VALVULAS HIDRAULICAS	BBV	CAM - HID - BBV	BOMBA DE LEVANTE	322-687
					EJE DE ACCIONAMIENTO BOMBA PTO	322-695
					VALVULA CONTRABALANCE	322-697
					VALVULA DE ALIVIO DE BAJADA DE TOLVA	322-699
					VALVULA DE ALIVIO DE LEVANTE	328-622
					VALVULA DE CHECK DE CARGA	330-713
		GRUPO DE CILINDROS	CIL	CAM - HID - CIL	VALVULA DE CONTROL DE LEVANTE	331-955
					CILINDROS DE LEVANTE DERECHO/IZQUIERDO	332-270
		IMPLEMENTOS & COMPONENTES	IMP	CAM - HID - IMP	ENFRIADOR DE ACEITE HIDRAULICO	332-527
					FILTRO DE ACEITE HIDRAULICO	336-034
					REJILLAS DE LEVANTE	336-423
					TANQUE HIDRAULICO	336-480
					TAPA DE TANQUE HIDRAULICO	336-648
LINEAS HIDRAULICAS	LIN	CAM - HID - LIN	TUBERIAS DE LEVANTAMIENTO	339-328		

DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACIÓN	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
ADMISION Y ESCAPE DE AIRE	AIR	CAM - MOT - AIR	BELLOW (FUELLE DE ADMISION - ESCAPE)	339-406
			FILTROS DE AIRE	340-305
			MULTIPLE DE ESCAPE	340-306
			POSTENFRIADOR DE AIRE	340-308
			SILENCIADOR	340-705
			TUBERIAS DE AIRE ADMISION	341-107
			TUBERIAS DE ESCAPE	341-354
			TURBOCOMPRESOR	341-355
COMPONENTES GRUPO MOTOR	BLO	CAM - MOT - BLO	ANILLOS DE PISTÓN	341-473
			BLOCK DE MOTOR	341-489
			CAMISAS	341-490
			CÁRTER DE MOTOR	341-497
			COJINETES DE BIELA	341-515
			CULATA	342-641
			DAMPER	342-645
			EJES DE LEVAS	342-654
			MECANISMOS DE VALVULAS	342-674
			PISTONES	342-693
			TAPA DE BALANCINES	342-823
			VALVULA DE ADMISION Y ESCAPE	342-862
VOLANTE	342-863			
SISTEMA DE ARRANQUE	ARR	CAM - MOT - ARR	ARRANCADOR NEUMÁTICO	342-885
			VALVULAS DE APERTURA DE AIRE	342-879
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	COM	CAM - MOT - COM	BOMBA DE CEBADO	342-881
			BOMBA DE TRANSFERENCIA	342-912
			FILTROS DE COMBUSTIBLE	342-922
			INYECTORES DE COMBUSTIBLE	342-923
			MANGUERAS DE COMBUSTIBLE	342-928
			SEPARADOR DE AGUA	342-929
			TANQUE DE COMBUSTIBLE	342-942
VALVULA REGULADORA DE PRESIÓN	342-950			

DESCRIPCION SUBSISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	CODIGO DE ASIGNACIÓN	DESCRIPCION PARTE	NUMERO DE PARTE
SISTEMA DE LUBRICACION	LUB	CAM - MOT - LUB	BOMBA DE ACEITE	342-968
			BOMBA DE BARRIDO (SCAVENGE)	342-970
			ENFRIADOR DE ACEITE DE MOTOR	342-973
			FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	342-979
			INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE	342-985
			RESPIRADEROS	342-988
			TUBERIAS DE ACEITE DE MOTOR	342-989
			TUBO DE LLENADO	342-990
			VALVULA DE SECUENCIA	342-993
			ABRAZADERAS DE MANGUERA	342-994
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	REF	CAM - MOT - REF	BOMBA DE AGUA AUXILIAR	342-995
			BOMBA DE AGUA PRINCIPAL	342-996
			BOMBA HIDRAULICA DE VENTILADOR	342-999
			ENFRIADOR DE ACEITE DE MOTOR	343-001
			LÍNEAS DE REFRIGERACIÓN	343-003
			MOTOR HIDRAULICO DE VENTILADOR	343-007
			RADIADOR	343-011
			TANQUE DE EXPANSION	343-013
			TAPA DE RADIADOR	343-022
			TERMOSTATO	343-024
VENTILADOR	343-025			

Anexo 02: Modos de falla

Modos de fallo por condición

Descripción	Código
Alta Temperatura	C01
Desalineamiento	C02
Desbalanceo	C03
Vibración anormal	C04

Modos de fallo por eléctricos

Descripción	Código
Auto activación	E01
Bajo Voltaje	E02
Circuito Abierto	E03
Código activo	E04
Cortocircuito	E05
Desconexión	E06
Desconfiguración	E07
Datos erróneos	E08

Modos de fallo de sistema de lubricación

Descripción	Código
emulsión de aceite	L01
Sobre nivel	L02
Bajo nivel	L03
Contaminación externa	L04
Contaminación interna	L05
Dilución	L06
Presencia de partículas	L07

Modos de fallo mecánicos

Descripción	Código
Sin Arranque	M01
Agrietamiento	M02
Ajuste inadecuado	M03
Alta presión	M04
Baja Presión	M05
Bajo Flujo	M06
Cavitación	M07
Corrosión	M08
Deformación	M09
Descalibración	M10
Desgaste	M11
Faltante	M12
Fisura	M13
Fuga externa	M14
Fuga interna	M15
Golpe	M16
Humo Excesivo	M17
Neutralización	M18
No acciona	M19
Hermetizado deficiente	M20
Restricción	M21
Quemadura	M22
Resequedad	M23
Fractura	M24
Soltura	M25
Sonido Anormal	M26
Sulfatación	M27
Amago de incendio	M28
Baja potencia	M29
Movimiento Deficiente	M30

Modos de fallo de neumáticos

Descripción	Código
Corte de flanco	N01
Corte en banda de rodamiento	N02
Corte en hombro	N03
Desprendimiento de goma en B.R.	N04

Modos de fallo operacional

Descripción	Código
Impacto	O01
Sobrecarga	O02

Anexo 03: Índice de severidad.

Perdida o degradación de la función principal	Degradación de la función primaria (el producto es operable pero con una reducción en su desempeño)	7
---	---	---

Anexo 04: Detectabilidad

Oportunidad para detección	Criterio	Rango	Probabilidad de detección
No se puede detectar	Probabilidad detección por los controles del proceso No hay controles actuales, no puede ser detectado o no analizado	10	Casi imposible

Anexo 05: Ficha de homologación de proveedor.

FICHA DE HOMOLOGACIÓN DE PROVEEDOR			
FECHA DE EVALUACIÓN	<input type="text"/>	RAZON SOCIAL	<input type="text"/>
RUBRO	<input type="text"/>	RUC	<input type="text"/>
FECHA DE INICIO DE RELACIONES	<input type="text"/>	PRODUCTOS O SERVICIO	<input type="text"/>

En caso el criterio establecido no aplique se le colocará el máximo puntaje

ITEM	DESCRIPCIÓN	1	0	Puntaje Obtenido	Documentación Sustentatoria
Criterios Comerciales				0.8	
1	Cuenta con mínimo 3 años de experiencia en el mercado y con Portafolio de Productos Ordenado	SI	NO	0	Ficha RUC
2	Cuenta con Carta de Distribuidor o es Fabricante del Producto. Cumple con evaluación previa para servicios	SI	NO	1	Certificado o Carta Vigente
3	Cuenta con Registro de DUAS de Importación y/o Registro de Compras Locales para su Trazabilidad.	SI	NO	1	Registro de DUAS / Compras Locales
4	Cumple con las Políticas de Plazo de Pago de JRC	SI	NO	1	Registro en Sistema con Plazo de Pago de acuerdo a Políticas.

Criterios Económico Financieros				1.0	
1	No presenta deudas con SUNAT / SUNAFIL y Central de Riesgo.	SI	NO	1	Reporte de SUNAT
2	Cuenta con Capital de Trabajo Positivo	SI	NO	1	Estados Financieros
3	Cuenta con Estados Financieros Auditados	SI	NO	1	Estados Financieros
4	Cuenta con Nivel de Inventario acorde a las necesidades de JRC y evaluación previa para Servicios.	SI	NO	1	Estados Financieros
Criterios Técnicos (servicios)				0.8	
1	Es proveedor especializado (Minería Subterránea / Tajo Abierto)	SI	NO	0	Reporte de Visita
2	Tiene capacidad instalada para atender nuestra necesidad y la de sus clientes, herramientas y equipos, en estado óptimo y ordenado.	SI	NO	1	Reporte de Visita
3	Cuenta con personal calificado (certificado) y con experiencia mínima de 05 años en el sector minero	SI	NO	1	Reporte de Visita
4	Muestra evidencia de recomendaciones o trabajos con empresas del sector.	SI	NO	1	Reporte de servicios

ITEM	DESCRIPCIÓN	1	0	Puntaje Obtenido	Documentación Sustentatoria
------	-------------	---	---	------------------	-----------------------------

Criterios Legales y Licencias.					0.3	
1	Cuenta con Licencia de Funcionamiento.	SI	NO	0	Licencia	
2	Cuenta con Estado de Contribuyente Activo.	SI	NO	1	Ficha RUC	
3	La Dirección Fiscal ha sido Verificada Físicamente.	SI	NO	1	Ficha RUC y Fotografías	
4	El o los Representantes Legales no presentan denuncias por Corrupción ante el Sector Privado o Público.	SI	NO	0	Antecedentes Penales	
Criterios de Calidad					1.0	
1	Cuenta con certificación u otro reconocimiento en cuanto a Gestión de la Calidad Vigente	SI	NO	1	Certificado	
2	Se evidencia cumplimiento de las políticas y/o procedimiento de aseguramiento de la calidad establecidas por la empresa.	SI	NO	1	Políticas y Procedimientos, Fotografías	
3	Se almacena correctamente los productos para garantizar su calidad.	SI	NO	1	Fotografía	

ITEM	DESCRIPCION	1	0	Puntaje Obtenido	Documentación Sustentatoria
------	-------------	---	---	------------------	-----------------------------

Criterios de Seguridad y Salud en el Trabajo					1.0	
1	Cuenta con certificación ISO u homologación en cuanto a Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo vigentes.	SI	NO	1	Certificado	
2	Se evidencia cumplimiento de los procedimientos y políticas de seguridad establecida por la empresa, tanto en Oficina, Operación, Almacenamiento y Distribución.	SI	NO	1	Políticas y Procedimientos, Fotografías	
3	Todos sus colaboradores están registrados debidamente en planilla, con todos los beneficios exigidos por la ley.	SI	NO	1	Planilla de Trabajadores	

Criterios de Gestión del Medio Ambiente					1.0	
1	Cuenta con certificación u homologación en cuanto a Gestión de Medio Ambiente vigentes.	SI	NO	1	Certificado	
2	Se evidencia cumplimiento de los procedimientos y políticas de gestión medio ambiental establecidos por la empresa.	SI	NO	1	Políticas y Procedimientos, Fotografías	

Criterios pre y post venta					1.0	
1	En caso de garantía cuenta con repuestos stand by	SI	NO	1	Certificado de control de inventarios	
2	Los numero de parte son validados y revisados de manera constante	SI	NO	1	Políticas y Procedimientos	

Anexo 06: Ficha de visita técnica.

DETALLES TÉCNICOS							
C R I T E R I O S A E V A L U A R	TIPO DE COMPONENTE	RADIADOR	EJES	MOTOR DIESEL	MOTOR ELÉCTRICO	CUCHARAS	OTROS
	ÁREA DE TALLER (M ²)						
	SECTORES/DIVISIONES DEL TALLER						
	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE TALLER						
	EXPERIENCIA Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL						
	DOCUMENTOS PREVIOS Y POST SERVICIO QUE ENTREGAN						
	LOGRANTAJOS						

Anexo 07 Control del MTTF por proveedor

DESCRIPCIÓN	TARGET	MTTF PROVEEDOR 1	MTTF PROVEEDOR 2	MTTF PROVEEDOR 3
CILINDRO DE DIRECCION LH	18,000			
CILINDRO DE DIRECCION RH	18,000			
CILINDRO DE LEVANTE LH	22,000			
CILINDRO DE LEVANTE RH	22,000			
CONVERTIDOR	20,000			
DIFERENCIAL	20,000			
MANDO DE BOMBAS	20,000			
MANDO FINAL LH	20,000			
MANDO FINAL RH	20,000			
MOTOR	22,000			
RADIADOR MESABI	12,000			
RUEDA LH	20,000			
RUEDA RH	20,000			
SUSP. DELANTERA LH	22,000			
SUSP. DELANTERA RH	22,000			
SUSP. POSTERIOR LH	22,000			
SUSP. POSTERIOR RH	22,000			
TRANSMISION	22,000			
VÁLVULA DE CONTROL DE LEVANTE	20,000			
TOLVA	13,000			

Anexo 08: Datos para cálculo del costo de oportunidad

Rf Tasa libre de riesgo 1.73% Us Treasury Bond (6 Ago/19)
<https://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=yield>

Beta no apalancada 1.01 Ingeniería/construcción
http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html

β Beta apalancada 1.36 Cálculo según fórmula $\beta = \text{Beta no apalancado} * (1+(1-T)*(D/C))$

T 29.5% Tasa de Renta Perú
<http://orientacion.sunat.gob.pe/index.php/empresas-menu/impuesto-a-la-renta-empresas/regimen-general-del-impuesto-a-la-renta-empresas/calculo-anual-del-impuesto-a-la-renta-empresas/2900-03-tasas-para-la-determinacion-del-impuesto-a-la-renta-anual>

D/C 0.4888 Damodaran D/E Ratio
http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html

Rm Prima de riesgo 1.35% Perú
http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html

Rpaís Riesgo país 1.08% Gestión 6 Ago/19 <https://gestion.pe/economia/riesgo-pais-peru-baja-cierra-1-44-puntos-porcentuales-254686?href=tepuedeinteresar>

