



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

**“Plan de mantenimiento basado en análisis de riesgo y
confiabilidad para aumentar la eficiencia y producción de la
Empresa Minera Volcán S.A.A”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Ingeniero Mecánico Eléctricista

AUTOR:

Bach. Koc Tomas, Jorge Mario (/orcid.org/0000-0002-2104-7444).

ASESOR:

Dr. Carranza Montenegro, Daniel (/orcid.org/0000-0001-6743-6915),

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y planes de mantenimiento.

Línea de acción de responsabilidad social universitaria

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

CHICLAYO-PERÚ

2022

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en la persona que soy.

Jorge Mario Koc Tomas

AGRADECIMIENTO

Rindo un especial tributo de agradecimiento a todas y cada una de las personas que me ayudaron con la realización de la presente tesis.

En primer lugar, dar gracias a Dios, y a mis padres por su apoyo, por darme mucha paciencia, fuerzas y sabiduría para así llegar a este lugar todo se lo debo a ellos.

A mis familiares, quienes con su apoyo emocional y moral han hecho posible la realización de mi Tesis.

A la Universidad Cesar Vallejo, por darme la oportunidad de alcanzar nuevas metas.

Gracias a todos por su ayuda, esfuerzo y dedicación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
LISTADO DE TABLAS	vii
LISTADO DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I.INTRODUCCIÓN.	1
II.MARCO TEÓRICO.....	2
2.1. Antecedentes	2
2.1.1. Plan de Mantenimiento (P.M)	7
2.1.2. Frecuencia de un P.M	7
2.1.3. Objetivos del Mantenimiento	7
2.1.4. Características de los Mantenimientos para las máquinas.....	8
2.1.5. P.M.C. programado y no programado.	9
2.1.6. Confiabilidad.....	10
2.1. Formulación del problema	14
2.1.1. Formulación del problema específico,	14
2.2. Justificación de la investigación	14
2.3. Hipótesis	16
El Diseño	16
Específica	16
2.4. Objetivos	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos.....	16
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo de diseño de investigación.....	17
3.2. Variables y Operacionalización.....	18
3.2.1. Variables.	18
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis.....	18
3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos.	18
IV. RESULTADOS.....	19

4.1. Identificar las tareas basadas en confiabilidad y análisis de riesgo que generan mayor impacto en los indicadores de la flota de los equipos de carguío, acarreo y auxiliares de la empresa minera.	19
C7 ACERT	20
Cat C7.1.....	20
202 Hp @2200 Rpm	20
4.1.1. Análisis y procesamientos de la información basados en RCM	21
4.1.2. Codificación de los equipos de Carguío y Acarreo	24
4.1.3. Selección de Equipos Críticos pertenecientes Carguío y Acarreo.....	25
4.1.4. Diseño.	27
4.1.5. Organización del Taller.....	31
4.1.6. Conclusión del Primer Objetivo	37
4.2. Detectar los KPI para la medición de la confiabilidad operacional de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera	38
4.2.1. Detección de KPI en el Carguío	39
4.2.2. Detección de KPI en el acarreo	42
4.2.3. Determinación de la Situación de la Flota Inicial de Carguío y Acarreo.....	45
4.2.4. Determinación de los Tiempos Promedios y de los Indicadores Clave de Desempeño (KPIS) de la Flota de Acarreo Optimizada. ...	46
4.2.5. Tiempo Medio de Reparación (MTTR) o Mantenibilidad	49
4.2.6. Porcentaje de Disponibilidad Operativa.....	50
4.2.7 Implementación del Plan de Mantenimiento Preventivo	51
4.2.8 P.M. Preventivo para Cargador CAT 950H	52
4.2.9. P.M. Preventivo para Cargador Cat GC	53
4.2.10 P.M. Preventivo para Freno del motor VEB390.....	54
4.2.11 P.M. Preventivo para Articulado, aplicación Volquete	55
4.2.12. P.M. Cronograma	56
4.2.13 Cálculo de los Indicadores post Implementación.....	61
Freno del motor VEB390	65
4.2.14 Nuevo Tiempo Promedio Hasta el Fallo (MTTF)	65

4.2.15 Nuevo Tiempo Medio de Reparación (MTTR)	66
4.2.16 Nuevo Porcentaje de Disponibilidad Operativa	66
4.2.17 Proyección del porcentaje de la disponibilidad de equipos ..	66
4.2.18 Cálculo de la Producción antes, después y proyección del PMP	68
4.2.19 Cálculo de la Eficiencia antes y después del PMP	69
4.2.20 Cálculo de la Eficacia antes y después del PMP	69
4.2.21. Cálculo de la Productividad antes, después y proyección del PMP	70
4.2.22. Conclusión del Segundo Objetivo.....	70
4.3. Detectar en qué medida la realización del plan de mantenimiento de análisis de riesgo y confiabilidad aporta a la mejora de la productividad y eficiencia de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera.....	72
4.3.1. Costos y gastos adicionales asociados al plan de mantenimiento propuesto	73
4.3.2. Viabilidad Financiera.....	74
4.3.3. Conclusión del Tercer Objetivo	75
Gastos	75
4.4. Detectar en qué medida la aplicación de la estrategia de mantenimiento basado en la confiabilidad y el análisis de riesgo proporciona buenas prácticas y mejora continua en el funcionamiento de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera.....	76
4.4.1. Conclusión del Cuarto Objetivo	79
V. DISCUSIÓN	79
VI.CONCLUSIÓN	82
VII. RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS.....	84
ANEXOS	88
Anexo 1.....	89

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 <i>Conjunto de Tareas programadas para un Plan de Mantenimiento</i>	7
Tabla 2 <i>Frecuencia de Una Tarea</i>	7
Tabla 3 <i>Mantenimiento Predictivo</i>	8
Tabla 4 <i>Mantenimiento Preventivo</i>	9
Tabla 6 <i>Equipos de la Empresa Minera Volcán S.A.A</i>	18
Tabla 7 <i>Equipos de Acarreo y Carguío de la Minera Volcán</i>	20
Tabla 8 <i>Registro de Fallas del Cat 950GH</i>	21
Tabla 9 <i>Registro de Fallas del Cat GC</i>	22
Tabla 10 <i>Registro de Fallas del Camión Volvo Fmx</i>	23
Tabla 11 <i>Registro de Camión Scania P460</i>	24
Tabla 12 <i>Totalidad de fallas de los equipos de C.A</i>	25
Tabla 13. <i>Tabla de Análisis del Diagrama de Pareto</i>	26
Tabla 14 <i>Plan de Mantenimiento General</i>	28
Tabla 15 <i>Ciclos de mantenimiento de Cat 950H</i>	28
Tabla 16 <i>P.M. de Cat GC</i>	29
Tabla 17 <i>P.M. Camiones Volvo Fmx</i>	30
Tabla 18 <i>P.M. Camiones Scania P460</i>	31
Tabla 19 <i>Funciones del Jefe de taller</i>	32
Tabla 20 <i>Funciones del Mecánico</i>	33
Tabla 21 <i>Formato Operador de Carga</i>	34
Tabla 22 <i>Comparación Objetivo 1. de un Pre y Post</i>	37
Tabla 23 <i>Equipos de Análisis de carga y acarreo (E.C Y E.A)</i>	39
Tabla 24 <i>Equipos de Acarreo en Estudio</i>	43
Tabla 25 <i>Situación de la flota de carguío y acarreo.</i>	46
Tabla 26. <i>Cálculo del MTTF para Cargador CAT 950H CATERPILLAR</i>	47
Tabla 27 <i>Cálculo del MTTF para el Cargador Cat GC</i>	47
Tabla 28. <i>Cálculo del MTTF para el Freno del motor VEB390</i>	48
Tabla 29. <i>Cálculo del MTTF para el Articulado, aplicación Volquete</i>	48
Tabla 30. <i>Cuadro Resumen de la confiabilidad de los equipos de Acarreo y Carguío</i>	49
Tabla 31. <i>Cuadro Resumen de la mantenibilidad de los equipos de Acarreo y Carguío</i>	50

Tabla 32. <i>Datos obtenidos de la cantidad de fallas totales y el tiempo de inactividad total de cada equipo crítico</i>	50
Tabla 33. <i>Cálculo del tiempo total de operación</i>	51
Tabla 34 P.M. Preventivo para Cargador CAT 950H	52
Tabla 35. <i>P.M. de Mantenimiento Preventivo para Cargador Cat GC</i>	53
Tabla 36. <i>P.M. Preventivo para Freno del motor VEB390</i>	54
Tabla 37 P.M. para Articulado, aplicación Volquete	55
Tabla 38 P.M. Cargador CAT 950H CATERPILLAR	57
Tabla 39 P.M. Cargador Cat GC	58
Tabla 40 P.M. Freno del motor VEB390.....	59
Tabla 41 P.M. Articulado, aplicación Volquete	60
Tabla 42. <i>Con el P.M.Preventivo para CAT 950H CATERPILLAR</i>	61
Tabla 43. <i>Con el P.M. Preventivo para Cargador Cat GC CATERPILLAR</i>	62
Tabla 44. <i>Con el P.M. para Freno del motor VEB390</i>	63
Tabla 45. <i>Con el P.M. para Articulado, aplicación Volquete</i>	64
Tabla 46. <i>Cuadro resumen de Datos con el P.M.</i>	65
Tabla 47. <i>Datos para hallar el % de la disponibilidad Operativa</i>	66
Tabla 48. <i>Disponibilidad Histórica</i>	67
Tabla 49. <i>Proyección con el método de regresión lineal</i>	67
Tabla 50. <i>Disponibilidad Proyectada</i>	68
Tabla 51 Comparación Objetivo 2. de un Pre y Post.....	70
Tabla 52 Comparación Objetivo 2 de Implementación de P.M. y Cálculos de indicadores Post Implementación.....	71
Tabla 53 <i>Costos y gastos adicionales asociados al P.M. propuesto en \$ UU.SS</i> 74	
Tabla 54 <i>Representación de un F.C.S (En \$ EE.UU.)</i>	75
Tabla 55 <i>representación de un F.C.A.</i>	75
Tabla 56 Conclusión del P.M. propuesto Costos gastos y Viabilidad Financiera . 75	
Tabla 57 <i>Formato PETS</i>	77
Tabla 58 <i>Control Diario</i>	78
Tabla 59 Buenas Practicas adquiridas	79

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Introducción al P.M. Fue tomado de Mantenimiento del buque, Ingeniero Marino [en línea]. 2018.....	10
Figura 2.Criticad en RCM.....	13
Figura 3 <i>Diagrama de Flujo de Datos de la Investigación</i>	17
Figura 4. Cargadores Cat 950H	21
Figura 5.Cargador Cat GC	22
Figura 6. Camión Volvo Fmx.....	23
Figura 7.Camión Scania P460.....	24
Figura 8. Diagrama de Pareto en relación al tiempo perdido	25
Figura 9.Diagrama de Actividades	27
Figura 10 <i>Taller</i>	36
Figura 11 <i>Oficina y almacén de insumos.</i>	37
Figura 12 <i>Tiempos en Producción</i>	39
Figura 13 <i>Disponibilidad Mecánica en Equipos de Carguío</i>	40
Figura 14 <i>Consumo de Combustible</i>	41
Figura 15 <i>Indicador Toneladas por Hora</i>	42
Figura 16 <i>Indicador de Disponibilidad Mecánica</i>	43
Figura 17 <i>Indicador de Consumo de Combustible (GAL/HR)</i>	44
Figura 18 <i>Indicador de Toneladas por Hora (Tn/Hrs)</i>	45

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo explicar cuán importante es para las empresas que trabajan con maquinaria pesada, especialmente en el sector minero, tener un alto índice de confiabilidad y disponibilidad en su flota de equipos, ya que una tasa baja traerá muchas consecuencias negativas. El problema que se identificó, en la minera Volcán, es que la flota de maquinaria pesada, Cargadores Cat 950H, Cargadores CatGC, Camiones Volvo Fmx, Camiones Scania P460, ya que no cuentan con un plan confiable dentro de la mina para ejecutar el mantenimiento, genera consecuencias como un elevado número de paradas no programadas, disminución en los ingresos, entre otros efectos nada beneficiosos. La propuesta fue elaborar un Plan de mantenimiento basado en análisis de riesgo y confiabilidad para aumentar la eficiencia y producción de la Empresa Minera Volcán S.A.A, con el fin de mantener las condiciones de la maquinaria pesada en la mina y así se reduzcan las horas inoperativas de la maquinaria, asimismo, se traducirá en mayores ingresos y beneficios. Esta investigación se dividió en 4 partes, Introducción, se explica un bosquejo de la situación y sus posibles alternativas al cambio, CAPITULO II, se explicó un marco teórico, con Antecedentes Internacionales y Nacionales, así como, los quipos con los que se trabajara, y sus herramientas, Plan de Mantenimiento (P.M). CAPITULO III, se describió la metodología aplicada y cuantitativa, transversal, no experimental, compuesta en un periodo de tiempo definido, observando los fenómenos tal y como se dan en su contexto, basado en la Confiabilidad como propuesta para la flota maquinaria pesada, hasta obtener el plan de mantenimiento. En el CAPITULO IV, se dio respuesta a los objetivos, tras aplicar la propuesta con RCM, así como detectar los KPI para la medición de la confiabilidad, por último, las conclusiones y recomendaciones que sintetizan lo muy necesario que es desarrollar y aplicar esta nueva estrategia en la maquinaria pesada de la mina, Y para el CAPITULO V, la discusión de los resultados.

Palabras clave: Indicadores clave de desempeño, disponibilidad, utilización, rendimiento, Plan de mantenimiento

ABSTRACT

This study aims to explain how important it is for companies that work with heavy machinery, especially in the mining sector, to have a high rate of reliability and availability in their equipment fleet, since a low rate will bring many negative consequences. The problem that was identified, in the Volcán mining company, is that the fleet of heavy machinery, Cat 950H Loaders, Cat GC Loaders, Volvo Fmx Trucks, Scania P460 Trucks, has an inadequate maintenance strategy, since they do not have a plan within the mine to carry out maintenance, which generates consequences such as a high number of unscheduled stops, a decrease in income, among other non-beneficial effects. The proposal was to develop a maintenance plan based on risk and reliability analysis to increase the efficiency and production of the Empresa Minera Volcán S.A.A, in order to maintain the conditions of the heavy machinery in the mine and thus reduce the inoperative hours of the machinery, likewise, will result in higher revenues and profits. This research was divided into 4 parts, Introduction, an outline of the situation and its possible alternatives to change is explained, CAPITULO II, a theoretical framework was explained, with International and National Background, as well as types of heavy machinery, management tools, Maintenance plan. CAPITULO III, the applied and quantitative, non-experimental - transversal methodology was described, since it is included in a defined period of time and which does not intend to intentionally vary the independent variables so that the phenomena will be observed as they occur in their given context, based on Reliability as a proposal for the heavy machinery fleet, until obtaining the maintenance plan. In CAPITULO IV, the objectives were answered, after applying the proposal with RCM, as well as detecting the KPIs for the measurement of reliability, finally, the conclusions and recommendations that synthesize how necessary it is to develop and apply this new strategy in the heavy machinery of the mine. And for CAPITULO V, the discussion of the results.

Keywords: Key performance indicators, availability, utilization, performance, Maintenance Plan

I. INTRODUCCIÓN.

La minería se considera en el Perú una de las actividades económicas que mayor desarrollo ha impulsado a lo interno del país. Siendo las minas de cobre las que han destacado en los últimos años. Atendiendo a esta situación es que se pretende realizar este estudio, centrado en la problemática de la empresa Minera Volcán S.A.A.

El problema se define como la inadecuada estrategia de mantenimiento que se aplica actualmente en los equipos de carga, acarreo, así como los auxiliares de la mina, ya que no se cuenta con un P.M. Para este tipo de empresas es sustantivo el alcanzar una maximización del desempeño de los equipos, por lo cual se requiere la realización de este tipo de análisis, volviéndose una forma eficiente de utilizar los recursos; en la medida que se conozcan los resultados de un análisis de riesgo y confiabilidad la empresa podrá trazar planes para el incremento de la capacidad productiva de manera mucho más controlada.

Llevando a cabo el tratamiento del riesgo y localizando los niveles de confiabilidad de los equipos la empresa estará atendiendo a la solución de problemas como evitar la ocurrencia, reducir la probabilidad de ocurrencia, reducir las consecuencias resultantes, tener mayor conocimiento sobre el riesgo y poder trazar planes para mitigar los efectos que estos producen, lo cual a su vez impacta en las diferentes áreas de la empresa y en algunos casos puede considerarse peligroso para el recurso humano.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Antecedentes internacionales.

(Morales, 2019), el autor describe su estudio como “La implementación de la metodología RCM en los harneros vibratorios de la planta concentradora minera caserones” presentada para optar al título de Ingeniero industrial, su objetivo “fue conocer la incidencia que tuvo esta herramienta en la organización, para lo cual se deberá determinar antecedentes generales y contextos operacionales de la empresa para entrar en conocimiento en sus problemáticas de mantenimiento, procediendo posteriormente con la recopilación de actividades centradas en la confiabilidad del equipo para mejorar sus indicadores de mantenimiento y desarrollando el análisis de las mejoras realizadas en el plan de mantenimiento para comparar con indicadores anteriores y costos asociados. Los resultados obtenidos en función de la implementación del RCM han sido satisfactorios en términos de reducción de costos por pérdidas de no producción y logrando mejorar los indicadores de mantenimiento viéndose reflejados en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos en estudio, se concluye que la metodología del RCM implementada es eficaz, pero se debe tener en cuenta que la aplicación debe ser disciplinada y cumplirse siempre a cabalidad con la finalidad de lograr de mantener o superar los resultados obtenidos” (Morales, 2019).

(Carcamo, 2019), en su estudio titulado “Propuesta de mejora a plan de mantenimiento y al sistema de gestión de stock de repuestos a motor diesel de camiones de extracción 797 caterpillar en compañía minera centinela ubicada en la ciudad de Antofagasta. Trabajo para optar al título ingeniero de ejecución en mantenimiento industrial. Universidad técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar - José Miguel Carrera, menciona que el mismo estuvo enfocado en la mejora al plan de mantenimiento de uno de los sistemas críticos del camión de extracción 797 Caterpillar, por lo que el estudio se realizó entre enero a septiembre del 2019, motivado a la observación de diversos contratiempos que afectan directamente a la disponibilidad y confiabilidad de la flota de camiones que transportan mineral, y así proponer una solución a dichos contratiempos a través de un mejoramiento de las pautas de mantenimiento durante la operación. Posterior al análisis de las pautas de mantenimiento que se llevan a cabo durante 250 horas se propusieron

mejoras en cada una, se reporta que las pautas que generalmente no se les da gran importancia puede afectar de manera crítica el funcionamiento operacional, como por ejemplo una lista adecuada y clara de repuestos. Se plantea una propuesta de mantenimiento basada en dos temas relevantes uno asociado directamente al mantenimiento y otro a la lista de stock existentes en bodega” (Cárcamo Sáez, J. 2019).

(Rojas, 2017), en su investigación titulada “Análisis y aplicación de modelo de confiabilidad y mantenimiento de área de gravilla y pebbles en planta de cobre de minera los pelambres” presentada para optar al título de máster en administración y negocios, Tuvo como objetivo “realizar un análisis de confiabilidad que permita encontrar oportunidades y proponer herramientas para gestionar el cambio en la mejora continua de los procesos de mantención, de manera que se incremente el rendimiento del proceso de conminución en la planta de Pebbles y Gravilla. Esto con el fin de recuperar la capacidad productiva de la planta concentradora de cobre de Minera Los Pelambres. En el año 2016 el dueño dejó de percibir aproximadamente 11 millones de dólares por concepto de material recirculado no chancado. Se propone un modelo de gestión de cambio para implementar las mejoras encontradas y agregar valor en la gestión de la organización que realiza mantenimiento y operación en PyG. Estas propuestas están en mejorar los siguientes aspectos: Aplicar Ingeniería de Planta de acuerdo a criterio experto de jefe de área de mantención y técnicos mecánicos con alta experiencia para mejorar diseños de chutes y revestimientos que entreguen una mayor disponibilidad al sistema de transporte de material recirculado. se puede concluir que, dada la cantidad de equipos y recursos disponibles para los trabajos de mantención e inspecciones preventivas, los planes de acción para mejorar los indicadores de desempeño de mantenimiento es el control de componentes para anticipar fallas la cual debe estar complementado de la generación de compromisos los cuales deben tener un seguimiento semanal a través de Tablero de Desempeño” (Rojas, 2017).

(García, 2017), en su investigación que tituló, *“Mejoramiento del desempeño de equipo minero mediante estrategias de mantenimiento y reingeniería de componentes del sistema de propulsión y rodado”*, *“presentada para optar por el título de Ingeniero Civil Mecánico en la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, estableció, que la metodología de Mantenimiento Centrado en*

Confiabilidad (MCC) se incorpora en acciones de monitoreo para los modos de fallas con alta tasa de riesgo, para hallar una señal de daño calamitoso en el tren de oruga de perforadora Atlas Copco Pit Viper 351, de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, determinando el monitoreo preventivo no programado referente a eslabones de oruga y zapatas, las cuales representan un 63% del tiempo de detención no programado, con esto evidenció, el empleo de la estrategia de mantenimiento centradas en confiabilidad y obtuvo un incremento de la disponibilidad del sistema intervenido, del 91% a 97% estimado. Como aporte al presente estudio, la investigación de García es un ejemplo de implementación de la metodología RCM, destacando específicamente, la identificación de las tareas de monitoreo sugeridas para la mitigar los modos de fallas y sus efectos” (García, 2017).

(Cerde, 2016), en la investigación titulada “Análisis de riesgo asociado a incertidumbre operacional en planes mineros para minería a cielo abierto”. “Presentada para optar al título de ingeniera civil de minas. Universidad de Chile”, menciona que “Se buscó validar la incertidumbre operacional minera del modelo de evaluación de riesgos GEM|REEM y del modelo de simulación para incertidumbre operacional DSim Open Pit a través del análisis del plan minero de producción, por lo que se planteó como objetivo presentar las variables operacionales relevantes que conforman el modelo de evaluación de riesgos GEM|REEM, en conjunto con la realización de simulaciones con el modelo DSim Open Pit caracterizada por las principales incertidumbres operacionales en base al plan minero quinquenal real de la mina y con esto realizar una comparación entre las dos metodologías de análisis de incertidumbre para planes mineros, enfocados en la incertidumbre operacional. Se realizaron simulaciones con ambos modelos para incertidumbre operacional obteniéndose distribuciones de probabilidad tanto para el movimiento total desde banco como para el mineral enviado a planta. Se compararon las medias de las distribuciones obtenidas con los valores del plan minero determinístico. Se obtuvo entre los meses de estudio una diferencia porcentual entre el plan y el modelo GEM|REEM para el mineral enviado a chancado con un 10,6% y 1,6%, respectivamente, de igual manera se observó una diferencia entre el plan quinquenal y el modelo DSim Open Pit para ambos meses en un 8,5% y 8,1%, respectivamente. Se observa que el plan minero determinístico presenta escasa

probabilidad de ocurrencia, observándose una mayor prioridad al envío de mineral a planta, lo que en un futuro puede perturbar la explotación de la mina” (Cerdea, 2016).

Antecedentes nacionales.

(Narvaez, y otros, 2020), en la investigación titulada, *“Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de una empresa minera de La Libertad”* presentada para optar al título de Ingeniero mecánico por la Universidad César Vallejos, *“Exponen como objetivo principal aumentar los indicadores de mantenimiento de una flota de camiones Komatsu730E, con el fin de resaltar la importancia de realizar innovaciones de mantenimiento en los equipos pesados del sector minero en el Perú. Como resultado de la aplicación del nuevo P.M en confiabilidad, obtuvo mejoras sustanciales en los principales indicadores de la flota, la disponibilidad, el tiempo medio de fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR) se situaron sobre la meta establecida por la empresa y proyectando una adición de valor (VAN) de 1 Millón de dólares en comparación con el escenario proyectado que tenía la operación”* (Narváez & Palza, 2020).

(Limache, 2018), en la investigación titulada, *“Propuesta de un P.M.P para aumentar la disponibilidad mecánica de los equipos Trackles de la Empresa Serminas SAC. en la Unidad Alpamarca”*, presentada para optar al título de Ingeniero Mecánico Universidad Nacional del Centro del Perú – Facultad de Ingeniería Mecánica – Huancayo – Perú, *“menciona que el estudio se desarrolló inicialmente analizando el servicio de mantenimiento en el taller trackles, según la cantidad de fallas y demoras presentadas por los equipos en un período de 4 meses, con la intención de determinar la disponibilidad de éstos. Se puso en evidencia que los equipos de la empresa no cumplen con la disponibilidad requerida (85 % mínimo) para realizar las distintas labores, tales como: perforación, carga, acarreo y limpieza del mineral; lo que pone en evidencia una alta criticidad de éstos siendo necesario que se aplique un P.M.P para disminuir las paradas y por lo tanto las demoras en el mantenimiento de los equipos. Seguidamente se analizó la situación actual de los equipos, determinando la disponibilidad, utilización, tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar de los mismos, llegando a la*

conclusión a través de la cantidad de fallas que la mayoría de éstos están críticos. (Limache, 2018).

(Ly, y otros, 2016), los autores, describieron, *“Propuesta de P.M Centrado en la Confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto”, presentada para optar el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima Perú, “Menciona la estrategia más adecuada para un problema respecto al TPM, es establecer un plan de mantenimiento. Logro identificar al camión 730E, como el equipo más crítico de toda la flota de equipos Komatsu Mitsui en Vale Bayovar, para luego implementar el RCM, logrando una disponibilidad de 92%, una confiabilidad de 56% y tiempo medio entre fallas (MTBF) de 50hrs, con ello lograron aumentar los beneficios económicos en 2MM de soles por año. El aporte es la aplicación del método AMFE (Análisis Modal de fallos y efectos), como parte del proceso de RCM, donde definen claramente los sistemas, subsistemas, componentes y sus modos de fallos, consecuencias y planes de acción”* (Li & Mescua, 2016).

(Uribe, 2020), en su estudio *“Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil”* propuso *“Aplicar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad en la máquina remalladora de una empresa textil, motivado a la baja disponibilidad por presencia de prolongadas paradas por mantenimiento correctivo, por lo que se diseñó un programa de mantenimiento a través del uso del análisis de criticidad; con posterior desarrollo de un análisis de condición y resultado con la finalidad de examinar la situación y aplicar las acciones correctivas posterior a aplicar el programa, se mejora el uso de la maquina remalladora de manera significativa en 92 % del equipo remallador, alcanzando el objetivo propuesto”* (Sophia Cristina, 2020).

(Alavedra. 2016) en su estudio *“Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013”* propusieron *“un estudio basado en que cualquier sistema puede llegar a altos niveles de productividad, siempre y cuando trabaje bajo una presencia mínima de fallas, para el desarrollo del mismo plantearon como objetivo hacer un análisis actualizado del estado en que se encontraba el equipo y determinándose el servicio preventivo de mantenimiento por medio de sus indicador aplicando la disponibilidad. Debido a la*

observación, histórica de los datos de los MTBF, MTTR y los camiones, se reporta la existencia de una tendencia decreciente debido a los relevantes factores que afectan de manera directa al mantenimiento preventivo. Se observa de igual manera que los inconvenientes observados han aumentado con el tiempo, afectando la confiabilidad para el cliente” (Alavedra, 2016).

2.1.1. Plan de Mantenimiento (P.M)

Según, (Ramos, y otros, 2021):

Según los autores hay tres tipos:

Tabla 1

Conjunto de Tareas programadas para un Plan de Mantenimiento

Autor	Tres tipos
(Ramos, y otros, 2021)	La actividad que se ejecuta con el equipo. La programación realizada en el lapso del año. La programación realizada en paradas programadas

Nota. Elaboración propia

2.1.2. Frecuencia de un P.M

Según el autor, (Ramos, y otros, 2021), se presenta de dos maneras:

Tabla 2

Frecuencia de Una Tarea

Tareas	Actividades
Periódicas Fijas	Realizar mantenimiento a equipos que no funcionan, por lo tanto, no han tenido desgaste
Horas de Funcionamiento	Al no saber, que tipo de mantenimiento se hará, no se sabe cuándo llevarse a cabo

Nota. Elaboración propia

2.1.3. Objetivos del Mantenimiento

El autor, (Perez, 2021):

Según el autor, es verificar que cada uno de los mecanismos de las maquinas estén funcionando de manera óptima mientras dure el trabajo, y que el personal que los

opera tenga la confiabilidad para trabajar con toda la seguridad que se merece. vida más larga a un equipo

2.1.4. Características de los Mantenimientos para las máquinas.

2.1.4.1. Predictivo.

Según (Narváez, y otros, 2020):

Tabla 3
Mantenimiento Predictivo

Ventajas	Mantenimiento Predictivo Desventaja
Mayor confiabilidad al utilizar equipos y personal especializado, los resultados permiten tener mayor exactitud.	Si el encargado amerita repáralo inmediatamente, se sugiere programar una nueva revisión en una fecha posterior.
Solo necesita personal por contratación.	Sus costos son elevados ya que necesitan equipos especializados para la medición precisa.

Nota. Elaboración propia

2.1.4.2. Preventivo

Comprende el desarrollo de operaciones programadas a realizar periódicamente con el propósito de que los equipos hayan cumplido su vida útil con un enfoque eficiente, este tipo de mantenimiento es necesario o preferible primero en empresas cuyos equipos están diseñados para el operador constante (Narváez, y otros, 2020).

Tabla 4
Mantenimiento Preventivo

Ventajas	Mantenimiento Preventivo Desventaja
Tiene menor costo con respecto al Predictivo.	Se necesita revisión de los colaboradores y detalles proveedores para elaborar el P.M.
Deducción en el riesgo por incidencias.	No posibilita tener un control de los desgastes y disminución de vida útil de las piezas o componentes.
Su riesgo es mínimo ante los paros sorpresa	
Tiene un adecuado control y planeación.	
Fuente: Elaboración propia	

2.1.4.3. Correctivo (C)

Es un P.M, basado en el estudio técnico, pruebas y seguimiento de los equipos, se basa en las características actuales, así como también predice posibles problemas en el sistema de trabajo y se realiza cuando los resultados de diagnóstico requeridos, este P.M., generalmente lo realizan empresas más grandes con mayor presupuesto. (Ramos, y otros, 2021)

2.1.5. P.M.C. programado y no programado.

El P.M.C no programado es la reparación luego de presentarse la falla, mientras que el P.M.C programado presume planificar la reparación, ya que en oportunidades puede no contarse con el repuesto, el personal, la instalación al momento que se presente la falla (Meza, 2020)

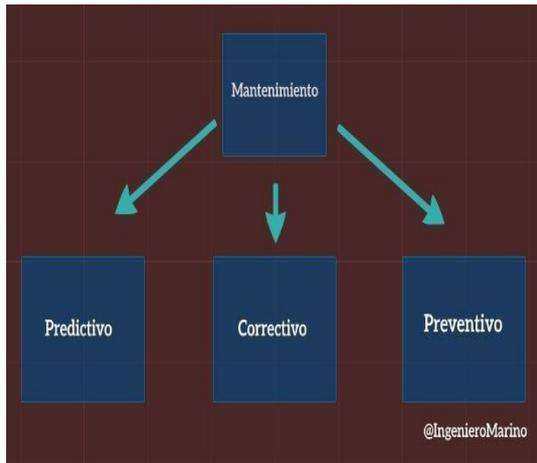


Figura 1. Introducción al P.M. Fue tomado de Mantenimiento del buque, Ingeniero Marino [en línea]. 2018

2.1.6. Confiabilidad

Es la probabilidad de que una maquina o equipo, se mueva de la manera correcta libre de fallas durante un tiempo específico.

RCM (Reliability Centred Maintenance)

Según el autor, (Perez, 2021), es una técnica mediante la cual se puede desarrollar un P.M. basado en varias verificaciones de fallas para evaluar aspectos de seguridad y protección ambiental. RCM se toma muy en serio las tareas de mantenimiento, incluso dando importancia a las tareas que tienen mayor probabilidad de tener problemas en términos de desempeño y funcionamiento normal. Objetivos del RCM

Ventajas

- Se puede aplicar en un P.M que se va establecer en un taller de mantenimiento reduciendo hasta un 70% aplicando a un P.M.P.
- Los trabajos programados se reducirán, ya que se tiene un mejor control

Beneficios de la implantación del RCM

- El RCM puede reducir entre un 10% y 40% los costos de mantenimiento, así como disminuirá las paradas del equipo que trae como consecuencia la pérdida de producción.
- Incrementa la disponibilidad de los equipos ya que se realizan menos paradas correctivas y preventivas.

Las 7 preguntas del RCM

Como parte del proceso de implementación del RCM en la empresa, el grupo de trabajo involucrado debe de responder las siguientes 7 preguntas:

- “1. ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de éste activo en su contexto operativo presente?”
2. ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
3. ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando se produce una falla en particular?
5. ¿De qué modo afecta la falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra un plan de acción adecuado?”

(Castillo- GICA Ingenieros)

Para poder responder a las preguntas, es necesario conocer cuáles son las expectativas que tiene el cliente respecto al contexto en donde trabajan los equipos y su importancia dentro de sus operaciones. Luego se inicia con el análisis de las funciones del equipo, sus especificaciones y sus límites de funcionamiento. Asimismo, la identificación de fallas recurrentes y como afectan estas en la funcionalidad del equipo, de esta manera, realizar un plan preventivo o predictivo que permita evitar la parada del equipo cuando no ha sido planeada. Finalmente, el RCM documentar toda la información para no limitarse a fallos individuales sino

a todo un sistema que permita al grupo de trabajo en determinas las consecuencias de las fallas.

Las fases del RCM

Fase 0: Listado y codificación de equipos. - Es la etapa en donde se identifica todos los equipos que van a ser incluidos dentro de la estrategia de mantenimiento. Esta lista debe de ser elaborada de manera ordenada comenzando desde un sistema mayor hasta los componentes que forman parte del equipo. Ejemplo: Plantas – áreas – Equipos – Sistemas – Elementos – Componente (1)

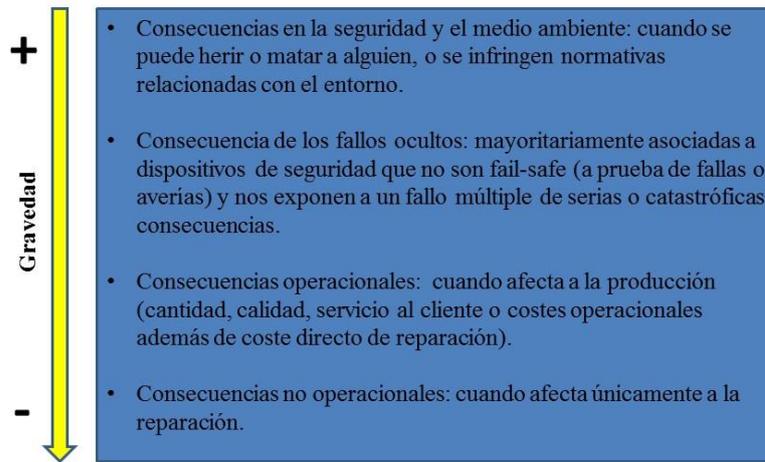
Fase 1: Listado de funciones y especificaciones. - Se indica la función principal del equipo. También debe de indicarse la función de los subsistemas ya que si estos no trabajan de manera correcta no se llegará a tener un óptimo funcionamiento. Sin embargo, sólo debe de especificar hasta los componentes que sean significativos.

Fase 2: Determinación de fallos funcionales y fallos técnicos. - Los fallos funcionales son aquellos que originan que el equipo no cumpla con su función principal y los fallos técnicos son aquellas anomalías no originan un fallo funcional, pero si pueden trabajar de manera errática o acelerar la vida útil del componente.

Fase 3: Determinación de los modos de falla. - Es la causa primaria de la falla funcional o técnica. Es importante no profundizar todos los modos de falla, para este caso puede utilizarse un Pareto para poder centrarse en los principales, los poco vitales.

Fase 4: Estudio de la consecuencia de los fallos. Criticidad. - En esta fase se analiza la gravedad de las consecuencias del efecto que puede ocasionar un modo de falla. Están categorizados como crítico, importante y tolerable.

Figura 2.Criticad en RCM



Fuente: Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado

Fase 5: Determinación de las medidas preventivas: Son las tareas que deben de realizarse para evitar el fallo funcional del equipo. Estas son de 5 tipos:

- Tareas de mantenimiento
- Mejoras
- Formación de personal
- Modificación de instrucciones de operación
- Modificación de instrucciones de mantenimiento

Fase 6: Agrupación de medidas preventivas. - Esta agrupación no permite separar las medidas por tipos lo cual ayuda a la posterior implementación. Las agrupaciones deben ser las siguientes:

- Plan de Mantenimiento
- Lista de mejoras, técnicas a implementar
- Actividades de formación
- Lista de Procedimientos de operación y mantenimiento a modificar

Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas. - Es importante la implementación del nuevo plan de mantenimiento contando en cuenta las recomendaciones del fabricante, que se posean los recursos necesarios para

iniciar la nueva estrategia y que el personal técnico se encuentre informado y capacitado para enfrentar esta nueva propuesta.

2.1. Formulación del problema

¿De qué modo el diseño de la estrategia de mantenimiento basado en análisis de riesgo y confiabilidad podrá mejorar los indicadores de la maquinaria, equipos de carga y acarreo de la mina?

2.1.1. Formulación del problema específico,

- ¿De qué modo las actividades programadas basadas en confiabilidad y análisis de riesgo generan mayor impacto en los indicadores de la maquinaria, equipos de carga y acarreo de la mina?
- ¿De qué modo es necesario la identificación de los KPI para el cálculo de la confiabilidad operacional de la maquinaria, equipos de carga y acarreo de la mina?
- ¿De qué modo la realización del plan de mantenimiento de análisis de riesgo y confiabilidad aporta a la mejora de la productividad y eficiencia de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera?
- ¿Hasta qué punto la aplicación de la estrategia de mantenimiento basado en la confiabilidad y el análisis de riesgo proporciona buenas prácticas y mejora continua en el funcionamiento de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera?

2.2. Justificación de la investigación

El estudio se respalda desde el punto de vista práctico, porque el desarrollo de estrategias de mantenimiento basados en el análisis de riesgo y confiabilidad lo cual aporta significativamente a la mejora de los indicadores de desempeño de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo, que son utilizados en las labores diarias de la empresa minera.

Esto no solo tiene incidencia en la disminución de paradas no planificadas, sino que permite aumentar la vida útil de los equipos, lo cual genera un beneficio no solo en términos de productividad para la empresa, sino de utilidades económicas como sujeto de estudio. Desde el punto de vista teórico, la realización de la tesis permite el fortalecimiento de los fundamentos teóricos relacionados con el mantenimiento y

del análisis de riesgo y confiabilidad que son tan valiosos de calcular, supervisar y controlar en las actividades de las empresas mineras.

Es vital el poder contar en este tipo de industrias con un análisis de riesgo y confiabilidad dado que de esta forma se logra evidenciar de manera sólida los eventos y procesos de falla lo cual da la pauta para la realización de un mantenimiento que no solo resguarda la vida útil y la productividad de los equipos, sino que además representa la oportunidad de comprender por qué y cómo ocurren las fallas lo cual implica la correcta apreciación de los mecanismos de falla y enfoques para modelarlos. La realización de este tipo de análisis genera la posibilidad de medir el potencial y la magnitud de cualquier pérdida desde o hacia un sistema, igualmente maximizar el rendimiento del sistema y usar los recursos de manera eficiente.

Justificación técnica. el presente trabajo de investigación tiene como objetivo cuantificar las pérdidas que se puede tener con una mala planificación de trabajo en el sentido de productividad en el sector minero.

Justificación económica. La Mina Volcán, al tener indicadores de confiabilidad y de riesgo podrán generar la mayor producción posible, así que será viable.

Justificación metodológica, este trabajo plantea mejorar el proceso de las pérdidas económicas y de recursos, y se podrá obtener un correcto plan de mantenimiento para mayor producción.

Para la evaluación económica del proyecto el presente trabajo tiene como objetivo evaluar los estudios económicos y financieros, para ver la viabilidad de dicho proyecto, estos estudios deben ser exhaustivamente analizados antes de proceder con la inversión. La evaluación económica – financiera de proyectos mineros es un requisito indispensable para la exposición de proyectos en una empresa y determinar así su posterior aprobación e inversión para el desarrollo y preparación. El presente trabajo se ha analizado a partir del costo mina, costo de exploración, costo de producción, reservas probadas, ley mina y el indicador económico: Valor Anual Neto – VAN e indicador financiero como la Tasa Interna de Retorno – TIR.

2.3. Hipótesis

General

El diseño de la estrategia de mantenimiento basado en análisis de riesgo y confiabilidad contribuye a la mejora de los indicadores en equipos de carguío, acarreo y auxiliares de la empresa minera.

Específicas

- La identificación de las tareas basadas en confiabilidad y análisis de riesgo contribuyen a la generación de mayor impacto en los indicadores de la flota de los equipos de carguío, acarreo y auxiliares de la empresa minera.
- La identificación de los KPI contribuye a la medición de la confiabilidad operacional de la flota de equipos de carguío, acarreo y auxiliares de la empresa minera.
- La realización del análisis de riesgo y confiabilidad contribuye a la mejora de la productividad y eficiencia de los equipos de carguío, acarreo y auxiliares en la empresa minera.
- La aplicación de la estrategia de mantenimiento basado en la confiabilidad y el análisis de riesgo contribuye a la identificación de buenas prácticas y mejora continua en el funcionamiento de la flota de equipos de carguío, acarreo y auxiliares de la empresa minera.

2.4. Objetivos

Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento basado en análisis de riesgo y confiabilidad para aumentar la eficiencia y producción de una empresa minera.

Objetivos específicos

- Identificar las tareas basadas en confiabilidad y análisis de riesgo que generan mayor impacto en los indicadores de la flota de los equipos de carguío, acarreo y auxiliares de la empresa minera.
- Detectar los KPI para la medición de la confiabilidad operacional de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera.

- Detectar en qué medida la realización del plan de mantenimiento de análisis de riesgo y confiabilidad aporta a la mejora de la productividad y eficiencia de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera.
- Detectar en qué medida la aplicación de la estrategia de mantenimiento basado en la confiabilidad y el análisis de riesgo proporciona buenas prácticas y mejora continua en el funcionamiento de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera.

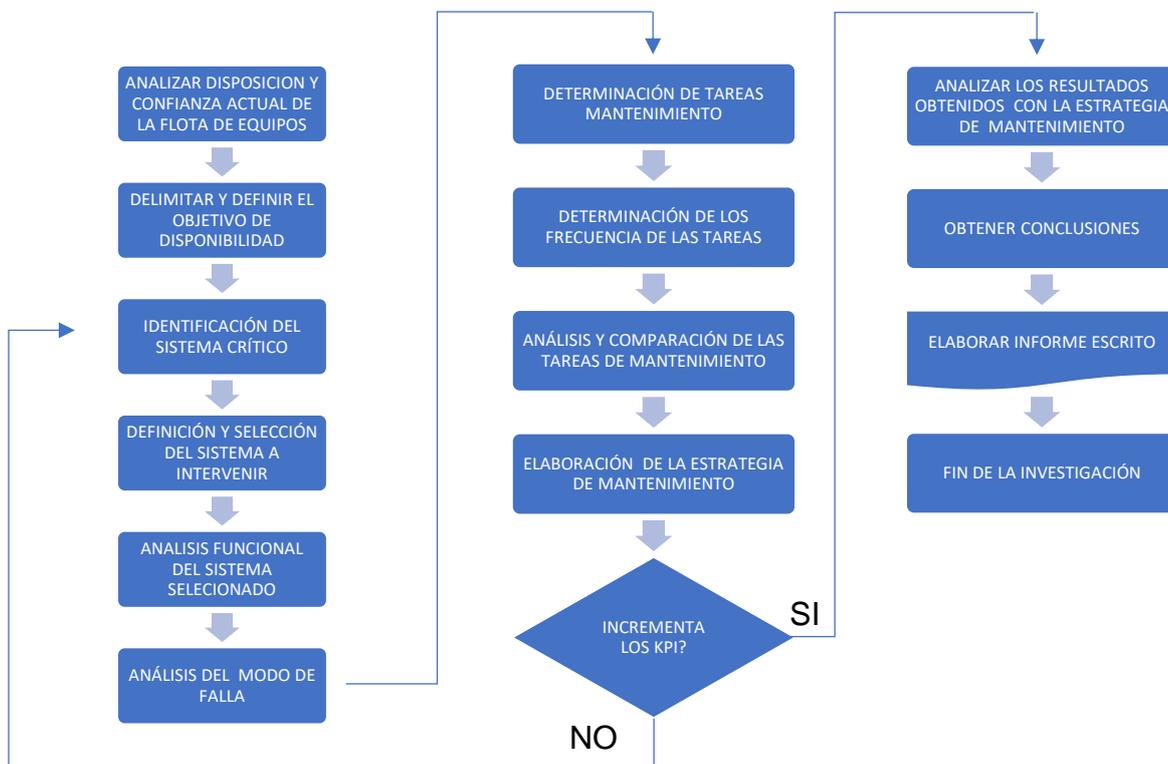
III. METODOLOGIA

3.1. Tipo de diseño de investigación.

La investigación, es de tipo aplicada, cuantitativa, no experimental y transversal, ya que está comprendida en un periodo de tiempo definido el cual no pretende variar intencionalmente las variables independientes, observando los valores como se dan en su contexto. Asimismo, se toma y procesa los datos técnicos, mediciones, conclusiones, propuesta de optimizaciones, discusión de resultados y recomendaciones. Anexo 1

Figura 3

Diagrama de Flujo de Datos de la Investigación



Nota. Elaboración propia

3.2. Variables y Operacionalización

3.2.1. Variables.

- Plan de mantenimiento basado en análisis de riesgo y confiabilidad
- Indicadores de mantenimiento para aumentar la eficiencia y producción.

3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis.

La población estará conformada por toda la flota de maquinarias pesadas de carguío, acarreo y equipos auxiliares de la empresa minera. La muestra será tomada uno de cada una de las maquinarias y equipos que conforman la población.

Tabla 5
Equipos de la Empresa Minera Volcán S.A.A

Población	Unidad	Muestra
Cargadores Cat 950H	3	1
Cargadores CatGC	1	1
Camiones Volvo Fmx	11	1
Camiones Scania P460	5	1
Total	20	4

Nota. Elaboración propia

3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos.

Con respecto a este punto, como dimensión de mantenimiento se aplicará una guía con la intención de alcanzar datos sobre los niveles de priorización de riesgo a través de una escala de identificación de riesgo entre Alto, medio y bajo y para el nivel de confiabilidad a través de una escala que va desde Excelente, competente, en desarrollo, consciente, inexistente.

Para el caso de los indicadores de mantenimiento de la Flota de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera Volcán, se obtendrán datos numéricos a través de una revisión documental de los reportes, informes del área de mantenimiento, los cuales permitirán describir la situación y la evolución del departamento de mantenimiento, esto a través del cálculo de la confiabilidad.

IV. RESULTADOS

Dando respuesta a los objetivos, se mencionan a continuación:

4.1. Identificar las tareas basadas en confiabilidad y análisis de riesgo que generan mayor impacto en los indicadores de la flota de los equipos de carguío, acarreo y auxiliares de la empresa minera.

Se identificaron las tareas basadas en confiabilidad a través de RCM, y se analizó el riesgo de mayor impacto de Minas Volcán, cabe destacar que la empresa, brindo todos los equipos con los que cuenta y además de algunos datos sobre cada máquina (modelo, marca, entre otros), también se identificaron las maquinarias a usar las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6*Equipos de Acarreo y Carguío de la Minera Volcán*

Ítem	Descripción Del Equipo	Marca	Modelo	Año	N° Serie/Chasis	Potencia	Capacidad	Ratios Teóricos	Proveedor
001	Cargadores Cat 950H	Caterpillar	C7 ACERT	2019	Wnax5lmnop2f490839	1.900 rpm	3.30 m ³ (4.32yd ³)	2.8 Gal/H	Ferreyro, Corp
002	Cargadores CatGC	Caterpillar	Cat C7.1	2019	Wmb17928l2xc552923	202 Hp @2200 Rpm	3.10-3.30m ³ (4.06-4.32yd ³)	2.9)Gal/H	Ferreyro, Corp
003	Camiones Volvo Fmx	Volvo	D11A370	2013	Cmvxp6290349	370cv - 275kW (1600 a 1900rpm)	fal8.0/9.0 ral23 rts2370a	4.5 Gal/H	Samuel Chamochoyumbi & Asociados S.A.C
004	Camiones Scania P460	Scania	SCANIA DC13146 500hp13 litros Euro 5	2013	L5fomzr4650	500 hp (372 kW) a 1,900 rpm	33,500 kg	4 Gal/H	Samuel Chamochoyumbi & Asociados S.A.C.

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1. Análisis y procesamientos de la información basados en RCM

Se obtuvieron un registro de fallas de las máquinas a estudiar. es por ello que se identificó las fallas ocurridas durante un periodo de 6 meses solo de las unidades pertenecientes a carga y acarreo, con lo que se obtuvo la siguiente histórica de fallas de los equipos de la empresa.

Figura 4. Cargadores Cat 950H



Nota. Cargadores Cat 950H de la empresa Minera Volcán

Tabla 7. Registro de Fallas del Cat 950GH

Descripción del Equipo	Detalle de falla	Cantidad de fallas	Tiempo de paros en horas
Cargador CAT 950H CATERPILLAR	Desequilibrios en el equipo	5	5
	Falla de calentamiento del equipo y desgaste de neumáticos	5	5
	Total	10	10

Fuente: Elaboración Propia

Figura 5. Cargador Cat GC



Nota. Cargador Cat GC de la empresa Minera Volcán

Tabla 8
Registro de Fallas del Cat GC

Descripción del Equipo	Detalle de falla	Cantidad de fallas	Tiempo de paros en horas
Cargador Cat GC CATERPILLAR	Falla de calentamiento del motor	18	24
	Presencia de cables deteriorados	18	24
Total		36	48

Fuente: Elaboración Propia

Figura 6. Camión Volvo Fmx



Nota. Camión Volvo Fmx de la empresa Minera Volcán

Tabla 9
Registro de Fallas del Camión Volvo Fmx

Descripción del Equipo	Detalle de falla	Cantidad de fallas	Tiempo de paros en horas
	Falla de calentamiento del motor	12	24
Freno del motor VEB390	Falta de cantidad de aire entregada por el equipo	12	18
	Funcionamiento del compresor de forma discontinua	12	18
	Total	36	60

Fuente: Elaboración Propia

Figura 7. Camión Scania P460



Nota. Camión Scania P460 de la empresa Minera Volcán

Tabla 10
Registro de Camión Scania P460

Descripción del Equipo	Detalle de falla	Cantidad de fallas	Tiempo de paros en horas
	Falla de calentamiento del motor	30	42
Articulado, aplicación Volquete	Presencia de corrosión en cables	18	24
	Escape de apaga chispas	18	12
	Total	66	78

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Codificación de los equipos de Carguío y Acarreo

Debido a que la empresa ya cuenta con los códigos en los equipos se decidió utilizar los mismos códigos de la empresa para que sea más manejable por la misma.

Tabla 11

Totalidad de fallas de los equipos de C.A

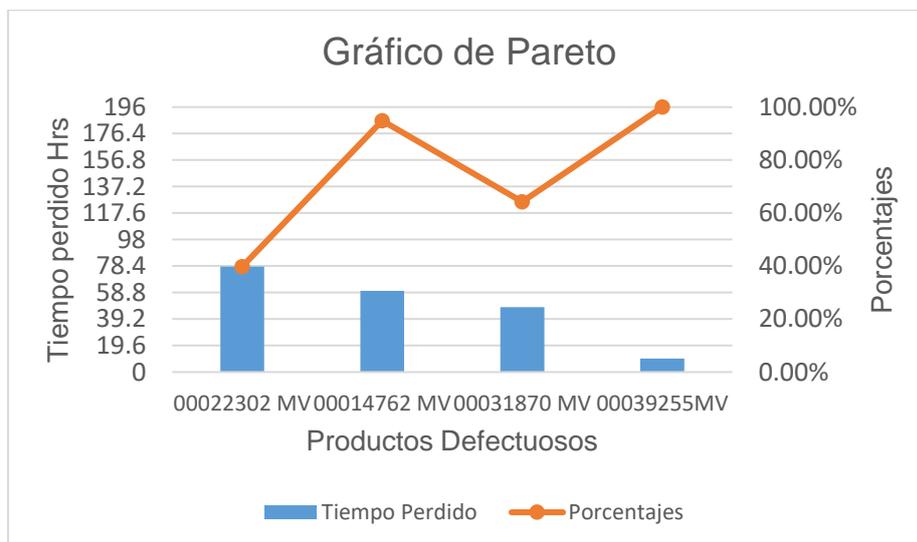
Ítem	Descripción del Equipo	
1	Cargadores Cat 950H	00039255MV
1	Cargadores CatGC	00031870 MV
1	Camiones Volvo Fmx	00014762 MV
1	Camiones Scania P460	00022302 MV

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. Selección de Equipos Críticos pertenecientes Carguío y Acarreo

Para seleccionar los equipos críticos se utilizó el diagrama de Pareto (80% de tiempos para reparación a consecuencia de fallas que no fueron programadas han sucedido debido a fallas) en el que se consideró como dato fundamental las incidencias de fallas, se seleccionó a los equipos con mayor problema de la empresa debido a que el P.M será implementado a dichos equipos críticos.

Figura 8. Diagrama de Pareto en relación al tiempo perdido



Nota. Elaboración propia

La figura muestra un análisis de cuáles son los equipos que están causando el 60% de horas que se pierden en paradas no programadas según la observación que se tuvo en un periodo determinado de 196 horas/ hombre; estos equipos se muestran resaltados en azul, además, se representan los códigos de los equipos para ser más fácil su ubicación.

Tabla 12.

Tabla de Análisis del Diagrama de Pareto

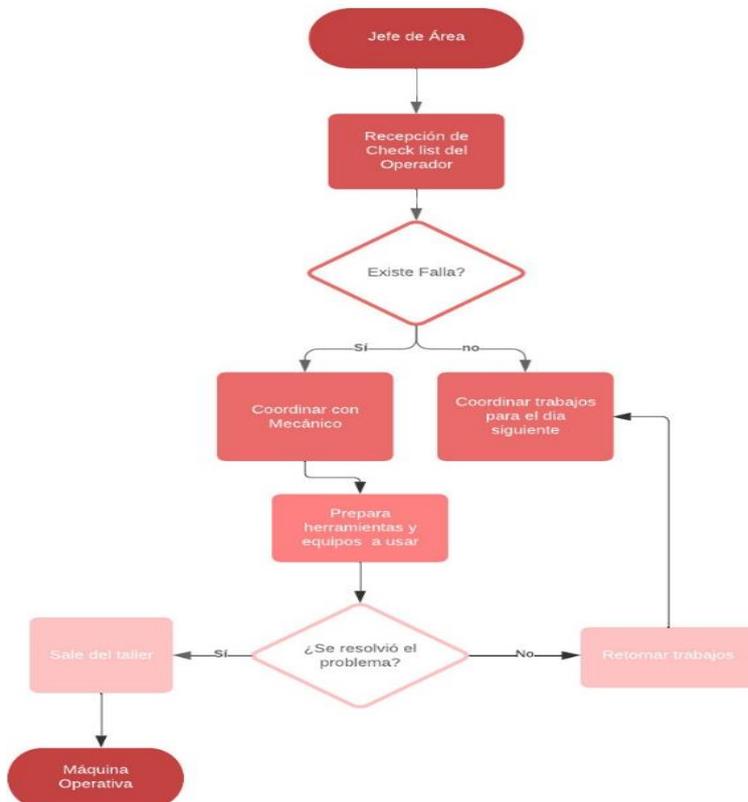
CODIGO	TIEMPO PERDIDO/HRS		ACUMULADO	% ACUMULADO
	HOMBRE	%		
00022302 MV	78	0.39795918	78	39.80%
00031870 MV	48	0.24489796	126	64.29%
00014762 MV	60	0.30612245	186	94.90%
00039255MV	10	0.05102041	196	100.00%
TOTAL	196	100.00%		

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se muestra los equipos que han pasado el 60 % en fallas; en dichos equipos se realizará el plan de mantenimiento preventivo con el fin de optimizar su disponibilidad.

Para llevar a cabo este objetivo, es necesario analizar las tareas del plan de mantenimiento de las unidades, basadas en confiabilidad, es por ello que, para la organización adecuada del taller, se obtuvo un diagrama de actividades, a continuación:

Figura 9. Diagrama de Actividades



Nota. Elaboración propia

4.1.4. Diseño.

Para realizar un P.M, es necesario tener en cuenta las necesidades que tiene la Empresa Minera Volcán S.A.A; ya que genera que el área, compuesta por la maquinaria pesada, trabaje con los procedimientos correctos, minimizando los riesgos para el personal y el medio ambiente, logrando una mejor eficiencia para el desarrollo del trabajo del área de maquinaria pesada.

Es importante, implementar los formatos necesarios para realizar los trabajos de mantenimiento, además, ser de pleno conocimiento del personal encargado para manejar el P.M, cabe destacar, que toda la información que se puede recolectar con el control de horas diarias por parte de los operadores de turno, permitirá la coordinación con las áreas que solicitan el equipo, utilizando nomenclaturas PM1, PM2, PM3 y PM4, para llevar un mejor control.

Tabla 13*Plan de Mantenimiento General*

PM	Plan de Mantenimiento
PM1	Intervalo de 250 Horas, Cambios de Aceites del Motor
PM2	Intervalo de 500 Hora, Cambios De Aceites Del Motor, sellos, filtros
PM3	Intervalo de 1000 Horas, Reemplazo de filtro de aceite de motor, aire, combustible.
PM4	Intervalo de 2000 Horas, Filtros y sellos anulares.

Nota. Elaboración propia

Tabla 14*Ciclos de Mantenimiento de Cat 950H*

Mantenimiento			Equipo: Cargadores Cat 950H							
Fecha			25/08/21	25/10/21	25/12/21	25/02/22	25/04/22			
Tipo de Mantenimiento			PM1	PM2			PM3	PM4		
Horas de servicio			250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Horas estimadas Reales			12000	12287	12574	12861	13148	13435	13722	14009
Descripción	Código	N# deCantidad parte								
Filtros de Aire	FA-001	E- 1 5682P	X							
Aceite de15W-40	BT- 15 GLNS	9572	X	X	X	X	X			X
Transmisión	deFC-002	X-P0761	X							
Filtro combustible	deNR-041	093-75 10	X				X			
Nivel refrigerante	deSA/C-004	61- 1 2503	X		X		X			
Separador agua/ combustible	deFT-008	A-V2381	X		X		X			X
Filtro transmisión	EC/H/M- y020	Y-3096 25 GLNS	X		X		X			X
Aceite hidráulicos malquerías	deNB	NB-02 1	X				X			X
Nivel de batería	deCI-0014									
Calibración inyector	deCVA- de0010									
Calibración válvulas admisión	deCVE- de0011									
Calibración válvulas escape										

Nota. Elaboración propia

Tabla 15
P.M. de Cat GC

Mantenimiento		Equipo: Cargadores Cat GC							
Fecha					25/08/21	25/10/21	25/12/21	25/02/22	25/04/22
Tipo de Mantenimiento	PREVENTIVO	PM1	PM2	PM3	PM4				
Horas de servicio		250	500	750	1000				
Horas estimadas Reales		6800	7087	7374	7661				
Descripción	Código	N# de parte	Cantidad						
Filtros de Aire	FA-001	E-5682P	1	X					
Aceite de Transmisión	15W-40	BT-9572	15 GLNS	X	X	X	X		X
Filtro combustible	FC-002	X-P076	1	X					
Nivel refrigerante	NR-041	093-75	10	X			X		
Separador agua/combustible	SA/C-004	61-2503	1	X		X	X		
Filtro transmisión	FT-008	A-V238	1	X		X	X		X
Aceite hidráulicos	EC/H/M-y020	Y-3096	25 GLNS	X		X	X		X
Nivel de batería	laNB	NB-02	1	X			X		X
Calibración inyector	CI-0014								
Calibración válvulas admisión	CVA-0010								
Calibración válvulas escape	CVE-0011								

Nota. Elaboración propia

Tabla 16

P.M. Camiones Volvo Fmx

Mantenimiento			Equipo: Camiones Volvo Fmx							
Fecha			25/08/21	25/10/21	25/12/21	25/02/22	25/04/22			
Tipo	dePREVENTIVO		PM1		PM2		PM3		PM4	
Mantenimiento										
Horas de servicio			250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Horas estimadas Reales			6800	7087	7374	7661	7948			
Descripción	Código	N# deCantidad			X		X			X
Filtros de Aire	FA-001	E- 1 5682P			X		X			X
Aceite	de15W-40	BT- 37 Lt			X		X			X
Transmisión		9572								
Filtro	deFC-002	X-P0761			X		X			X
combustible										
Nivel	deNR-041	093-75 26 Lt			X		X			X
refrigerante										
Separador	deSA/C-	61- 1			X		X			X
agua/	004	2503								
combustible										
Filtro	deFT-008	A-V2381			X		X			X
transmisión										
Aceite	EC/H/M-	Y-3096 25 GLNS			X		X			X
hidráulicos	y020									
malquerías										
Nivel de	laNB	NB-02 1			X		X			X
batería										
Calibración	deCI-0014									
inyectores										
Calibración	deCVA-									
válvulas	de0010									
admisión										
Calibración	deCVE-									
válvulas	de0011									
escape										

Nota. Elaboración propia

Tabla 17

P.M. Camiones Scania P460

Mantenimiento				Equipo: Camiones Scania P460					
Fecha				25/08/21	25/10/21	25/12/21	25/02/22	25/04/22	
Tipo	dePREVENTIVO			PM1	PM2		PM3		PM4
Mantenimiento	Código	N#	deCantidad	X					
Horas de servicio				250	500	750	1000	1250	1500 1750 2000
Horas estimadas Reales				6800	7087	7374	7661	7948	
Descripción	Código	N#	deCantidad	X		X		X	X
Filtros de Aire	FA-001	E-5682P	1	X		X		X	X
Aceite	de15W-40	BT-9572	37 Lt	X		X		X	X
Transmisión	deFC-002	X-P0761		X		X		X	X
Filtro combustible	deNR-041	093-75	26 Lt	X		X		X	X
Nivel refrigerante	deSA/C-004	61-2503	1	X		X		X	X
Separador agua/combustible	deFT-008	A-V2381		X		X		X	X
Filtro transmisión	EC/H/M-y020	Y-3096	25 GLNS	X		X		X	X
Aceite hidráulicos malquerías	deNB	NB-02	1	X		X		X	X
Nivel de batería	deCI-0014								
Calibración inyectores	deCVA-de0010								
Calibración válvulas admisión	deCVE-de0011								
Calibración válvulas escape									

Nota. Elaboración propia

4.1.5. Organización del Taller

JEFE DEL TALLER:

Será responsable de organizar el taller, así como el equipo de trabajo, también será responsable de la coordinación con la dirección general, movimiento, almacén, equipos, mecánica y operaciones para una buena gestión. y garantizar el funcionamiento del dispositivo.

Tabla 18
Funciones del Jefe de taller

DATOS GENERALES		
NOMBRE:	ÁREA:	EQUIPO:
JEFE DE MANTENIMIENTO	EQUIPO PESADO	PLANTA
EJERCE LÍNEA DE AUTORIDAD SOBRE:	ASISTENTE , MECÁNICOS, ELECTRICISTA, AUTOMOTRIZ, OPERADORES DE MAQUINARIA PESADA	
OBJETIVO		
Reportar y resolver los trabajos de mantenimiento; problemas en los equipos, para que estos estén operativos para el cumplimiento de los trabajos asignados en planta. Instrucción y operación en los equipos con los operarios.		
FUNCIONES		
1	Supervisión de los trabajos de mantenimiento	
2	Asignación a los operarios en los equipos	
3	Reporte de los trabajos y horas trabajadas	
4	Monitoreo según horas de trabajo	
5	Distribución de equipos según trabajos a realizarse	
6	Monitoreo por kilómetro recorrido a las unidades	
7	Registro del consumo de combustible	
9	Resolver problemas y/o fallas en los equipos	
10	Solicitud del requerimiento de insumos para el mantenimiento de los equipos	
11	Programación de trabajos diarios en taller y de los equipos	
12	Registro de trabajos en taller	
13	Dar cumplimiento a los reglamentos de seguridad.	
RESPONSABILIDADES		
De una descripción de sus trabajos anteriores:		
Nivel educativo: Técnico Superior mecánico		

Experiencia laboral: 6 años
Elaborado por:
Verificado por:
Aprobado por:

Nota. Elaboración propia

MECÁNICOS:

Los deberes incluyen diagnosticar, reparar y realizar el mantenimiento requerido y los ajustes al equipo, organizar y clasificar las herramientas utilizadas, mantener una comunicación constante con los operadores y el área del sitio y así evitar el tiempo de inactividad.

Tabla 19

Funciones del Mecánico

DATOS GENERALES	
NOMBRE:	ÁREA: UNIDAD:
MECANICO EQUIPO PESADO	EQUIPO PESADO PLANTA
EJERCE LÍNEA DE AUTORIDAD SOBRE:	ASISTENTE MECÁNICOS, ELECTRICISTA AUTOMOTRIZ, OPERADOR
OBJETIVO	
Reportar y resolver los trabajos de mantenimiento; problemas en los equipos.	
FUNCIONES	
1	Realiza el mantenimiento
2	Resuelve problemas que se presentan
3	Monitorea a los equipos
4	Informa el estado de los equipos
5	Registra componentes e insumos a requerir

6	Mantiene el orden y limpieza en el área de trabajo.
7	Ejecutar los programas de Mantenimiento preventivos de los equipos, en coordinación con el Jefe de Mantenimiento
RESPONSABILIDADES	
De una descripción de sus trabajos anteriores:	
Nivel educativo; Técnico mecánico de equipos pesados	
Experiencia laboral: 3 años	
Conocimientos específicos: 3 años	
Elaborado por:	
Verificado por:	
Aprobado por:	

Nota. Elaboración propia

OPERADORES:

Son los encargados de revisar el equipo y asegurarse de que el equipo este en buen estado para ello deberá de realizar su chequeo de la maquina antes de iniciar cualquier trabajo, estar capacitado para operar el equipo designado tener mucho criterio al momento de realizar los trabajos, coordinar con el jefe de área y mecánico de suscitarse algún evento o fallo mecánico con el equipo.

Tabla 20

Formato Operador de Carga

DATOS GENERALES		
NOMBRE:	ÁREA:	UNIDAD:
OPERADORES DE CARGA	EQUIPO PESADO	PLANTA
EJERCE LÍNEA DE AUTORIDAD SOBRE:	JEFE DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO	
OBJETIVO		

Velar por el buen funcionamiento y operatividad de los equipos pesados de la Unidad

FUNCIONES

1	Realiza la conducción y operación en los equipos
2	Realiza el check- list.
3	Engrasa los pines y bocinas
4	Reporta deficiencias en los equipos
5	Realiza los trabajos de movimiento de tierra con los equipos.
6	Realiza diferentes trabajos solicitados en las demás áreas
7	Mantiene el orden y la limpieza en el área de trabajo.

RESPONSABILIDADES

De una descripción de sus trabajos anteriores:

Nivel educativo: Constancia y/o Certificado de Operador De Equipo Pesado Teórico

Experiencia laboral: 3 años

Conocimientos específicos de la labor: 3 años

Elaborado por:

Verificado por:

Aprobado por:

Nota. Elaboración propia

EL TALLER:

El espacio, debe estar compuesto con buena ventilación y normas de seguridad necesarias para proporcionar el trabajo del mecánico al momento de realizar las diversas actividades de mantenimiento. Por seguridad, también se instalarán estratégicamente sus respectivos extintores y también se colocará un arenero.

Actualmente, el taller se encuentra en construcción, con 2 espacios para almacenamiento de máquinas y reparación en sitio, además de un almacén para insumos y herramientas, para tener un espacio razonablemente organizado

Figura 10

Taller

Nota. Elaboración propia. Tomado de Taller en elaboración Minera Volcán, 2022



Oficina y almacén de insumos

A continuación, se muestra el área designada para oficina y almacén de la planta de maquinaria pesada de Minera Volcán, donde se puede observar su fachada, está en un 85% de terminado, al finalizar se colocarán y pintarán los rótulos y la advertencia en la barandilla de seguridad frente a la oficina de almacén con un entorno donde se pueden almacenar los suministros de mantenimiento de los Cargadores Cat 950H, Cargadores CatGC, Camiones Volvo Fmx, y Camiones Scania P460.

Figura 11
Oficina y almacén de insumos.



Nota. Elaboración propia. Tomado de Almacén de Insumos en elaboración Minera Volcán, 2022

4.1.6. Conclusión del Primer Objetivo

De los análisis realizados del Primer Objetivo, podemos concluir la siguiente comparación de un pre y un post:

Tabla 21 Comparación Objetivo 1. de un Pre y Post

Pre Identificar las tareas	Post Identificar las tareas basadas en RCM
Existía una lista completa de todos los equipos, pero no había una lista de los equipos con necesidad de mantenimiento	Se creó una tabla con los equipos para identificar quienes tenían fallas
No se tenía un registro de fallas por equipo	Se creó un registro de las fallas por equipo seleccionados para el mantenimiento
La empresa cuenta con codificación en los equipos de carga y Acarreo, pero no en fallas	Se creó, una tabla con la cantidad total de fallas de los equipos de carga y acarreo
En la Mina Volcán el 80% en tiempos era para reparación a consecuencia de fallas que no fueron programadas	Se obtuvo un incremento del 20% en la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos, a través de un diagrama de Pareto, que arrojo, cuáles son los equipos que están causando el 60% de horas que se pierden en paradas no programadas y se tuvo en un periodo determinado de 196 horas/ hombre
Solo atendían por incidencia, mientras llegaban los equipos a reparación.	Se diseñó un diagrama de actividades, para la organización del taller de la mina.
No se contaban con formatos de atención por equipo	Se desarrollaron Formatos de actividades, tanto del Jefe del Taller, Mecánicos y Operadores

Nota. Elaboración propia.

4.2. Detectar los KPI para la medición de la confiabilidad operacional de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera

Los KPI, son de gran importancia en la organización porque nos permiten analizar el estado de los procesos productivos desde la base de datos permitiéndonos identificar en qué estamos fallando para identificar las bases Las oportunidades de innovación nos permiten optimizar nuestros procesos y reducir costos para asegurar en general satisfacción empresarial.

Asimismo, estos indicadores muestran el comportamiento de los procesos a futuro y la evolución de estos a lo largo de la duración del proyecto, se puede decir que los KPI cumplen con las siguientes características:

- Los KPI ayudan a alcanzar los objetivos financieros y organizacionales establecidos.
- Permite tener una visión clara y sencilla en cada uno de los procesos.
- Puede analizar una actividad de manera independiente además de poder compararla en determinados periodos de tiempo.
- Ayuda a identificar las desviaciones que tengamos en los procesos pudiendo tomar acciones de mejora de forma inmediata.
- Optimiza los procesos y ayuda a la reducción y control de costos

Para detectar los KPI, se tomarán datos reales de campo llenados en el Parte Diario de Máquina el cual es llenado por el operador y entregado a los Controladores en donde se describe de manera abreviada las actividades que á realizado por frente además de su horómetro de inicio y final; sin embargo, estas Hora máquina (HM) se podría decir que no es una información fidedigna debido a que el controlador realiza una simple resta sin tomar en cuenta las restricciones del trabajo como calentamiento; mantenimiento preventivo, traslado de máquina de un punto a otro, paralizaciones por seguridad, etc.

Figura 12
Tiempos en Producción



Nota. Tomado de Miguel Gómez Yáñez, Roque Herrada Villarreal, “Método Simplificado para el Cálculo de Equipos y Costos en Operaciones de Minería a Cielo Abierto”. Arequipa- Perú. 2011.

4.2.1. Detección de KPI en el Carguío

A continuación, los equipos a analizar para la detección de las KPI

Tabla 22
Equipos de Análisis de carga y acarreo (E.C Y E.A)

E.C	E.A.
Cargadores Cat 950H	Camiones Volvo Fmx
Cargadores CatGC	Camiones Scania P460

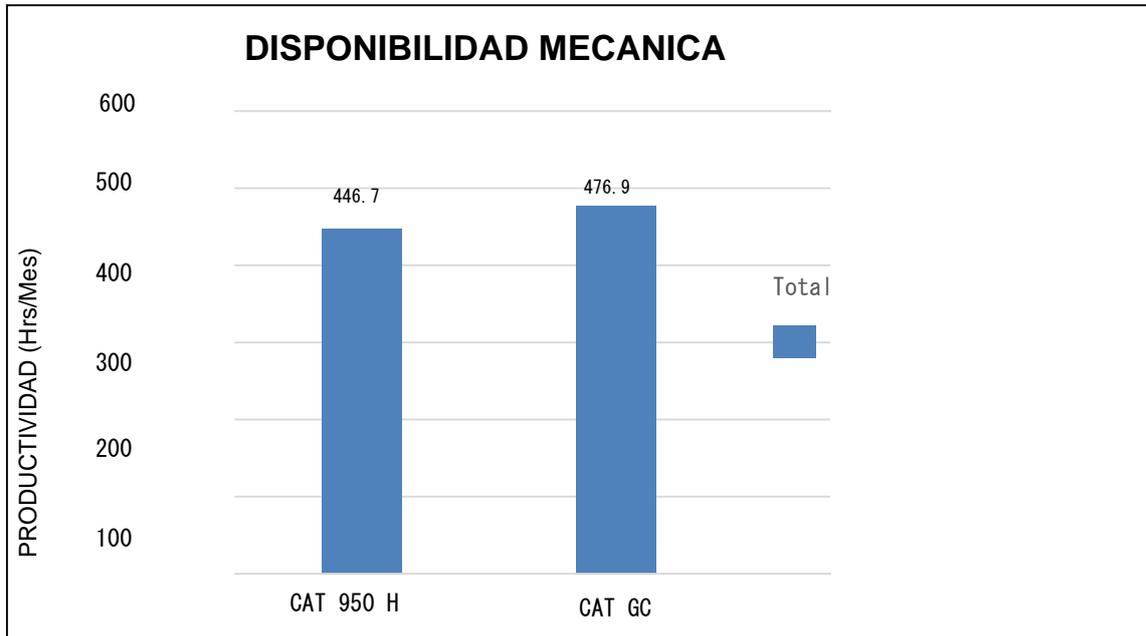
Nota. Elaboración propia

4.2.1.1. Disponibilidad Mecánica:

Este indicador de Mantenimiento se basa en las Horas Trabajadas o Efectivas en función a las Horas Programadas o Planificadas durante el día, semana o mes según el análisis que se realice.

$$DM (\%) = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Horas Programadas}}$$

Figura 13
Disponibilidad Mecánica en Equipos de Carguío



Nota. Elaboración propia

La Disponibilidad Mecánica, por mes es del 92% en tomando Horas Programas 10 horas por turno.

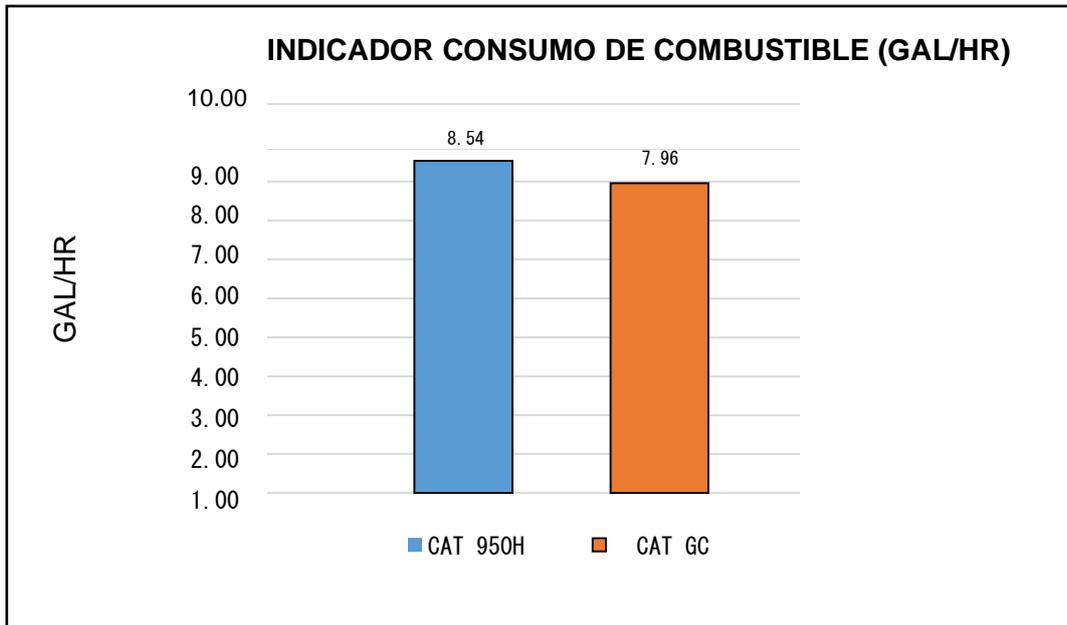
Utilización:

La investigación arroja, que la utilización de los Equipos de Carguío llega a un 90% en Promedio, siendo esta, el Tiempo en que el equipo realiza una labor, para la cual fue diseñado, contando con los retrasos operativos.

Indicador de Consumo de Combustible por Hora:

Este indicador nos permite ver el consumo de Combustible en los equipos de Carguío por Hora efectiva o Trabajada, sin embargo, va a depender de la utilización que se le dé al equipo tratando de minimizar los tiempos muertos como el movimiento sin carga o también la falta de experiencia del operador el cual puede conllevar a un mayor consumo de combustible.

Figura 14
Consumo de Combustible

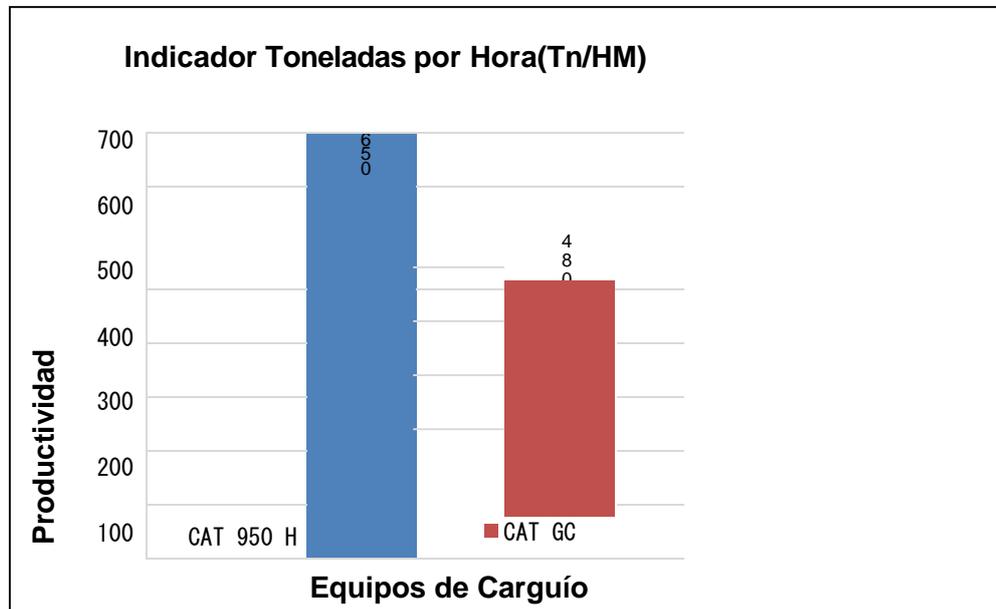


Nota. Elaboración propia

Indicador de Toneladas por Hora:

Este es un Indicador muy importante en el Proceso de Carguío ya que nos permite determinar la cantidad de material que los equipos de Carguío cargan en un determinado periodo de tiempo, en este caso 01 hora máquina trabajada.

Figura 15
Indicador Toneladas por Hora



Nota. Elaboración propia

4.2.2. Detección de KPI en el acarreo

En esta fase del proyecto de investigación los KPI del Proceso de Acarreo, serán detectados con el fin de analizar el proceso y optimizarlo en base a los indicadores obtenidos. Al igual que en los Equipos de Carguío, encontraremos similitud en algunos KPI del Proceso de Acarreo como son los indicadores de Mantenimiento, Producción, etc.

Tabla 23
Equipos de Acarreo en Estudio

Código del Equipo	Modelo
CH-VL01	Camiones Scania P460
CH-VL02	Camiones Scania P460

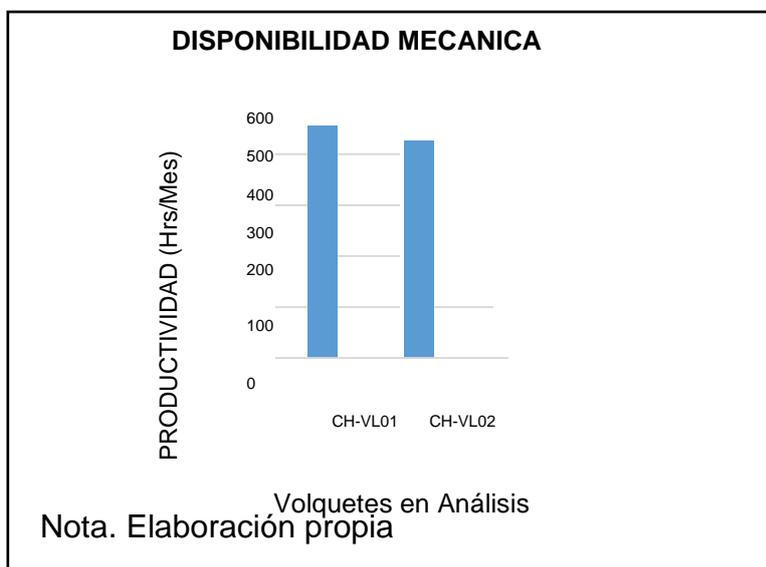
Nota. Elaboración propia

Disponibilidad Mecánica:

Al igual que en los equipos de Carguío, la Disponibilidad Mecánica es un indicador de suma importancia tanto para el área de Mantenimiento como a la de Producción ya que nos indica que tiempo tenemos al volquete mecánicamente operativo.

$$DM (\%) = \frac{\text{Horas Trabajadas o Efectivas}}{\text{Horas Programas o Planificadas}}$$

Figura 16
Indicador de Disponibilidad Mecánica



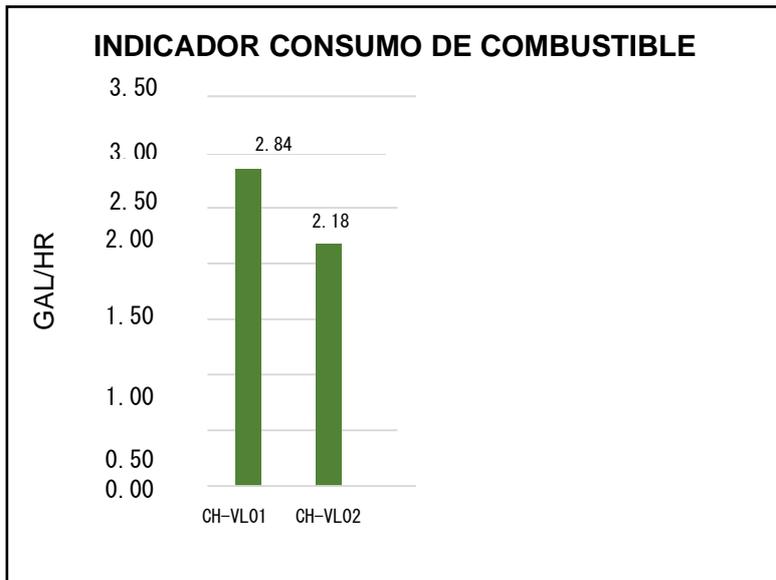
Utilización:

El Indicador de Utilización para los Equipos de Acarreo fue aproximadamente de un 92% dentro de la Operación teniendo en cuenta las fallas de los equipos y retrasos operativos que pudieran surgir. La Utilización se basa en maximizar las horas trabajadas del equipo cumpliendo su función de diseño.

Indicador de Consumo de Combustible por Hora:

El Consumo de Combustible está en función a la cantidad de Galones suministrados al equipo de Acarreo durante el mes y la cantidad de Horas máquina trabajadas en el mismo periodo. Como podemos observar en el cuadro el consumo de combustible es variable debido a la Utilización que se le haya dado al equipo de Acarreo durante el periodo de análisis, sin embargo, se debe llevar un promedio de 2.5 Gal por hora Máquina Trabajada.

Figura 17
Indicador de Consumo de Combustible (GAL/HR)



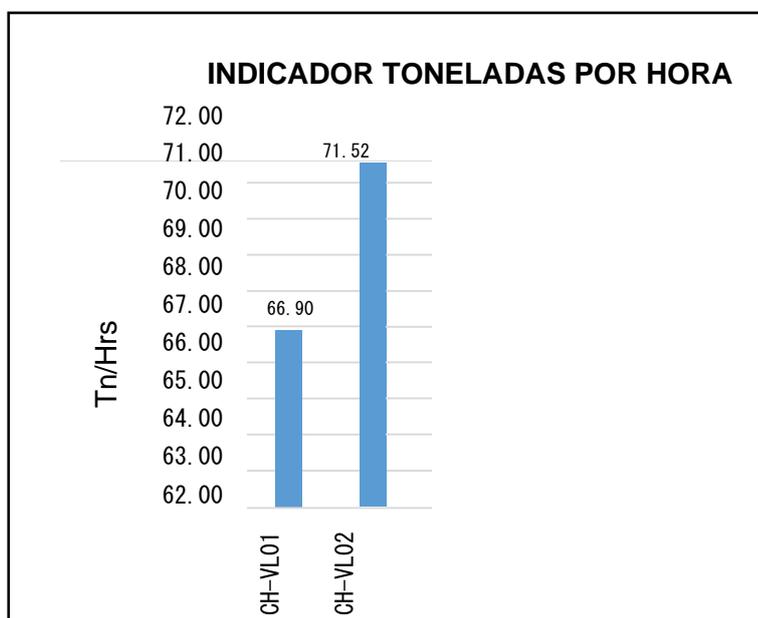
Nota. Elaboración propia

Indicador de Toneladas por Hora:

Este indicador nos permite determinar la cantidad de Toneladas Acarreadas a los diferentes frentes de trabajo por Hora; está en función al Tiempo de Ciclo del equipo de acarreo, es decir mientras mayor sea su ciclo, menor será el tonelaje acarreado.

Otro factor clave a tomar en cuenta es la distancia del punto de Carguío hacia el punto de Descarga ya que está relacionada con el Tiempo de Ciclo del equipo de Acarreo.

Figura 18
Indicador de Toneladas por Hora (Tn/Hrs)



Nota. Elaboración propia

4.2.3. Determinación de la Situación de la Flota Inicial de Carguío y Acarreo.

Se determinó la cantidad de camiones y cargadores en operación, en mantenimiento y en demoras operacionales

Tabla 24

Situación de la flota de carguío y acarreo.

Máquinas	Situación de la Flota	
Camiones	Pt:	16
	Po:	8
	Pm:	6
	Pdo:	2
Cargadores	Pt:	4
	Po:	3
	Pm:	1
	Pdo:	0

Nota. Elaboración propia

Donde:

Pt: Flota total.

Po: Flota en operación.

Pm: Flota en mantenimiento.

Pdo: Flota en demoras operacionales.

4.2.4. Determinación de los Tiempos Promedios y de los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) de la Flota de Acarreo Optimizada.

Tiempo Promedio Hasta el Fallo o Confiabilidad

La Mina Volcán, desempeña un horario laboral de 9 horas diarias, los datos que se obtuvieron fueron recolectados en un periodo de 6 meses.

Para la obtención del tiempo promedio hasta el fallo se utilizó la siguiente formula:

$$MTTF = \frac{\text{tiempo total en horas de operación de los equipos Acarreo y Carguío}}{\text{Cantidad de fallas por equipo}}$$

Para cada uno de los equipos considerados críticos se utilizó la fórmula anterior se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 25.

Cálculo del MTTF para Cargador CAT 950H CATERPILLAR

Cargador CAT 950H CATERPILLAR	
00039255MV	
MTTF	16
Tiempo total en horas de paro de los equipos de Acarreo y Carguío	160
Cantidad de fallas	10

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26

Cálculo del MTTF para el Cargador Cat GC

Cargador Cat GC CATERPILLAR	
00031870 MV	
MTTF	3.3
Tiempo total en horas de paro de los equipos de Acarreo y Carguío	160
Cantidad de fallas	48

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27.
Cálculo del MTTF para el Freno del motor VEB390

Freno del motor VEB390	
00014762 MV	
MTTF	2.6
Tiempo total en horas de paro de los equipos de Acarreo y Carguío	160
Cantidad de fallas	60

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28.
Cálculo del MTTF para el Articulado, aplicación Volquete

Articulado, aplicación Volquete	
00022302 MV	
MTTF	2.42
Tiempo total en horas de paro de los equipos de Acarreo y Carguío	160
Cantidad de fallas	66

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29.

Cuadro Resumen de la confiabilidad de los equipos de Acarreo y Carguío

Confiabilidad de los equipos de Acarreo y Carguío				
Equipo	Tiempo total de producción de 6 meses	Tiempo de Paros en Horas	Cantidad de fallas	MTTF
00039255MV		10	10	16
00031870 MV	160	36	48	3.3
00014762 MV		36	60	2.6
00022302 MV		78	66	2.42
Total		160	184	24.32

Fuente: Elaboración Propia

La tabla muestra la confiabilidad de cada equipo perteneciente al grupo de acarreo y carguío, que fue sometido al plan de mantenimiento preventivo.

4.2.5. Tiempo Medio de Reparación (MTTR) o Mantenibilidad

Para el MTTR o tiempo medio de reparación se utilizó la siguiente formula:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo para la restauración por cada equipo}}{\text{Cantidad de fallas}}$$

En la siguiente tabla se muestra el tiempo medio de reparación de cada equipo que ha sido considerado crítico.

Tabla 30.*Cuadro Resumen de la mantenibilidad de los equipos de Acarreo y Carguío*

Equipo	Cantidad de fallas	Tiempo para la restauración por cada equipo	MTTR
00039255MV	10	10	1
00031870 MV	48	36	0.9
00014762 MV	60	36	0.6
00022302 MV	66	78	1.18
Total	184	160	3.68

Fuente: Elaboración Propia

4.2.6. Porcentaje de Disponibilidad Operativa

Con los datos obtenidos se realizó la siguiente tabla donde muestra la cantidad de fallas totales de cada uno de los equipos y el total de tiempo de inoperatividad de los mismos.

Tabla 31.*Datos obtenidos de la cantidad de fallas totales y el tiempo de inactividad total de cada equipo crítico.*

Equipo	Cantidad de fallas	Tiempo de inactividad total
00039255MV	10	10
00031870 MV	48	36
00014762 MV	60	36
00022302 MV	66	78
Total	184	160

Fuente: Elaboración Propia

Para la obtención de la disponibilidad operativa se requirió hallar el tiempo total de operación de en horas para ello se multiplico las horas de operación

en el día con los días totales del periodo de 6 meses que fue el tiempo determinado en la fase de la recolección de datos.

Tabla 32.

Cálculo del tiempo total de operación

Tiempo total de operación en horas durante el periodo de observación	1440
Horas de operación en el día	9
Periodo de Observación (6 meses) en días	160

Fuente: Elaboración Propia

La fórmula que se utilizó para calcular la disponibilidad operativa fue la siguiente:

$$\% \text{ Disponibilidad operativa} = \frac{\text{Tiempo total de operación} - \text{tiempo de inactividad total}}{\text{Tiempo total de operación}}$$

Se reemplaza los datos que la formula requiere, obteniéndose así el siguiente resultado:

$$\% \text{ Disponibilidad operativa} = \frac{1440 - 160}{1440}$$

$$\% \text{ Disponibilidad operativa} = 88\%$$

4.2.7 Implementación del Plan de Mantenimiento Preventivo

Con los datos obtenidos en el periodo de observación, además de datos calculados en capítulos anteriores, se escogieron a los equipos más críticos a través de la utilización del diagrama de Pareto; se realiza la propuesta de implementar un plan de mantenimiento preventivo en cual este constituido el equipo a tratar, sus componentes, en relación correspondiente para cada equipo que en este se podrá observar en las tablas siguientes:

4.2.8 P.M. Preventivo para Cargador CAT 950H

Tabla 33

P.M. Preventivo para Cargador CAT 950H

Equipo	Componentes	Actividades a realizar	Descripción de la actividad	Materiales y herramientas a utilizar	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución en minutos	Modo
Cargador CAT 950H	Motor	Revisar	Revisar refrigerante de aceite del motor	Observación	Semanal	Mecánico	15	Parada
		Limpiar	Limpiar refrigerante de aceite del motor	Cepillo de fibra	6 meses	Mecánico	25	Parada
	Ciclo hidráulico	Ajustar	Ajuste de la tubería de descarga	Llave según el manual de apoyo	Semanal	Mecánico	10	Parada
	Dep. Hidráulico	Ajustar	Realizar ajuste de las válvulas de entrada y salida	Llave según el manual de apoyo	15 días	Mecánico	25	Parada
		Limpiar	Retirar el polvo del colector de polvo presionando varias veces la válvula de vacío	Válvula de vacío	semanal	Mecánico	10	Parada
	Filtros de aire	Reemplazar	Reemplazo del filtro de aire	Filtros de aire	15 días	Mecánico	45	Parada
		Control de la presión	Este control no puede ser efectuado en la máquina y debe ser efectuado en un banco de pruebas apropiado.	Banco de pruebas apropiado	1 vez al año	Mecánico	720	Parada
	Cucharón	Limpiar	Revisar Tuercas, colocar grasa en extensiones	Grasa Chevron Ultra duty	1 vez al año	Mecánico	120	Parada

Fuente: Elaboración Propia

4.2.9. P.M. Preventivo para Cargador Cat GC

Tabla 34.

P.M. de Mantenimiento Preventivo para Cargador Cat GC

Equipo	Componentes	Actividades a realizar	Descripción de la actividad	Materiales y herramientas a utilizar	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución en minutos	Modo
Cargador Cat GC	Filtro de aire de motor	Cambiar	Cambiar el filtro de aire del motor con el propósito de que el rendimiento del motor se encuentre limitado y encima sus componentes puedan correr el riesgo de sufrir daños	Paño húmedo y nuevo filtro	6 meses	Técnico Mecánico	90	Parada
		Inspeccionar	Inspeccionar el filtro de aire del motor, esto con el fin de tener un rendimiento óptimo e incrementar la vida útil del motor	Trapo industrial	3 meses	Técnico Mecánico	40	Parada
	Dep. Hidráulico	Ajustar	Realizar ajuste de las válvulas de entrada y salida	Llave según el manual de apoyo	15 días	Técnico mecánico	25	Parada
	Mecanismo de sobrecargas Motor	Engrasar	Engrasar cada pasador de forma generosa del conjunto de sobrecarga.	Grasa Chevron Ultra duty	3 meses	Técnico Mecánico	90	Parada
	Sistema de Control de sobrecarga motor	Inspección	Inspeccionar el sistema de control de sobrecarga para un funcionamiento seguro de la máquina, ya que este sistema evita que se ponga en marcha teniendo sobrecarga; ya que alertara al operario de manera visual y auditiva.	Peso prueba	6 meses	Técnico Mecánico	45	Parada

Fuente: Elaboración Propia

4.2.10 P.M. Preventivo para Freno del motor VEB390

Tabla 35.

P.M. Preventivo para Freno del motor VEB390

Equipo	Componentes	Actividades a realizar	Descripción de la actividad	Materiales y herramientas a utilizar	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución en minutos	Modo
Freno del motor VEB390	Motor	Revisión	Revisar que no exista presencia de cúmulos de residuos inflamables, tales como hojas, pajas, entre otros	Paño Industrial	mensual	Técnico Mecánico	15	Parada
	Cámara apaga chispas del escape	Inspección	Inspeccionar que se encuentre instalado correctamente y que este no haya sufrido algún tipo de desajuste	Manual de apoyo	6 meses	Técnico Mecánico	25	Modo
		Limpiar	Limpiar la cámara apaga chispas que se encuentra en el equipo según el manual de apoyo	Paño de limpieza	mensual	Técnico Mecánico	10	Parada
	Sistema de refrigeración del motor	Revisión	Revisar el sistema de refrigeración con el fin de que el rendimiento del motor aumente además de que se evite recalentamientos o averías en el mismo	Aire comprimido en baja presión, y paño de limpieza	cada 15 días	Técnico Mecánico	10	Modo
		Inspeccionar	Inspeccionar el nivel de refrigerante se encuentre entre las especificaciones requeridas (MÍN y MÁX) según el manual de apoyo.	Paño de limpieza	3 meses	Técnico Mecánico	25	Parada
		Adicionar	Adicionar en el depósito de recuperación el refrigerante premezclado para cumplir con las especificaciones	Agua y anticongelante	4 meses	Técnico Mecánico	15	Modo
	Cables	Inspeccionar	Inspeccionar que los cables se encuentren limpios y correctamente sujetos	Trapo industrial	3 meses	Técnico Mecánico	30	Parada
		Limpiar	Limpiar la corrosión que presenta el cable con una solución	Bicarbonato sódico y agua	3 meses	Técnico Mecánico	30	Modo
		Engrasar	Engrasar los extremos de cables para evitar la corrosión	Grasa Chevron Ultra duty,	mensual	Técnico Mecánico	15	Parada

Fuente: Elaboración Propia

4.2.11 P.M. Preventivo para Articulado, aplicación Volquete

Tabla 36
P.M. para Articulado, aplicación Volquete

Equipo	Componentes	Actividades a realizar	Descripción de la actividad	Materiales y herramientas a utilizar	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución en minutos	Modo
Articulado, aplicación Volquete	Bomba Hidráulica	Cambiar	Cambiar la bomba hidráulica que se encuentra en un estado deteriorado	Nueva bomba hidráulica	1 año	Técnico Mecánico	60	Parada
		Revisar	Revisar que el estado de la bomba sea el adecuado	Observación	3 meses	Técnico Mecánico	15	Parada
		Cambiar	Cambiar el filtro de aceite de la instalación hidráulica en el deposito	Aceite Hidráulico y llave	2 meses	Técnico Mecánico	40	Parada
	Filtro de aceite	Limpiar	Limpiar el filtro de aspiración	Paño limpiador	mensual	Ayudante Mecánico	30	Parada
		Cambiar	Sustituir el filtro de aceite(cartucho)	Nuevo filtro de aceite	2 meses	Técnico Mecánico	40	Parada
	Cables	Revisar	Revisar que el nivel de aceite que se encuentra en el depósito sea el correcto y que no exceda de la línea de nivel MAX, ya que si excede dañaría el circuito del sistema hidráulico	Observación	semanal	Ayudante Mecánico	20	Parada
		Inspeccionar	Inspeccionar que los cables se encuentren limpios y correctamente sujetos	Trapo industrial	3 meses	Técnico Mecánico	30	Parada
		Limpiar	Limpiar la corrosión que presenta el cable con una solución	Bicarbonato sódico y agua	3 meses	Técnico Mecánico	30	Parada
		Correa del ventilador	Revisar	Revisar que la corre del ventilador tenga la tensión adecuada	Observación	2 meses	Técnico Mecánico	20
	Regular		Regular la tensión de la correa del ventilador	Llave	3 meses	Técnico Mecánico	40	Parada

Fuente: Elaboración Propia

4.2.12. P.M. Cronograma

En base al anterior punto se muestra el cronograma de mantenimiento preventivo de un periodo de 6 meses para el año 2022.

Por consiguiente, se presenta el cronograma para el plan de mantenimiento preventivo.

4.2.13 Cálculo de los Indicadores post Implementación

Se calculó los nuevos indicadores con la suma total de horas de paradas programadas y propuestas del plan de mantenimiento preventivo que se realizó en los anteriores ítems.

4.2.13.1 Cargador CAT 950H CATERPILLAR

Tabla 41.

Con el P.M.Preventivo para CAT 950H CATERPILLAR

Descripción de la actividad	Periodo	Tiempo de ejecución de la actividad	Frecuencia en 6 meses	Tiempo total en minutos	Tiempo total en horas
Revisar refrigerante de aceite del motor	Semanal	15	26	390	6,50
Limpiar refrigerante de aceite del motor	6 meses	25	1	25	0,42
Ajuste de la tubería de descarga	Semanal	10	26	260	4,33
Realizar ajuste de las válvulas de entrada y salida	15 días	25	13	325	5,42
Retirar el polvo del colector de polvo presionando varias veces la válvula de vacío	semanal	10	26	260	4,33
Reemplazo del filtro de aire	15 días	45	13	585	9,75
Este control no puede ser efectuado en la máquina y máquina y debe ser efectuado en un banco de pruebas apropiado.	1 vez al año	720	0	0	0
Revisar Tuercas, colocar grasa en extensiones	1 vez al año	120	0	0	0
Total					30,75

Fuente: Elaboración Propia

4.2.13.2 Cargador Cat GC CATERPILLAR

Tabla 42.

Con el P.M. Preventivo para Cargador Cat GC CATERPILLAR

Descripción de la actividad	Periodo	Tiempo de ejecución de la actividad	Frecuencia en 6 meses	Tiempo total en minutos	Tiempo total en horas
Cambiar el filtro de aire del motor con el propósito de que el rendimiento del motor se encuentre limitado y encima sus componentes puedan correr el riesgo de sufrir daños	6 meses	90	1	90	1,50
Inspeccionar el filtro de aire del motor, esto con el fin de tener un rendimiento óptimo e incrementar la vida útil del motor	3 meses	40	2	80	1,33
Realizar ajuste de las válvulas de entrada y salida	2 meses	30	3	90	1,50
Engrasar cada pasador de forma generosa del conjunto de sobrecarga.	6 meses	90	1	90	1,50
Inspeccionar el sistema de control de sobrecarga para un funcionamiento seguro de la máquina, ya que este sistema evita que se ponga en marcha teniendo sobrecarga; ya que alertara al operario de manera visual y auditiva.	3 meses	35	2	70	1,17
Cambiar el filtro de aire del motor con el propósito de que el rendimiento del motor se encuentre limitado y encima sus componentes puedan correr el riesgo de sufrir daños	3 meses	90	2	180	3,00
Inspeccionar el filtro de aire del motor, esto con el fin de tener un rendimiento óptimo e incrementar la vida útil del motor	6 meses	45	1	45	0,75
Total					10,75

Fuente: Elaboración Propia

4.2.13.3 Freno del motor VEB390

Tabla 43.

Con el P.M. para Freno del motor VEB390

Descripción de la actividad	Periodo	Tiempo de ejecución de la actividad	Frecuencia en 6 meses	Tiempo total en minutos	Tiempo total en horas
Revisar que no exista presencia de cúmulos de residuos inflamables, tales como hojas, pajas, entre otros	mensual	15	6	90	1,50
Inspeccionar que se encuentre instalado correctamente y que este no haya sufrido algún tipo de desajuste	6 meses	25	1	25	0,42
Limpiar la cámara apaga chispas que se encuentra en el equipo según el manual de apoyo	mensual	10	6	60	1,00
Revisar el sistema de refrigeración con el fin de que el rendimiento del motor aumente además de que se evite recalentamientos o averías en el mismo	cada 15 días	10	13	130	2,17
Inspeccionar el nivel de refrigerante se encuentre entre las especificaciones requeridas (MÍN y MÁX) según el manual de apoyo.	3 meses	25	2	50	0,83
Adicionar en el depósito de recuperación el refrigerante premezclado para cumplir con las especificaciones	4 meses	15	1	15	0,25
Inspeccionar que los cables se encuentren limpios y correctamente sujetos	3 meses	30	2	60	1,00
Limpiar la corrosión que presenta el cable con una solución	3 meses	30	2	60	1,00
Engrasar los extremos de cables para evitar la corrosión	mensual	15	6	90	1,50
Revisar que no exista presencia de cúmulos de residuos inflamables, tales como hojas, pajas, entre otros	3 meses	30	2	60	1,00
Inspeccionar que se encuentre instalado correctamente y que este no haya sufrido algún tipo de desajuste	3 meses	30	2	60	1,00
Limpiar la cámara apaga chispas que se encuentra en el equipo según el manual de apoyo	mensual	15	6	90	1,50
Total					13,17

Fuente: Elaboración Propia

4.2.13.4. Articulado, aplicación Volquete

Tabla 44.

Con el P.M. para Articulado, aplicación Volquete

Descripción de la actividad	Periodo	Tiempo de ejecución de la actividad	Frecuencia en 6 meses	Tiempo total en minutos	Tiempo total en horas
Cambiar la bomba hidráulica que se encuentra en un estado deteriorado	1 año	60	0	0	0,00
Revisar que el estado de la bomba sea el adecuado	3 meses	15	2	30	0,50
Cambiar el filtro de aceite de la instalación hidráulica en el deposito	2 meses	40	3	120	2,00
Limpiar el filtro de aspiración	mensual	30	6	180	3,00
Sustituir el filtro de aceite(cartucho)	2 meses	40	3	120	2,00
Revisar que el nivel de aceite que se encuentra en el depósito sea el correcto y que no exceda de la línea de nivel MAX, ya que si excede dañaría el circuito del sistema hidráulico	semanal	20	26	520	8,67
Inspeccionar que los cables se encuentren limpios y correctamente sujetos	3 meses	30	2	60	1,00
Limpiar la corrosión que presenta el cable con una solución	3 meses	30	2	60	1,00
Revisar que la corre del ventilador tenga la tensión adecuada	2 meses	20	3	60	1,00
Regular la tensión de la correa del ventilador	3 meses	40	2	80	1,33
Total					20,50

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45.*Cuadro resumen de Datos con el P.M.*

Equipo	Cantidad de horas de parada	Total	Tiempo total de paradas antes de la implementación	Mejora en porcentaje (%)
Cargador CAT 950H CATERPILLAR	30,75			
Cargador Cat GC CATERPILLAR	10,75			
		75,17	160	46%
Freno del motor VEB390	13,17			
Articulado, aplicación Volquete	20,50			

Fuente: Elaboración Propia

La tabla anterior, muestra el resumen de los datos de los equipos posterior a la implementación del P.M preventivo.

4.2.14 Nuevo Tiempo Promedio Hasta el Fallo (MTTF)

Para la obtención de este indicador también llamado indicador de confiabilidad se tomó en cuenta: El tiempo total de producción en 6 meses: 1440 horas, El tiempo total de inactividad: es la diferencia de horas paradas antes de la mejora y las horas de parada programadas totales después del plan de mantenimiento.

$$160 - 75.17 = 84.83$$

La cantidad total de fallas en 6 meses es de 25 aquí no se toma en cuenta el número de fallas de los equipos que tienen un plan de mantenimiento preventivo.

Para la obtención de este indicador se hizo uso de la siguiente formula:

$$MTTF = \frac{\text{Tiempo total de operación del equipo}}{\text{cantidad totales de fallas por cada equipo}}$$

$$MTTF = \frac{1440 - 84.83}{25} = 54.20$$

4.2.15 Nuevo Tiempo Medio de Reparación (MTTR)

Para el cálculo de este indicador se tuvo en cuenta:

El tiempo total para la reparación: $160 - 75.17 = 84.83$

La cantidad de fallas totales por equipo durante el periodo de 6 meses: 25, excluyendo las maquinas que ya se implementó el PMP.

Se utilizó la siguiente formula:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total para reparación}}{\text{cantidad totales de fallas por cada equipo}}$$

$$MTTR = \frac{84.83}{25} = 3.39$$

4.2.16 Nuevo Porcentaje de Disponibilidad Operativa

Para este cálculo se tomó los siguientes datos que presenta la siguiente tabla:

Tabla 46.

Datos para hallar el % de la disponibilidad Operativa

Tiempo operativo total	1440
Tiempo total inoperativo	84.83

Fuente: Elaboración Propia

Utilizando la siguiente formula se obtuvo el % de la disponibilidad operativa

$$D = \frac{\text{Tiempo operativo total} - \text{tiempo total inoperativo}}{\text{Tiempo total operativo}} \times 100$$

$$D = \frac{1440 - 84.83}{1440} \times 100 = 94\%$$

4.2.17 Proyección del porcentaje de la disponibilidad de equipos

Para esta proyección, se usó el método lineal de regresión, lo que va implicar que exista una relación entre los datos históricos que se tiene o trabajar con ecuaciones normales es por ello que se buscó la línea que se ajuste en forma óptima a los datos históricos que se tiene.

La ecuación que se utilizara para el ajuste de la proyección es:

$$y = a + bx$$

Obteniendo las ecuaciones normales para el cálculo de parámetros y hallar la función de proyección. Después se estructuró un cuadro en el que se obtuvieron ecuaciones normales planteadas.

Tabla 47.

Disponibilidad Histórica

Año	Disponibilidad
2022-1	88%
2022-2	94%

Fuente: Elaboración Propia

La tabla, muestra la disponibilidad obtenida anterior a la implementación del P.M preventivo para el 2021, la misma fue del 88% y luego la disponibilidad después de la implementación del P.M preventivo el cual aumento a 94%; la obtención de estos datos se utilizó para realizar la proyección.

Tabla 48.

Proyección con el método de regresión lineal

Año	Y	X	XY	X ²
2022-1	0,88	-1	-0,88	1
2022-2	0,94	1	0,94	1
N	Sumatoria Y	Sumatorio X	Sumatorio XY	Sumatoria X²
2	1,82	0,00	0,06	2

Fuente: Elaboración Propia

Se muestra en la tabla la regresión lineal con los datos que se obtuvieron en el trabajo de investigación para su proyección.

Luego se calculó a y b para finalmente realizar la proyección de la disponibilidad de los equipos para el periodo 2023 -1 y 2023-2

$$a = \frac{\text{Sumatoria } Y}{N} = \frac{1.82}{2} = 0.91$$

$$b = \frac{\text{Sumatoria } XY}{\text{Sumatorio } X^2} = \frac{0.06}{2} = 0.03$$

$$y = a + bx = 0.91 + 0.03(2.5) = 0.98 = 98\%$$

$$y = a + bx = 0.91 + 0.03(3) = 1 = 100\%$$

Tabla 49.

Disponibilidad Proyectada

N.º	Año	Disponibilidad Proyectada
1	2022-1	88%
2	2022-2	94%
3	2023-1	98%
4	2023-2	100%

Fuente: Elaboración Propia

La anterior tabla da a conocer la disponibilidad proyectada en los equipos de la Minera Volcán, se tiene que tener en cuenta que esta proyección será la más cercana posible a la realidad si el plan de mantenimiento va mejorando respecto al paso del tiempo.

4.2.18 Cálculo de la Producción antes, después y proyección del PMP

Se tiene como dato brindado por la empresa que la producción máxima al 100 % de proyectos es de 10 cada año, es por ello que se tomó 5 como producción máxima de proyectos cada medio año

Para obtener la productividad antes del P.M preventivo se usó la siguiente fórmula:

$$\text{Prod. antes del plan} = \frac{\text{Disponibilidad del equipo antes del plan} \times \text{Producción máxima de medio año}}{\text{Disponibilidad máxima de los equipos}}$$

$$\text{Prod. antes del plan} = \frac{88 \% \times 5}{100\%} = 4.4$$

Para el cálculo de la productividad después del P.M preventivo la fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{Prod. después del plan} = \frac{\text{Disponibilidad del equipo después del plan} \times \text{Producción máxima de medio año}}{\text{Disponibilidad máxima de los equipos}}$$

$$\text{Prod. después del plan} = \frac{94 \% \times 5}{100\%} = 4.7$$

Finalmente, para la obtención de las productividades proyectadas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Prod. proyectada} = \frac{\text{Disponibilidad del equipo proyectado} \times \text{Producción máxima de medio año}}{\text{Disponibilidad máxima de los equipos}}$$

$$\text{Prod. proyectada} = \frac{98 \% \times 5}{100\%} = 4.9$$

$$\text{Prod. proyectada} = \frac{100 \% \times 5}{100\%} = 5$$

4.2.19 Cálculo de la Eficiencia antes y después del PMP

Para la obtención de la eficiencia se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Total horas de producción de 6 meses} - \text{Tiempo de inactividad total}}{\text{Total horas de producción de 6 meses}}$$

$$\text{Eficiencia antes PMP} = \frac{1440 - 160}{1440} = 0.88$$

$$\text{Eficiencia después PMP} = \frac{1440 - 84.83}{1440} = 0.94$$

4.2.20 Cálculo de la Eficacia antes y después del PMP

Para la obtención de la eficacia se tomó en cuenta que la producción meta de la minera Volcán es de 5 proyectos en un periodo de medio año; y con la producción ya obtenida se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Eficacia antes PMP} = \frac{\text{Lo que se llegó a producir} \times 100}{\text{Lo que esperaba producir}}$$

$$\text{Eficacia antes PMP} = \frac{4.7 \times 100}{5} = 94$$

$$\text{Eficiencia despues PMP} = \frac{4.9 \times 100}{5} = 98$$

4.2.21. Cálculo de la Productividad antes, después y proyección del PMP

Para la obtención de la productividad antes y después del plan de mantenimiento se empleó la siguiente formula:

$$\text{Productividad} = \text{Eficiencia} \times \text{Eficacia}$$

$$\text{Productividad antes del PMP} = 0.88 \times 94 = 82.72$$

$$\text{Productividad despues del PMP} = 0.94 \times 98 = 92.12$$

4.2.22. Conclusión del Segundo Objetivo

De los análisis realizados del Segundo Objetivo, podemos concluir la siguiente comparación de un pre y un post, tabla 51 y tabla 52:

Tabla 50 Comparación Objetivo 2. de un Pre y Post

Pre Detectar los KPIS para la medición	Post Detectar los KPI con RCM			
Solo llevan actividades que á realizado por frente además de su horómetro de inicio y final; no es una información fidedigna debido a que el controlador realiza una simple resta sin tomar en cuenta las restricciones del trabajo como calentamiento; mantenimiento preventivo, traslado de máquina de un punto a otro, paralizaciones por seguridad, etc.	Se detectaron los equipos de análisis de Carga y Acarreo, a través del indicador de Disponibilidad Mecánica			
	DM (%)= $\frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Horas Programadas}}$			
	Carguío			
	DM	92%	Horas de Turno	10
	Utilización	90%		
	Galones P/hora	8.54	Hora maquina trabajada	1
	Acarreo			
	DM	92%	Horas de Turno	10
	Utilización	92%		
	Galones P/hora	2.5	Hora maquina trabajada	1
Toneladas/hora	71.52			
No se tenía conocimiento del tiempo ni de la cantidad de camiones y cargadores en operación No se contaban con formatos de atención por equipo	Se determinó la cantidad de camiones y cargadores en operación, en mantenimiento y en demoras operacionales Pt: Flota total Po: Flota en operación. Pm: Flota en mantenimiento. Pdo: Flota en demoras operacionales			
	Se desarrollaron Formatos de actividades, tanto del Jefe del Taller, Mecánicos y Operadores			
	Carguío	Pt	16	
		Po	8	
		Pm	6	
		Pdo	2	
	Acarreo	Pt	4	
		Po	3	
		Pm	1	
		Pdo	0	
No se contaba con tiempos medios de reparaciones, ni tiempos promedios.	Se obtuvo un tiempo promedio por equipo MTTF			
	$\text{MTTF} = \frac{\text{tiempo total en horas de operación de los equipos Acarreo y Carguío}}{\text{Cantidad de fallas por equipo}}$			

Descripción	Falla	MTTF
00039255MV	Cargador CAT 950H Caterpillar	16
00031870 MV	Cargador CAT GC	3.3
00014762 MV	Freno del motor VEB390	2.6
00022302 MV	Articulado, Aplicación volquete	2.42
Total de MTTF		24.32
Se obtuvo un tiempo promedio por equipo MTTR		
$MTTR = \frac{\text{Tiempo para la restauración por cada equipo}}{\text{Cantidad de fallas}}$		
Descripción	Falla	MTTR
00039255MV	Cargador CAT 950H Caterpillar	1
00031870 MV	Cargador CAT GC	0.9
00014762 MV	Freno del motor VEB390	0.6
00022302 MV	Articulado, Aplicación volquete	1.18
Total de MTTR		3.68
No se contaba con un porcentaje de disponibilidad operativa	Se calculó la disponibilidad operativa	
	$\% \text{ Disponibilidad operativa} = \frac{\text{Tiempo total de operación} - \text{tiempo de inactividad total}}{\text{Tiempo total de operación}}$	
El porcentaje de disponibilidad operativa que se obtuvo fue del 88%, con lo cual se espera que, con la implementación de un P.M.P, este indicador aumente.		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 51 Comparación Objetivo 2 de Implementación de P.M. y Cálculos de indicadores Post Implementación

Implementación Plan de Mantenimiento Preventivo					Cálculos de indicadores Post Implementación			
Se tomaron las Fallas en Equipos más críticos a través de la utilización del diagrama de Pareto					Se calculó los nuevos indicadores con la suma total de horas de paradas programadas y propuestas del plan de mantenimiento preventivo MTTF aumento 29.88 MTTR disminuyo 0.29 D.O aumento el 2%			
Descripción	Cantidad de horas parada	MTTF	MTTR	Mejoras con Plan	Descripción	MTTF	MTTR	D.O
Cargador CAT 950H CATERPILLAR	30,75	16	1	46%	Cargador CAT 950H CATERPILLAR	54.20	3.39	94%
Cargador Cat GC CATERPILLAR	10,75	3.3	0.9		Cargador Cat GC CATERPILLAR			
Freno del motor VEB390	13,17	2.6	0.6		Freno del motor VEB390			
Articulado, aplicación Volquete	20,50	2.42	1.18		Articulado, aplicación Volquete			
Proyección de Porcentaje Se incrementó el 6% en un recorrido de 6 meses con respecto al Plan de Mantenimiento 2022-1: 88% 2022-2: 94%					Proyección de Porcentaje Se calculó a y b para finalmente realizar la proyección de la disponibilidad de los equipos para el periodo 2023 -1 y 2023-2 2023-1: 98% 2023-2: 100%			

<p>Calculo de la Producción</p> <p>Para obtener la productividad antes del P.M.P se usó la siguiente fórmula:</p> <p><i>Prod. antes del plan</i></p> $= \frac{\text{Disponibilidad del equipo antes del plan} \times \text{Producción máxima de medio año}}{\text{Disponibilidad máxima de los equipos}}$ $\text{Prod. antes del plan} = \frac{88 \% \times 5}{100\%} = 4.4$	<p>Calculo de la Producción</p> <p>La productividad después del P.M.P la fórmula utilizada fue la siguiente: Incremento: 0.3</p> <p><i>Prod. después del plan</i></p> $= \frac{\text{Disponibilidad del equipo despues del plan} \times \text{Producción máxima de medio año}}{\text{Disponibilidad máxima de los equipos}}$ $\text{Prod. después del plan} = \frac{94 \% \times 5}{100\%} = 4.7$ <p>Obtención de las productividades proyectadas</p> <p><i>Prod. proyectada</i></p> $= \frac{\text{Disponibilidad del equipo proyectado} \times \text{Producción máxima de medio año}}{\text{Disponibilidad máxima de los equipos}}$ $\text{Prod. proyectada} = \frac{98 \% \times 5}{100\%} = 4.9$ $\text{Prod. proyectada} = \frac{100 \% \times 5}{100\%} = 5$
<p>Calculo de la eficiencia antes del plan</p> <p><i>Eficiencia</i></p> $= \frac{\text{Total horas de producción de 6 meses} - \text{Tiempo de inactividad total}}{\text{Total horas de producción de 6 meses}}$ $\text{Eficiencia antes PMP} = \frac{1440 - 160}{1440} = 0.88$	<p>Calculo de la eficiencia después del plan</p> $\text{Eficiencia despues PMP} = \frac{4.9 \times 100}{5} = 98$
<p>Calculo de Eficacia antes del Plan</p> $\text{Eficacia antes PMP} = \frac{\text{Lo que se llevo a producir} \times 100}{\text{Lo que esperaba producir}}$ $\text{Eficacia antes PMP} = \frac{4.7 \times 100}{5} = 94$	<p>Calculo de Eficacia después del Plan</p> $\text{Eficacia despues PMP} = \frac{4.9 \times 100}{5} = 98$
<p>Calculo de Productividad antes del Plan</p> $\text{Productividad} = \text{Eficiencia} \times \text{Eficacia}$ $\text{Productividad antes del PMP} = 0.88 \times 94 = 82.72$	<p>Calculo de Productividad después del Plan</p> $\text{Productividad despues del PMP} = 0.94 \times 98 = 92.12$

Nota. Elaboración propia

4.3. Detectar en qué medida la realización del plan de mantenimiento de análisis de riesgo y confiabilidad aporta a la mejora de la productividad y eficiencia de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera.

Con respecto a la mejora de la productividad y eficiencia de la maquinaria, se expresarán los costos y gastos, de los equipos.

4.3.1. Costos y gastos adicionales asociados al plan de mantenimiento propuesto

Durante el proceso de implementación del plan se determinaron tanto los costos y gastos asociados a la nueva estrategia como el momento en la que se deberían aplicar. Capacitación al grupo de confiabilidad. A pesar de que esto es un gasto, para el presente ejercicio se va a considerar costo inicial e incluirlo en el análisis financiero debido a que su ejecución es específica solo para este proyecto.

- ✓ Capacitación al personal técnico. Este es considerado un gasto. No se considera para el presente ejercicio. Sin embargo, se cree conveniente indicarlo solo a modo referencial.
- ✓ Herramientas especiales. Estos son considerados activos de la compañía y por norma de la misma se deprecian en 5 años; Sin embargo, al ser herramientas que se utilizarán en operación minera y estar expuestas a daños por ser ambiente no controlado se ha considerado una vida útil promedio de 2 años.
- ✓ Costos Adicionales por mantenimiento programado. Según el plan de mantenimiento programado propuesto, se determina un incremento en el costo semestral en mano de obra y en repuestos.
- ✓ Costos Adicionales por mantenimiento estratégico.
- ✓ Ahorros generados por mantenimiento programado. Según el plan de mantenimiento programado propuesto, se obtiene un ahorro semestral en líquidos lubricantes que para el presente ejercicio son considerados ingresos

Tabla 52

Costos y gastos adicionales asociados al P.M. propuesto en \$ UU.SS

	Capacitación grupo	Capacitación personal técnico	Herramientas especiales	Mantenimiento programado	Mantenimiento estratégico (Costos adicionales)	Ahorros Generados
Nomenclatura	CG	CT	HE	MP	ME	AG
Monto	\$ 2,563.00	\$ 35,812.00	\$ 12,500.00	\$ 58,626.00	01: \$ 21,541.00 02: \$ 21,240.00 03: \$ 33480.00 04: \$ 360.00 05: \$ 30,760.00	\$ 78,622.00
Meses	0	0	24	6	01: 24 02: 48 03: 18 04: 12 05: 36	Cada 6

Nota. Elaboración propia

Beneficios adicionales asociados al plan de mantenimiento propuesto

Durante el proceso de implementación del plan y posterior simulación se determinaron beneficios asociados al incremento en la disponibilidad de la flota analizada.

Estos Beneficios son:

Utilidad adicional por mayor número de horas trabajadas, por la modalidad del contrato firmado con el cliente, la empresa genera ventas en función al número de horas que trabajo un determinado equipo y la tarifa definida para el mismo. Por diseño en el cálculo del contrato, se estableció un margen de 20%. Por tanto, la utilidad adicional que se genera resulta de la siguiente formula:

$$6 \times [(Disp. Alcanzada - Disp. Actual) \times Tarifa \times Horas semestre \times margen]$$

Reemplazando datos de la simulación

$$6 \times [(0.87 - 0.82) \times 174 \times 25920 \times 0.2] = 45,100.00 \text{ Dólares Americanos}$$

4.3.2. Viabilidad Financiera

A continuación, se muestran dos cuadros, el primero representa el flujo de caja simple (F.C.S), mientras que el segundo lo realiza de forma anual (F.C.A), de esta manera se podrá verificar si la investigación es viable.

Tabla 53
Representación de un F.C.S (En \$ EE.UU.)

Disponibilidad actual	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%
Disponibilidad alcanzada	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Tarifa	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174
Horas semestre	25920	25920	25920	25920	25920	25920	25920	25920	25920	25920
Margen	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%

	0	Semestre 1		Semestre 2		Semestre 3		Semestre 4		Semestre 5		Semestre 6		Semestre 7		Semestre 8		Semestre 9		Semestre 10	
Venta adicional	-	41,492.74	37,664.67	51,414.91	49,610.80	39,688.70	41,492.74	46,002.82	54,120.96	44,198.78	45,100.80	46,002.82	54,120.96	44,198.78	45,100.80	46,002.82	54,120.96	44,198.78	45,100.80	46,002.82	54,120.96
Ingreso ahorros	-	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00	78,622.00
CG	2,563.00																				
HE	12,500.00																				
MP		58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00	58,626.00
ME01		21,541.00																			
ME02		21,240.00																			
ME03		33,480.00					33,480.00					33,480.00									33,480.00
ME04		360.00		360.00				360.00					360.00								360.00
ME05		30,760.00											30,760.00								30,760.00
Flujo	-15,063.00	-60,955.26	-3,074.59	67,976.32	104,103.20	129,386.90	190,875.64	192,274.46	266,391.42	274,945.20	306,562.00										

Nota. Elaboración propia

Tabla 54
representación de un F.C.A.

Factor de actualización anual	10%
Factor de actualización semestre	4.88%
COK Referencial	15.59%

SEMESTRE	COSTO TOTAL	BENEFICIO TOTAL	FACTOR DE UTILIZACION	COSTO ACTUALIZADO	BENEFICIO ACTUALIZADO	FLUJO NETO DE EFECTIVO ACTUALIZADO
0	15,063.00	-	1.00	15,063.00	-	-15,063.00
1	166,007.00	120,114.74	0.95	158,281.46	114,524.91	-43,756.56
2	58,626.00	116,506.67	0.91	53,296.36	105,915.16	52,618.79
3	58,986.00	130,036.91	0.87	51,128.13	112,713.94	61,585.81
4	92,106.00	128,232.88	0.83	76,120.66	105,977.59	29,856.93
5	93,027.00	118,310.70	0.79	73,303.94	93,227.13	19,923.19
6	58,626.00	120,114.74	0.75	44,046.58	90,243.98	46,197.40
7	123,226.00	124,624.82	0.72	88,273.01	89,275.06	1,002.04
8	58,626.00	132,742.96	0.68	40,042.35	90,665.23	50,622.88
9	114,267.00	122,820.78	0.65	74,413.84	79,984.31	5,570.46
10	92,106.00	123,722.80	0.62	57,190.58	76,822.12	19,631.55
VAN	930,666.00	1,237,228.00		731,159.92	959,349	228,189.49
TIR						92%
SEMESTRAL						
TIR ANUAL						202.78%

Nota. Elaboración propia

4.3.3. Conclusión del Tercer Objetivo

De los análisis realizados del Tercer Objetivo, podemos concluir:

Tabla 55 Conclusión del P.M. propuesto Costos gastos y Viabilidad Financiera

Gastos	Costos	Viabilidad Financiera	
se mejoró la productividad ya que tanto la eficacia y la eficiencia aumentaron después de la implementación de dicho plan. Utilidad adicional por mayor número de horas trabajadas 20%		se observa que la tasa de retorno anual es de 202.7 %, siendo este un valor muy superior al COK referencia de 15.6%. La investigación en Viable.	
Capacitación de Grupo	\$ 2,563.00	Flujo de Caja Simple Flujo: 306,562 TIR actual: 92%	Flujo de caja Anual Flujo: 228,189.49 TIR anual: 202.78%
Capacitación Personal Técnico	\$ 35,812.00		
Herramientas especiales	\$ 12,500.00		
Mantenimiento programado	\$ 58,626.00		
Mantenimiento estratégico	\$ 107,381		
Ahorros generados	\$ 78,622		

Nota. Elaboración propia

4.4. Detectar en qué medida la aplicación de la estrategia de mantenimiento basado en la confiabilidad y el análisis de riesgo proporciona buenas prácticas y mejora continua en el funcionamiento de la maquinaria, equipos de carguío y acarreo de la empresa minera.

Para cumplir con las buenas prácticas y mejorar continuamente el funcionamiento de las máquinas, se organizan formularios escritos de procedimientos de trabajo seguro (PETS), a través de los cuales se pueden implementar medidas para el mantenimiento de las máquinas a utilizar, ya que deben estar regulados por el uso obligatorio de EPP, además, se debe realizar con formularios de control diario a ser llenados diariamente por el moderador de turno, formato de conversación de capacitación en el que cada moderador firmará las veces que ha sido capacitado Al menos una vez al mes, realizar un libro de trabajo para organizar el trabajo a realizar el trabajo diario, además, proporcionar informes preliminares de accidentes en caso de daños en el equipo, causas naturales o negligencia del operador, ya que esto ayudará a comprender la causa por lo que sucedió con e dispuesto para la máquina .

PETS:

El presente documento es de carácter obligatorio en toda empresa donde se apliquen trabajos específicos.

Tabla 56
Formato PETS

PETS			
Mantenimiento Preventivo de Cargadores Cat 950H			
	Código	Versión	Página 1 de 1
1. ALCANCE			
Mecánicos y Jefe de Taller			
2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL			
Protector o Casco		Respirador de media cara con filtro	
Uniforme tipo comando con cintas reflexivas		Protector de oído	
Zapatos con punta de acero		Guantes	
Lentes de seguridad			
3. EQUIPOS HERRAMIENTAS/MATERIALES			
Herramientas manuales			
Insumos (aceites, filtros)			
Bandejas Recipientes			
4. PROCEDIMIENTOS			
Coordinar con jefe de Mina, parada del equipo en el taller			
Ubicar el equipo en el lugar de trabajo de mantenimiento, colocarlo en reposo			
Asegurar la temperatura del motor, así como mangueras, cilindros hidráulicos			
Realizar análisis del Mecánico			
Iniciar con los trabajos de drenaje de aceite y extracción de filtros usados			
Realizar el purgado de líneas de combustible			
Comprobación de los trabajos realizados antes de encender el vehículo			
Arrancar el motor por 1 minuto, verificar el nivel de aceite			
Confirmar la operatividad del equipo			
5. RESTRICCIONES			
No cuenta con todos los EPP, y las herramientas necesarias en buenas condiciones			
No hay una orden del Jefe de Taller			
Fecha:	Preparado por	Revisado por	Revisado por por
			Aprobado por

Nota. Elaboración propia

Formato de Control Diario

El siguiente formato, debe ser llenado con la inspección diaria por parte del operador de turno, este check list debe llenarse con letra legible y con la fecha correspondiente el control de horas y combustibles, además puede agregarse observaciones que se consigan en la inspección.

Tabla 57
Control Diario



CHECK LIST CARGADORES CAT 950H		
AREA MAQUINARIA PESADA		FECHA:
OPERADOR		COMBUSTIBLE NIVEL
TRABAJO A REALIZAR		
AREA SOLICITANTE		
DATOS DEL EQUIPO		
MARCA	MODELO	
COLOR	NUMERO DE SERIE	
	ESTADO DEL EQUIPO	
NIVEL DE ACEITE DEL MOTOR	NIVEL REFRIGERANTE	NIVEL DE ACEITE DE TORNAMESA
UÑAS	PUNTOS DE ENGRASE	NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO
ZAPATAS	LUCES DELANTERAS	LUCES DEL BOOM
PROTECTORES DE RUEDA	TAPA DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	SELECTOR DE CAMBIOS
BATERIA	REGULADOR DE ACELERACION	TAPA TANQUE HIDRAULICO
TAPA SISTEMA REFRIGERANTE		
	ACCESORIOS DE SEGURIDAD	
CONOS DE SEGURIDAD EXTINTOR	CINTURON DE SEGURIDAD	MICAS REFLECTIVAS
	ALARMA DE TRASLACION	CLAXO
OBSERVACIONES		

OPERADOR

JEFE DE AREA

DPTO. SSOMA

Nota. Elaboración propia

4.4.1. Conclusión del Cuarto Objetivo

De los análisis realizados del cuarto Objetivo, podemos concluir la siguiente comparación de un pre y un post:

Tabla 58 Buenas Practicas adquiridas

Pre Plan de Mantenimiento	Post Plan de Mantenimiento
No existían formatos de Atención de máquinas ni operadores	Se crearon los PETS para los equipos, y el Formato de control diario

Nota. Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

1. El estudio de los autores (Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos, 2019), modificado por el desarrollo del Mantenimiento Enfocado en la Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés), por ser una metodología ampliamente reconocida y ampliamente utilizada para el desarrollo del plan que abarca todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, detección de fallas, etc.), la investigación se basa en la confiabilidad de la flota, por lo que se ha realizado el mismo estándar, de acuerdo al paso a paso de su construcción, determinando en el proceso lo que genera mayor impacto negativo en los indicadores, los autores encuestados, coinciden con (Geldres Marchena, 2019), el cual demuestra, recomienda habilidades basadas en el mantenimiento de la confiabilidad, mejorando la disposición y confiabilidad de los equipos, todo lo cual es impulsado por la necesidad de mejora continua del proceso productivo, la cooperación laboral entre los recursos humanos que lo crean , la ampliación de la vida útil y el equipo inherente a los procesos de la línea de producción, la autora (Begazo, 2019), Realizo un análisis, donde se considera la organización del trabajo, la planificación y las responsabilidades, son parte significativa para lograr la confianza en el usuario, así como, reducir o gestionar los modos de falla detectados. 2. Este estudio, está de acuerdo con (Campos, 2019), la técnica usada para identificar la información de documentación, fueron las como revistas y tesis científicas a través de la base de datos en servidores web, dependiendo de la pregunta y objetivo de la investigación, en los resultados de la búsqueda de contexto general se extrajeron 3 revistas y tesis lo suficiente como para saber y analizar la experiencia de

implementación de planes de mantenimiento, encontrando que el denominador común es la experiencia mejorando la disponibilidad de los equipos y su importante ahorro en el mantenimiento del sistema, estas investigaciones son cruciales para el estudio ya que el principal problema es la inadecuada estrategia de mantenimiento que se está aplicando actualmente en el equipos de carga y descarga, el manejo, transporte y auxiliares de la empresa minera, ya que no hay mantenimiento programado, ni se realiza mantenimiento dentro de la mina, como (Ordaya, 2020), Se eligió este enfoque para abordar los problemas que detectaron debilidades relacionadas con la disponibilidad, el beneficio y la disposición de la maquinaria utilizada durante el mantenimiento de la empresa. Cabe señalar que, al igual que López y otros, se logró una mejora en la disponibilidad, ya que se analizaron las tareas y se diseñó un P.M de las unidades, en base a esa confiabilidad, entonces todo esto ha creado un mapa de actividades, para la organización adecuada. de las minas. 3. (Jurado, 2018), afirma que luego de desarrollar su trabajo encontró que se basó en el uso del Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA), una herramienta fundamental del Centro de Mantenimiento de Confiabilidad (RCM)) se aplican en los procedimientos de mantenimiento, ya que reconoce y los efectos de falla modos, así como sus probabilidades, se sugieren tareas de mantenimiento derivadas, para combatir sus efectos, una vez realizadas estas tareas, se puede controlar y reducir el historial de fallas relacionadas con los equipos y/o sistemas, mejorando la disponibilidad mecánica del camión, la investigación tiene como objetivo dando respuestas precisas a las necesidades de mantenimiento de los equipos, especialmente si se desconoce su funcionamiento, por lo que se buscó detectar KPI para la medición de la confiabilidad operacional de la maquinaria, entre ellos los equipos de carga y acarreo, determinando su situación en la flota, además de los tiempos promedio con respecto a abastecimiento de combustible 0.23 min, cambio de turno 0.15 min, inspección rápida 0.15 min, refrigerio 0.45 min, cola de camiones, charla de seguridad, para dos meses de los camiones Volvo Fmx y Camiones Scania P460 , entre los indicadores se detectaron los indicadores de toneladas por hora, indicador medidor de consumo de combustible y el indicador de disponibilidad mecánica y esto lo llevó a crear formatos de costos, de PETS, de control diario con el fin de levantar la información para elaborar el plan de mantenimiento. 4. Concordamos

con (Rodriguez, 2018), en afirmar que la confiabilidad (RCM), es la opción para obtener resultados eficientes en equipos mineros, ya que se toman en cuenta las actividades operacionales donde se desempeñan los equipos. Dicha investigación, toma los indicadores de disponibilidad y confiabilidad, basado en RCM en la compañía Tranzit, ya que pertenece al Sistema Integrado de Transporte Publico (SITP), donde identifica las fallas que se presentan en los vehículos en un año, el análisis se desarrolló en la creación de tareas diarias de mantenimiento, que se enfocaron en el mejoramiento de la calidad y aumento de la vida útil de los equipos.

5. (The methodology of machinery and equipment maintenance adopted by the textile industries located in the Zona da Mata Mineira, 2017), El estudio destaca la caracterización común de la gestión de mantenimiento de estas empresas, que operan dentro de las minas realizando mantenimiento preventivo en su maquinaria, para analizar modos de falla e impactos en el marco de su P.M, que se basa en confiabilidad (RCM), se seleccionan con precisión las tareas para cada posible modo de falla en el dispositivo. También (Salas, 2020), los conceptos que tomaron en cuenta, también miraron como ejemplos los diferentes formatos aplicados en los respectivos controles de mantenimiento en los talleres de diferentes empresas, por lo que están utilizando modelos en formato que son similares a la Mina, esto será de gran utilidad inicialmente cuando la empresa compre más equipos, este será el punto de partida para continuar con la implementación y mejorar planes de mantenimiento de plantas de minería pesada.

6. El estudio realizado por (Hanlin, y otros, 2020), explican que los métodos de investigación pericial e investigación de campo, se utilizan para identificar la raíz, el modo y el efecto en cada subsistema, y sus resultados demostraron que esta estrategia, al tiempo que logra una producción segura, puede mejorar la eficiencia de la operación, al ser desarrollada en una estrategia de gestión y mantenimiento más razonable en la maquinaria y el equipo de la terminal de contenedores. Los autores, (Galvez, y otros, 2017), en la presente investigación busca explicar lo importante que es para las empresas que trabajan con maquinaria pesada, sobretudo en el rubro minero, contar con un elevado índice de confiabilidad y disponibilidad en sus flotas de equipos, ya que de tener índices bajos, existirán múltiples consecuencias negativas, asimismo, el autor (Miranda, 2019) , realizó una comparación estimada respecto a los indicadores previamente mencionados teniendo como un primer escenario al estado inicial del

equipo y como segundo escenario a su estado final, es decir, el posterior al diseño del plan de mantenimiento. En este punto, también se tuvo como sustento los resultados de la comparación de KPIs como disponibilidad, tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparar (MTTR). Por otra parte (Chacon, 2020), El autor explica que para determinar la productividad, el rendimiento y la eficiencia se definen los datos analíticos, lo que da como resultado datos como: horas de máquina reales frente a horas de máquina estimadas, producción real frente a la producción que se estima y para averiguar el rendimiento del P.M.P, se recopilan datos sobre disponibilidad y confiabilidad, como horas de operación planificadas, tiempo de inactividad del equipo, horas de operación reales y fallas, estos datos se procesan en un período de 24 semanas teniendo en cuenta la investigación (Cordova, 2018), con el fin de optimizar y gestionar el acarreo de material rocoso de la cantera América, para lo cual inicialmente se tomó datos de tiempos de los ciclos de acarreo en campo de la flota inicial de 3 cargadores y 11 camiones, para luego determinar sus indicadores clave de desempeño. Cabe resaltar que estas comparaciones se basan en estimaciones razonables dado que el alcance de esta investigación no incluye la implementación del plan de mantenimiento, sin embargo se toma como aporte ya que se determinaron los KPI en la investigación, es por ello, las actividades que requieren un Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad son importantes, ya que corrigen las desviaciones que pueden ocasionar un fallo en los equipos, cabe destacar, que estas estrategias, así como el detectar los KPIs, permitieron dar como resultado la viabilidad económica de detallar a un P.M dentro de la Mina, ya que se lograron determinar sus tareas, y con ello la estrategia de mantenimiento preventivo.

VI. CONCLUSIÓN

El estudio concluye que utilizando la metodología RCM de confiabilidad, se da un incremento del Tiempo Promedio ante el fallo (MTTF) del 29.88 Hrs, y con respecto al tiempo medio de reparación (MTTR) disminuyó 0.29 Hrs, en donde se podría tener un aumento de actividades por HH (horas hombre) ya que se reducirían las horas no productivas en un 54.20% debido a que el personal tendría un ambiente de trabajo más organizado, también se incrementó el 6% en un

recorrido de 6 meses con respecto al Plan de Mantenimiento, para el 2022-1: 88% y 2022-2: 94%.

Asimismo, se realizó una proyección de la disponibilidad de los equipos para el periodo 2023-1 obtenido 98% y para 2023-2 un 100%, en las mejoras, adicionalmente, se realizaron formatos PETS para tener una mejor trazabilidad en distintas presentaciones de las intervenciones diarias que se realizan en planta para poder mejorar en los KPI's del área mantenimiento y ver reflejado el mejoramiento continuo del mismo.

VII. RECOMENDACIONES

El plan de mantenimiento debe revisarse semestralmente para comprobar que está en línea con la recomendación y actualizarse anualmente, posiblemente agregando mejoras a lo propuesto originalmente para que el plan de mantenimiento funcione en las mejores condiciones.

Es necesario tener en cuenta el control preciso del tiempo de los equipos y herramientas para que se pueda llevar el historial de cada equipo y así poder realizar su mantenimiento de acuerdo al cronograma de mantenimiento planificado.

Comprobar que los resultados del plan de mantenimiento de minera Volcán propuesto, se aplican correctamente en el taller de maquinaria pesada.

Realizar el mantenimiento de sus respectivos equipos en los tiempos respectivos para mejorar la disponibilidad de los equipos.

Mantener la capacitación periódica del personal que trabaja en maquinaria pesada, incluidos los operadores, para poder planificar el mantenimiento de Minera Volcán en el trabajo y de gran ayuda en el mantenimiento de equipos con maquinaria pesada.

REFERENCIAS

Begazo, valery. 2019. *investigación para la mejora del mantenimiento preventivo utilizando la herramienta rcm para optimizar el servicio de mantenimiento a viviendas.* 2019.

Campos, Emerson. 2019. *Análisis de experiencias de implementación de planes de mantenimiento basados en la metodología RCM en la industria en los últimos 14 años: Revisión sistemática.* 2019.

Carcamo, Jose. 2019. *propuesta de mejora a plan de mantenimiento y al sistema de gestión de stock de repuestos a motor diesel de camiones de extracción 797 caterpillar en compañía minera centinela ubicada en la ciudad de antofagasta.* Universidad Tecnica federico santamaria, s.l. : 2019.

Cerda, Carola. 2016. *Análisis de riesgo asociado a incertidumbre operacional en planes mineros para minería a cielo abierto.* Universidad de Chile, s.l. : 2016.

Chacon, Henry. 2020. *Plan De Mantenimiento Preventivo Para Incrementar La Productividad De Los Equipos De Chancado Secundario En Una Empresa Minera.* 2020.

Cordova, Freddy. 2018. *Determinación De Los Kpi'S De La Flota De Camiones Para La Optimización Del Acarreo De Lastre En La Mina Pierina 2017.* 2018.

Galvez, Cyndi y Mescua, Raul. 2017. *Propuesta De Plan De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Aplicado A Una Flota De Camiones Fuera De Carretera En Una Mina De Tajo Abierto.* 2017.

García. 2017. *Mejoramiento del desempeño de equipo minero mediante estrategias de mantenimiento y reingeniería de componentes del sistema de propulsión y rodado.* Universidad Técnica Federico Santa María. Valpaiso : s.n., 2017.

García, Francisco. 2017. *mejoramiento del desempeño de equipo minero mediante estrategias de mantenimiento y reingeniería de componentes del sistema de propulsión y rodado.* Universidad Técnica Federico santamaria, s.l. : 2017.

Geldres Marchena, Ronald Raúl. 2019. *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la industria peruana. Una revisión sistemática de literatura científica de los últimos 10 años.* Trujillo - Perú. s.l. : Universidad Privada del Norte, 2019.

Hanlin, Zhang, y otros. 2020. *Research on Reliability-Centered Maintenance Strategy of Container Terminal Shore Crane.* s.l. : 10.1109/iThings-GreenCom-CPSCCom-SmartData-Cybermatics50389.2020.00106, 2020.

Jurado, Miguel. 2018. *“Implementación De Un Plan De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad Para Mejorar La Disponibilidad Mecánica De Los Camiones 785 En Una Empresa Contratista Minera.* 2018.

Li, C. y Mescua, R. 2016. *Propuesta de Plan de Mantenimiento Centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto.* Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Lima : s.n., 2016.

Limache, Edelio. 2018. *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad mecánica de los equipos Trackles de la Empresa Serminas SAC. en la Unidad Alpamarca.* Universidad Nacional del Centro del Perú, s.l. : 2018.

Ly, Cindy y Mescua, Raul. 2016. *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto.* Universidad Peruana de Ciencias aplicadas, s.l. : 2016.

Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos.

Lopez, Omar, y otros. 2019. núm. 1, s.l. : Científica, 2019, Vol. vol. 23. pp. 51-59,.

Meza, Luis Miguel. 2020. *Plan de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar el rendimiento de disponibilidad mecánica maquinaria pesada Excavadora.* Universidad Continental. Huancayo : s.n., 2020. Tesis para optar al título de Bachiller en Ingeniería Mecánica.

Meza, Luis. 2020. *Plan de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar el rendimiento de disponibilidad mecánica maquinaria pesada excavadora CAT 336– Compañía Minera Raura S. A.* 2019. Universidad Continental, s.l. : 2020.

Miranda, Cesar. 2019. *design of a maintenance plan based on the rcm strategy for a tailings press filter operating in a mine located at 4800 m.a.s.l.* 2019.

Morales, Mauricio. 2019. *Evaluación de la implementación de la metodología RCM en los harneros vibratorios de la planta concentradora Minera Caserones.* Universidad Andres Bello, s.l. : 2019.

—. 2019. *IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM EN LOS HARNEROS VIBRATORIOS DE LA PLANTA CONCENTRADORA MINERA CASERONES.*

Universidad Andrés Bello. Concepción : s.n., 2019. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Industrial.

Narváez, Julio y Palza, Augusto. 2020. *Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar los indicadores de.* Universidad César Vallejos. Trujillo : s.n., 2020. Tesis para optar al título de Ingeniero mecánico.

Narvaez, Julio y Parza, Augusto. 2020. *Aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de una empresa minera de La Libertad.* Universidad Cesar Vallejo, s.l. : 2020.

Ordaya, Javier. 2020. *“Implementación De Mejoras Basadas En El Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad De Las Máquinas En La Empresa M&C Soluciones S.A.C.* 2020.

Osorio, Elvis. 2020. *Propuesta técnica para implementar un plan de mantenimiento preventivo de la perforadora Jumbo Troidon 55XP para mejorar su disponibilidad en una mina subterránea para el año 2020.* Universidad Tecnológica del Perú, s.l. : 2020.

— **2020.** *Propuesta técnica para implementar un plan de mantenimiento preventivo de la perforadora Jumbo Troidon 55XP para mejorar su disponibilidad en una mina subterránea para el año 2020.* Universidad tecnológica del Perú. Lima : s.n., 2020. tesis para optar al título profesional de Ingeniero Mecánico .

Perez, Felix. 2021. *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial.* Colombia : Bucaramanga, 2021.

Ramos, María Gabriela Mago y Pachón, Sebastián Rocha. 2021. *Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS.* s.l. : Universidad Libre, Colombia., 2021.

Rodriguez, Jorge. 2018. *Elaboracion De Una Propuesta De Plan De Mantenimiento Basado En Confiabilidad Para La Flota De Vehiculos De La Empresa Tranzit S.A.S Perteneciente Al Sitp.* 2018.

Rojas, Rodrigo. 2017. *Análisis y aplicación de modelo de gestión del cambio en la confiabilidad y mantenimiento de área de Gravilla y Pebbles en planta de cobre de minera Los Pelambres.* Universidad de Chile, s.l. : 2017.

— **2017.** *ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE MODELO DE GESTIÓN DEL CAMBIO EN LA CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO DE ÁREA DE GRAVILLA Y PEBBLES*

EN PLANTA DE COBRE DE MINERA LOS PELAMBRES. Universidad de Chile. Santiago : s.n., 2017. tesis para optar al título de magister en gestión y dirección de empresas .

Salas, Richard. 2020. *Propuesta del plan de mantenimiento en el taller de maquinaria pesada de la Empresa Minera Castor, Ancash.* 2020.

The methodology of machinery and equipment maintenance adopted by the textile industries located in the Zona da Mata Mineira. **Machado, Lisleandra; Gonçalves,**

Manoel; Carrazo, Nilton Cesar. 2017. núm. 1, 2017, Revista Chilena de Ingeniería, Vol. vol. 25, págs. pp. 134-142.

Uribe, Sophia. 2020. *Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil.* Universidad de Lima Perú, s.l. : 2020.

ANEXOS

Anexo 1.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMINSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
VARIABLE INDEPENDIENTE P.M	EL P.M COMPRENDE UN CONJUNTO DE INTERVENCIONES U OPERACIONES PREVENTIVAS A REALIZAR EN LOS EQUIPOS O ACTIVOS DE LAS INSTALACIONES DE UNA ORGANIZACIÓN, DE ACUERDO CON LOS PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO DE CADA ACTIVO, CON EL FIN DE CUMPLIR LOS OBJETIVOS DE DISPONIBILIDAD, FIABILIDAD Y COSTE, Y ASI PROLONGAR LA VIDA UTIL DE LOS EQUIPOS (PÉREZ, Y OTROS, 2020)	EL P.M SE CALCULARÁ A TRAVES DE LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS LINEA AMARILLA.	DISPONIBILIDAD	MTBF	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS
				MTTR	TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIONES
VARIABLE DEPENDIENTE PRODUCTIVIDAD	LA PRODUCTIVIDAD ES LA EFICIENCIA DE LOS GASTOS DE UNA ORGANIZACIÓN PARA AMPLIAR SUS OPERACIONES EN RELACION CON LOS INGRESOS RECAUDADOS; A SU VEZ, SE LE CONOCE COMO UN INDICADOR ECONOMICO QUE PERMITE CALCULAR Y EXAMINAR LA CAPACIDAD DE UNA EMPRESA (GOMEZ, 2021)	LA PRODUCTIVIDAD SE CALCULARÁ POR MEDIO DE LA EFICIENCIA Y EFICACIA DEL TRABAJO REALIZADO POR LOS EQUIPOS LINEA AMARILLA.	EFICIENCIA	INDICE DE PARADAS	PORCENTAJE DE PARADAS
			EFICACIA	INDICE DE PRODUCCION LOGRADA	PORCENTAJE DE PRODUCCION LOGRADA