

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“PROPUESTA DE MANTENIMIENTO BASADO EN
LA TÉCNICA RCM PARA MEJORAR LA
DISPONIBILIDAD DE LAS MAQUINARIAS DE
IZAJE DE UNA EMPRESA MINERA EN LA
REGION JUNIN, EN EL AÑO 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Javier Joel Aguilar Castillo

Asesor:

Ing. Enrique Martín Avendaño Delgado

<https://orcid.org/0000-0003-4403-0044>

Trujillo - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Cesar Enrique Santos Gonzales	41458690
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Walter Estela Tamay	16884488
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Oscar Alberto Goicochea Ramírez	18089007
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

A Dios sobre todas las cosas, por permitirme la vida.

A mi madre que está en el cielo, por la formación y las sabias enseñanzas que me brindó.

A mi familia por el apoyo incondicional en toda esta trayectoria.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, institución que me brindó todo el soporte académico en esta magnífica experiencia de estudio y formación profesional.

A los docentes y compañeros de trabajo, quienes me alentaron continuamente a seguir y cumplir los sueños propuestos al iniciar este proyecto educativo.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	19
CAPÍTULO III: RESULTADOS	28
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS	56
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas e instrumentos de recolección ya análisis de datos.....	20
Tabla 2. Operacionalización de las variables.....	21
Tabla 3. Resumen del procedimiento de la investigación.....	22
Tabla 4. Análisis de datos (procedimiento de la investigación)	23
Tabla 5. Análisis FODA	26
Tabla 6. <i>Reporte de cada maquinaria por disponibilidad durante el 2022</i>	26
Tabla 7. Resumen de la matriz de priorización con los resultados	29
Tabla 8. Reporte de mantenimiento durante el 2022	31
Tabla 9. Resumen de pérdida según tipo de mantenimiento.....	32
Tabla 10. Reporte de horas extras	32
Tabla 11. Reporte de frecuencia de fallas durante 2022	33
Tabla 12. Resumen de acuerdo a los factores de criticidad	34
Tabla 13. Indicadores antes y después de la propuesta.....	34
Tabla 14. Resumen de perdidas	47
Tabla 15. Resultados de la variable disponibilidad después de la propuesta.....	48
Tabla 16. Disponibilidad antes vs después de la propuesta de mantenimiento basado en el RCM	48
Tabla 17. Detalle de la utilidad obtenida después de la propuesta	49
Tabla 18. Resultados de la variable Propuesta de mantenimiento basado en RCM	50
Tabla 19. Presupuesto de la propuesta.....	50
Tabla 20. Estado de resultados	51
Tabla 21. Flujo de cajas.....	51
Tabla 22. Matriz de consistencia de la investigación	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice de la Producción Minera Año base 2007, serie original y desestacionalizada Enero 2017- Agosto 2020	10
Figura 2. Análisis de criticidad (García, S. 2003)	15
Figura 3. Estructura organizacional de una empresa minera de la región Junín.....	25
Figura 4. Diagrama de Ishikawa.....	28
Figura 5. Pareto con la problemática actual	30
Figura 6. Formato de análisis de criticidad	35
Figura 7. Instructivo de la maquinaria AC 200 TEREX (200TN).....	36
Figura 8. Instructivo de la maquinaria AC 80 TEREX (80TN)	37
Figura 9. Instructivo de la maquinaria AC 50 TEREX (50TN)	38
Figura 10. Instructivo de la maquinaria TR 230 TEREX (30TN).....	39
Figura 11. Instructivo de la maquinaria CAMION GRÚA HIAB 002 (9TN).....	40
Figura 12. Formato de reporte de mantenimiento predictivo	41
Figura 13. Formato de hoja de vida de mantenimiento predictivo	41
Figura 14. Plan de mantenimiento predictivo.....	42
Figura 15. Resultados antes y después de la propuesta CR4.....	43
Figura 16. Resultado final después de la propuesta CR4	43
Figura 17. Resultado final después de la propuesta CR8	44
Figura 18. Resultados antes y después de la propuesta CR10.....	44
Figura 19. Resultado final después de la propuesta CR10	45
Figura 20. Resultados antes y después de la propuesta CR1	45
Figura 21. Resultado final después de la propuesta CR1	46
Figura 22. Resultados antes y después de la propuesta CR2.....	46
Figura 23. Resultado final después de la propuesta CR2	47

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula de MTBF (Garcia, S. 2003).....	16
Ecuación 2. Fórmula de MTTR (Garcia, S. 2003).....	16
Ecuación 3. Fórmula de disponibilidad total (Garcia, S. 2003).....	17

RESUMEN

El estudio tiene el objetivo de mejorar la disponibilidad de las maquinarias de izaje a través del plan de mantenimiento basado en la técnica RCM de una empresa minera en la región Junín. El tipo de investigación es Aplicada, con un diseño propositivo. El diagnóstico se dio mediante el diagrama de Ishikawa y el Pareto. Con el mantenimiento predictivo se logró reducir los tiempos de horas de trabajo promedio de 7.17hrs a 6hrs y fallas de 8 a 2 al año. Además, se redujeron las horas extras de 78.8 hrs a 38hrs. Con el AMEF se logró la disminución de los tiempos de reparación en horas de 86 a 14. Por último, se incrementó el promedio de reparaciones por día MTBF de 4.91 a 3.75. En cuanto al MTTR, el promedio de reparaciones por horas fue de 4.37 a 3.56. Con la propuesta se mejoró la disponibilidad al 91.23% de las maquinarias de izaje de una empresa minera. Asimismo, se obtuvo un beneficio anual de \$52,989.99. La propuesta tiene una inversión de \$32,560.00; los indicadores financieros fueron VAN de \$56,979.49, un TIR de 6.45%, recuperando lo invertido en 1.8 años y con un costo beneficio 1.5 por cada sol invertido

PALABRAS CLAVES: (Técnica RCM, AMEF, Disponibilidad)).

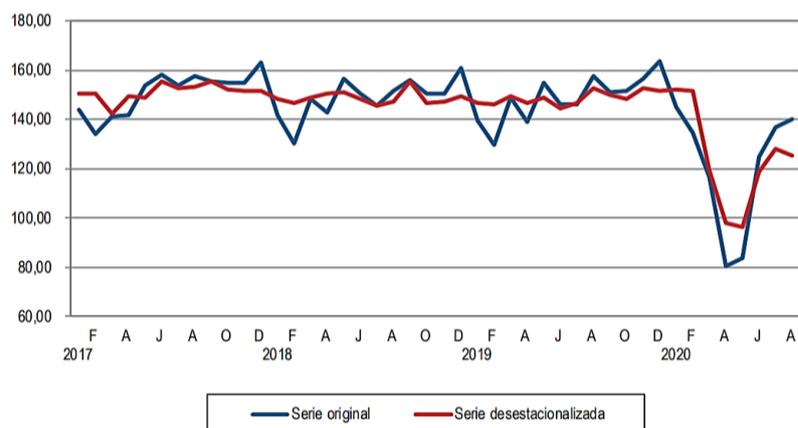
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería es una de las actividades económicas más importantes a nivel global, en cuanto a explotación, procesamiento y comercialización de minerales metálicos, minerales no metálicos, minerales industriales y recursos energéticos. A nivel mundial Estados Unidos, Canadá, México, Perú y Chile; China, ocupan los primeros lugares en el mundo en la producción de uno o más de estos minerales, como, por ejemplo, México en plata, Chile en cobre y yodo, China en oro, molibdeno, nitrógeno, silicio y azufre, entre otros (Sernageomin, 2018). Por otro lado, el Banco mundial (2020) en su informe, menciona que la producción de minerales, como el grafito, el litio y el cobalto, podría experimentar un aumento de casi un 500 % de aquí a 2050, para satisfacer la creciente demanda de tecnologías de energía limpia. En la actualidad, la minería es la columna vertebral de la economía del Perú, pues se ubica entre los primeros países productores de plata, cobre, zinc, estaño, plomo y oro. Así mismo, el sector minero, en el segundo trimestre de 2020, descendió en 34,1% sustentado en el resultado negativo de la actividad minera (INEI, 2020).

Figura 1.

Índice de la Producción Minera Año base 2007, serie original y desestacionalizada Enero 2017- Agosto 2020



En la Libertad, según el informe de la CCL (Cámara de Comercio de la Libertad, 2021) indica que la región lidera la producción nacional acumulada de oro con el 29 % de participación, seguida de Cajamarca con el 21.7 % y Arequipa con el 16.6 %. Representando, en su conjunto, el 63.1 % de la producción nacional. Entre las empresas con mayor producción aurífera, se encuentran la Compañía Minera Poderosa 14 %, Minera Aurífera Retamas 9%, a estas le siguen Consorcio Minero Horizonte 8%, Compañía Minera La arena 5 % y Barrick Misquichilca 3%. Por otro lado, el Mincetur (2019), informa que el oro sigue siendo el principal producto de exportación en la Libertad, pese a que en los últimos nueve años su participación ha disminuido de 72% a 42%.

La empresa en estudio es una minera ubicada en la región Junín, dedicada a operar principalmente en el sector Minería y Metales, la cual cuenta con una flota de equipos de izaje de gran tonelaje de entre 30 y 200 toneladas las cuales soportan las tareas de mantenimiento preventivo programado, correctivo programado y no programado habiéndose este último incrementado debido al cambio en el tipo de mineral a procesar que impacta directamente en el comportamiento de los equipos de planta acentuando fallas prematuras en chancadoras, bombas, celdas de flotación. Según el reporte del 2022 de maquinarias de izaje de la minera presentan una baja disponibilidad del 86.68%, siendo este el indicador determinante de la baja productividad en las operaciones. Esto ha provocado paradas de producción, generando pérdidas económicas a la empresa de S/183,112.00 durante los últimos 6 meses. Estas paradas se dieron porque la empresa no dispone de planes de mantenimiento predictivo en esta área, además de personal no capacitado, falta de instructivos a las maquinarias, incumplimiento con los indicadores de mantenimiento, entre otros aspectos.

En cuanto a los antecedentes internacionales similares a las variables, se encuentra la investigación de Álvarez y Zambrano (2017) realizó una propuesta de implantación de

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en los activos físicos críticos de la Central Hidroeléctrica Ocaña. Este estudio inicio con el análisis de criticidad de los activos; clasificando los activos críticos de acuerdo a los siguientes criterios de evaluación; frecuencia de fallos, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento. Posteriormente se aplicó un programa de mantenimiento mensual. Se concluye que se logró incrementar la disponibilidad de los activos físicos de la central Hidroeléctrica Ocaña. de 81% a 95%. Del mismo modo, el estudio de Zavala (2017), en su tesis presentada para optar el grado de magister en gestión del mantenimiento industrial y sustentada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en Ecuador. El estudio tiene como objetivo, implementar un plan de mantenimiento, aplicando la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para el grupo electrógeno emergente FG WILSON P300. Se aplicó el análisis de modos y efectos de fallos (AMFE), lo cual permitió reducir en un 36% la tasa de fallos, esta reducción obedece a estrategias que permiten identificar fallos potenciales, mediante monitoreo, análisis a los sistemas críticos, planificación del mantenimiento basado en la condición, procedimientos y creación de un armario emergente con repuestos de alta rotación. El mantenimiento con criterios del RCM, permitió la reducción de 32% y una reducción hasta el 94% de tiempos de fuera de servicio.

Por otro lado, los estudios que respaldan esta investigación como antecedentes nacionales tenemos al de Quispe y Valencia (2022) donde el objetivo de su estudio fue incrementar la confiabilidad operacional (MTBF) de las Pala Eléctricas de cable modelo 7495 Hydracrowd. Se desarrolló el Mantenimiento RCM lo cual permitió obtener un incremento del 45.93% en la confiabilidad operacional (MTBF) de estos equipos.; esto permitió el cálculo del costo hora por operación de una Pala Eléctrica para la cual se obtuvieron valores entre los 0.16 a 0.18 USD/TM por tonelada movida. En cambio, el estudio de Merma (2018) en su trabajo de suficiencia profesional para obtener el grado de

disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022 ingeniero mecánico eléctrico y sustentado en la Universidad Nacional San Agustín, en Arequipa. El presente trabajo tiene como objetivo incrementar la disponibilidad de palas PC4000 a través del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Después del análisis de la flota de palas PC4000 se considerados equipos críticos dentro del proceso productivo en este obteniéndose una disponibilidad del 82% probando paradas de producción. Con la aplicación del RCM se logró un incremento en la producción en 4% de 58,2382 onzas a 60,5806 onzas de oro, además de incrementar la disponibilidad a 84.6%.

Como antecedentes locales se consideró al estudio de Idrogo (2016), en su tesis tuvo el objetivo de incrementar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos. La implementación del MBR, logró aumentar los indicadores de mantenimiento, de una disponibilidad del 97.04%, confiabilidad 97.31% y mantenibilidad constante de 7.19%. esto permitió obtener un beneficio neto de S/.533505.18 al año. Asimismo, el estudio de Santillan (2017) tuvo objetivo de aumentar su disponibilidad. Se elaboró un programa de mantenimiento centrado en su confiabilidad para la bomba horizontal Warman 450 MCR, tomando en cuenta el cambio de partes húmedas y sus frecuencias preventivas optimizando el tiempo de intervención y así lograr aumentar su disponibilidad. Como resultado de los indicadores se obtuvo un MTTF de 690 horas y un MTTR de 728.3 horas, logrando de esta manera confiabilidad alta del 82%, siendo determinante en el logro de incremento de la productividad de las bombas centrifugas 728.3 horas horizontales Warman 450 MCR en minera cerro corona con una disponibilidad del 92%.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.) (Campos

disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022 et al., 2019). Por otro lado, Torres (2015) menciona que los beneficios de la aplicación del

RCM son:

- Mejora en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- Un diagnóstico más rápido de las fallas mediante la referencia a los modos de fallas relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.

- Menor daño secundario a continuación de fallas de poca importancia.
- La prevención o eliminación de las averías.

Poveda (2021), menciona que para implementar el RCM se tiene que cumplir con los siguientes pasos:

- La etapa de planeación incluye la división de los activos de una organización en sistemas, la evaluación de criticidad de estos y la selección de los sistemas que se analizarán mediante RCM.

- La segunda etapa comprende la constitución de grupos de revisión multidisciplinarios, incluyendo a un facilitador del proceso de RCM y especialistas.

- Por último, la etapa de implementación del mantenimiento basado en la confiabilidad y auditorías consiste en cargar el plan de mantenimiento nuevo en el sistema informático de planeación de mantenimiento y su debida ejecución.

Análisis de Modos de Fallos y Efectos (AMEF)

Daz (2010) indica que es un método riguroso de análisis que utiliza todas las experiencias y competencias disponibles de los estudios, métodos, mantenimiento, fabricación, calidad. Es un método inductivo y cualitativo que permite pasar revista al conjunto de los órganos de un sistema ó instalación. Por otro lado, la finalidad del RCM es identificar las causas de fallos aún no producidos, evaluando su criticidad (es decir, teniendo en cuenta su frecuencia de aparición y su gravedad).

Análisis de Criticidad

García (2003), indica que todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa. Por otro lado, los niveles de criticidad se clasifican en:

- **Equipos críticos.** Son aquellos equipos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- **Equipos importantes.** Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- **Equipos prescindibles.** Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño coste adicional.

Figura 2.

Análisis de criticidad (García, S. 2003)

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.		Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).	
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste de Mantenimiento.

Confiabilidad

(Mora, 2009) indica que la medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas. Si no hay, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable. Asimismo, es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseñó durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno, se mide a través del MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) donde se mide a través de la frecuencia que suceden las averías (García, 2003)

Ecuación 1.

Fórmula de MTBF (García, S. 2003)

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas totales del periodo de tiempo analizado}}{N^{\circ} \text{ de averías}}$$

Mantenibilidad

Es la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, puedan regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica realizar unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción (Mora, 2009). La fórmula para obtener la mantenibilidad es el MTTR (tiempo medio de reparación), que según García (2003), se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta su solución:

Ecuación 2.

Fórmula de MTTR (García, S. 2003)

$$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de paros por averías}}{N^{\circ} \text{ de averías}}$$

Disponibilidad

García (2003), es uno de los indicadores más importantes de la planta. Es el cociente de dividir el número de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el número de horas totales de un periodo.

Ecuación 3.

Fórmula de disponibilidad total (García, S. 2003)

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas paradas por mantenimiento}}{\text{Horas totales}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

1.2. Formulación del problema

Pronóstico: Siendo un patrón típico del mantenimiento predictivo para nuestro caso de estudio consideramos que la baja disponibilidad inicial del 86.68% sufrirá un incremento tendencial de entre 2 y 3% anual llegando hasta un 79% que sería inaceptable, inclusive se tendría riesgos de inoperatividad total de equipos por fallas recurrentes que requieran de Overhaul afectando la vida útil del activo, ante lo expuesto la presente investigación está enfocado en desarrollar una propuesta de mejora con la aplicación de la técnica RCM que permita ésta incrementar la disponibilidad de las maquinarias de izaje y para ello resolvemos la siguiente pregunta: ¿Cuál es impacto de la propuesta de mantenimiento basado en la técnica RCM en la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el impacto de la Propuesta de mantenimiento basado en la técnica RCM para mejorar la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos podemos considerar:

- Diagnosticar la situación actual del área de mantenimiento y la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022.
- Diseñar la propuesta de mantenimiento basado en la técnica RCM que permitirá mejorar la disponibilidad de maquinarias de izaje
- Evaluar la viabilidad económica de la propuesta

1.4. Hipótesis

La propuesta del mantenimiento basado en la técnica RCM mejora la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022.

1.5. Justificación

Dentro de la justificación teórica el presente estudio busca mediante los diferentes conceptuales determinadas sobre plan de mantenimiento RCM mejorar la disponibilidad de las maquinarias a toda escala, solucionando de esta manera los problemas de productividad de los sistemas productivos, también existe para nuestro trabajo una investigación práctica la cual con los resultados obtenidos después de la aplicación de la técnica RCM se logrará prever paradas de la línea de producción, además de generar ahorro en los costos operacionales por mantenimiento. De igual manera, este estudio conlleva a que se mejore el desarrollo de las operaciones productivas influenciado directamente en el mantenimiento preventivo y predictivo de la compañía. Nuestro estudio se justifica económicamente porque la inversión en la propuesta permitirá obtener beneficios económicos a la empresa, a corto, mediano y largo plazo, debido al incremento de la disponibilidad en efecto de la productividad de las operaciones.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es Aplicada según Lozada, J. (2014), es la que busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto. En cuanto al diseño de investigación es preexperimental – propositiva

2.2. Población y muestra

Población

Está definida por toda la flota de maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022 conformada por grúas telescópicas de entre 30 y 200 toneladas y camiones grúa con brazo articulado de entre 20 y 30 toneladas, equipos de izaje para personal (Manlift utilizados con menor demanda), junto con ello también consideramos al personal operativo de cada grúa telescópica, camión, manlift, montacargas quien junto al personal riggers complementan el equipo de trabajo.

Muestra

La muestra está definida por las 5 maquinarias de izaje que presentan la mayor criticidad y demanda en la reparación de equipos críticos de planta concentradora considerados de gran tonelaje como chancadoras cónicas, sopladores y mecanismos de celdas de flotación, en una empresa minera en la región Junín, en el año 2022. Es importante mencionar, que la muestra es no probabilística por conveniencia, debido a que se seleccionó la muestra por las características propias del estudio (Hernández y Mendoza, 2018), en este caso 5 maquinarias de izaje.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

En la siguiente tabla 1 se visualiza las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos que han sido creados, encontrándose en el apartado de Anexos.

Tabla 1.

Técnicas e instrumentos de recolección ya análisis de datos

Técnicas	Instrumentos	Objetivos
Observación	Guía de Observación	Observar los procesos y funciones de los técnicos en el área de mantenimiento de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022.
Entrevista	Guía de entrevista	Recoger datos e información sobresaliente sobre las operaciones de mantenimiento de las maquinarias de izaje
Encuesta	Encuesta Aplicada	Determinar las causas con mayor impacto en la baja disponibilidad de las maquinarias de izaje.
	Informes de fallas, averías y reparaciones	Registrar los datos al detalle sobre las fallas, averías y reparaciones, de las maquinarias de izaje
Análisis documental	Reportes de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad	Registrar los indicadores de mantenimiento de una empresa minera de la región Junín en el año 2022
	Fichas bibliográficas	Analizar las investigaciones, datos e información relacionados a las variables de estudio

2.4. Operacionalización de Variables

En la siguiente tabla 2 se visualiza la matriz de operacionalización de variables

Tabla 2.

Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Formula	Escalas Medición
Independiente: Propuesta de mantenimiento basado en la técnica RCM	Es un proceso que determina que se debe hacer, para garantizar que cualquier activo físico continúe cumpliendo las funciones deseadas en su contexto operacional actual (Torres, 2015)	El proceso RCM provee un marco estratégico de trabajo completo para manejar las fallas, separando de las ocultas de las evidentes, y luego las ordena. (Torres, 2015)	Programa de mantenimiento	Porcentaje de cumplimiento de programa de mantenimiento	N° de actividades planificadas cumplidas/ Total de actividades *100%	Razón
			Análisis de Criticidad	Porcentaje de maquinarias de izaje criticas	N° de maquinarias de izaje criticas/Total de maquinarias de izajw	
Dependiente: Disponibilidad	La disponibilidad está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación (Garcia, 2003)	Se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente (Garcia, 2003)	Disponibilidad	Porcentaje de disponibilidad	$MTBF / MTBF + MTTR$	Razón
			Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	Porcentaje de tiempo frecuencia de las averías	$MTBF = N^{\circ}$ de horas totales del periodo de tiempo analizado / N° de averías	
			Tiempo promedio entre reparaciones (MTTR)	Porcentaje de tiempo de reparaciones	$MTTR = N^{\circ}$ de horas de paros por averías / N° de averías	

Validez y confiabilidad

Los instrumentos de la presente investigación se validarán mediante Juicio Expertos con la participación del docente Asesor. Ing. Enrique Martín Avendaño Delgado, dicho formato se encuentra en el Anexo 3. Asimismo, la encuesta aplicada fue validada mediante Alfa de Cronbach obteniéndose una fiabilidad de 0.4, este formato y el cálculo se encuentra en el Anexo 2.

2.5. Procedimiento de recolección de datos

En la siguiente tabla 3 se visualiza el procedimiento de recolección de datos de acuerdo con cada técnica empleada:

Tabla 3.

Resumen del procedimiento de la investigación

Nº Técnica	Procedimiento
1 Observación	<ul style="list-style-type: none"> • Solicitud de permiso al supervisor de mantenimiento para la visita al taller mecánico. • Visita del taller mecánico de la empresa en estudio • Observar los procesos y funciones de los técnicos mecánicos. • Registro de lo observado en una la guía de observación.
2 Entrevista	<ul style="list-style-type: none"> • Solicitud de permiso y autorización del supervisor de mantenimiento. • Diseño de la guía de la entrevista con las preguntas más relevantes sobre las operaciones de mantenimiento. • Asistencia y aplicación de la entrevista al supervisor y a los técnicos de mantenimiento. • Registro de la información obtenido en la guía de entrevista.
3 Encuesta	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar la encuesta aplicada con las causas más relevantes que afectan la baja disponibilidad de las maquinarias de izaje. • Aplicación de la encuesta aplicada al supervisor, los 5 técnicos y a mi persona. • Consolidar todos los resultados obtenidos de la encuesta aplicada en la matriz de priorización.
4 Análisis documental	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilar información de todas las fuentes confiables relacionadas directamente a las variables de estudio como la técnica de aplicación RCM. • Solicitar permiso para uso de información de una empresa minera de la región Junín • Registro y consolidación de todos los datos, información y reportes obtenidos de diferentes fuentes en la base de datos (Excel).

2.6. Análisis de datos

En la siguiente tabla se describe el procedimiento para el tratamiento y análisis de los datos:

Tabla 4.

Análisis de datos (procedimiento de la investigación)

Procedimiento	Herramientas	Objetivos
Diagnosticar la situación actual del área de mantenimiento y la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022.	Diagrama de Ishikawa y Pareto	Identificar las causas raíz con mayor impacto que generan la baja disponibilidad de las maquinarias de izaje
Diseñar la propuesta de mejora con el plan de mantenimiento basado en la técnica RCM	RCM (Análisis de criticidad, instructivos, programa de mantenimiento)	Aplicar las herramientas del RCM para mejorar la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022.
Evaluar la viabilidad económica de la propuesta.	Inversión, VAN, TIR, C/B	Evaluar y analizar mediante el flujo de cajas la propuesta con los indicadores económicos determinando la rentabilidad y viabilidad económica.

2.7. Aspectos Éticos

La presente investigación titulada “Propuesta de un plan de mantenimiento basado en la técnica RCM para mejorar la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la Región Junín, en el año 2022”, respeta los derechos de los autores mencionados en el estudio, mediante la cita correcta de acuerdo con el formato APA. Así mismo, la información brindada por una empresa minera de la Región Junín solo para fines de esta

disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022 investigación, sobre reportes de fallas y reparaciones, indicadores de mantenimiento, formatos y procesos de la gestión de mantenimiento, entre otros.

2.9. Descripción general de la empresa

Información sobre la empresa.

El presente estudio está enfocado en una minera dedicada a la extracción de minerales metalíferos no ferrosos, ubicada en la región Junín. Además, es la segunda productora más grande de alúmina en el mundo y la tercera productora más importante de aluminio primario. Actualmente cuenta con operaciones mineras de bauxita, plantas de refinación de alúmina y de fundición de aluminio. También tiene diversos proyectos de metales raros, metales no ferrosos y cobre, destinados a la industria de la ingeniería y los servicios tecnológicos.

Misión

Con el firme compromiso de nuestros colaboradores transformamos eficiente y responsablemente los recursos naturales, contribuyendo con el desarrollo sostenible de nuestro entorno, así como del bienestar de nuestros grupos de interés.

Visión

Ser reconocidos como una empresa minera de primer nivel, que genera valor por su alta eficiencia, calidad en su gestión y liderazgo en tecnología e innovación.

Análisis Stakeholders

Como internos tenemos a:

- **Producto:** El producto está definido anualmente por un millón de toneladas de concentrado de cobre, 10 mil toneladas de óxido de molibdeno y 4 millones de onzas de plata.

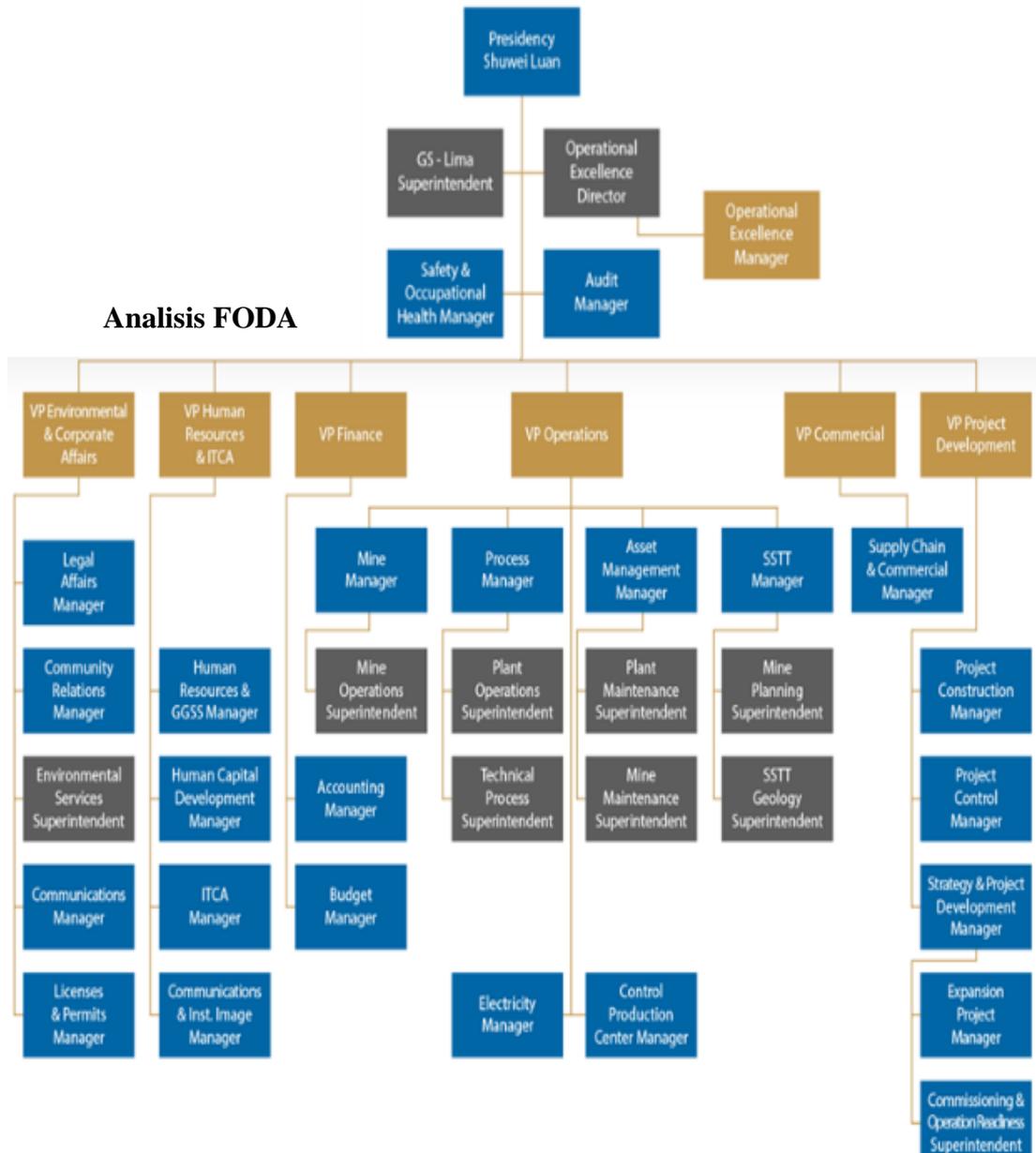
- **Cliente :** Como cliente directamente el cobre se envía a una gran demanda a China, mediante Aluminum Corporation of China para sostener la construcción de infraestructuras relacionadas con la tecnología 5G, de productos con inteligencia artificial, entre otros.

- **Organigrama:** Actualmente la empresa minera en la región Junín tiene la

siguiente estructura organizacional:

Figura 3.

Estructura organizacional de una empresa minera de la región Junín



En la siguiente tabla se visualiza el análisis FODA de una empresa minera de la

región Junin en el 2022

Tabla 5.

Análisis FODA

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • La tecnología de punta permite optimizar las operaciones. • Homologación de proveedores. • Utilidades altas. • Maquinaria de última generación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Operarios inestables. • Conflicto de interés de las comunidades aledañas. • Formación de gremios y sindicatos. • Objetivos mensuales no cumplidos.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Precios altos de los metales con tendencia estable. • Crecimiento profesional de sus empleados. • Alianzas estratégicas con universidades e institutos del país. 	<ul style="list-style-type: none"> • El precio del metal es variable. • Perdida de profesionales calificados por migración a empresas internacionales • Inestabilidad política • Alza de precios de materia prima.

Situación actual

En la actualidad la empresa minera de la región Junin reporta el siguiente registro, donde se determina la disponibilidad global promedio de 86.68% de toda la maquinaria de izaje critica, ademas de indica cada maquinaria de izaje con sus respectivos datos durante el 2022.

Tabla 6.

Reporte de cada maquinaria por disponibilidad durante el 2022

Maquinaria de izaje	Horó metro	Enero – Julio	Hrs disponible s por maq.	Mantto Programado	Mantto No program.	Disponib.	
Ac 200 Terex (200tn)	4538	12 hrs diarias	21900	18540	6 hrs semanales 1560	1800	84.66
Ac 80 Terex (80tn)	1909	12 hrs diarias	21900	17840	6 hrs semanales 1560	2500	81.46
Ac 50 Terex (50tn)	1042	12 hrs diarias	21900	19240	6 hrs semanales 1560	1100	87.85

Tr 230 Terex (30tn)	2292	12 hrs diarias	21900	19440	6 hrs semanales	1560	900	88.77
Camion Grúa Hiab 002 (9tn)	185	12 hrs diarias	21900	19858	4 hrs semanales	1040	1002	90.68

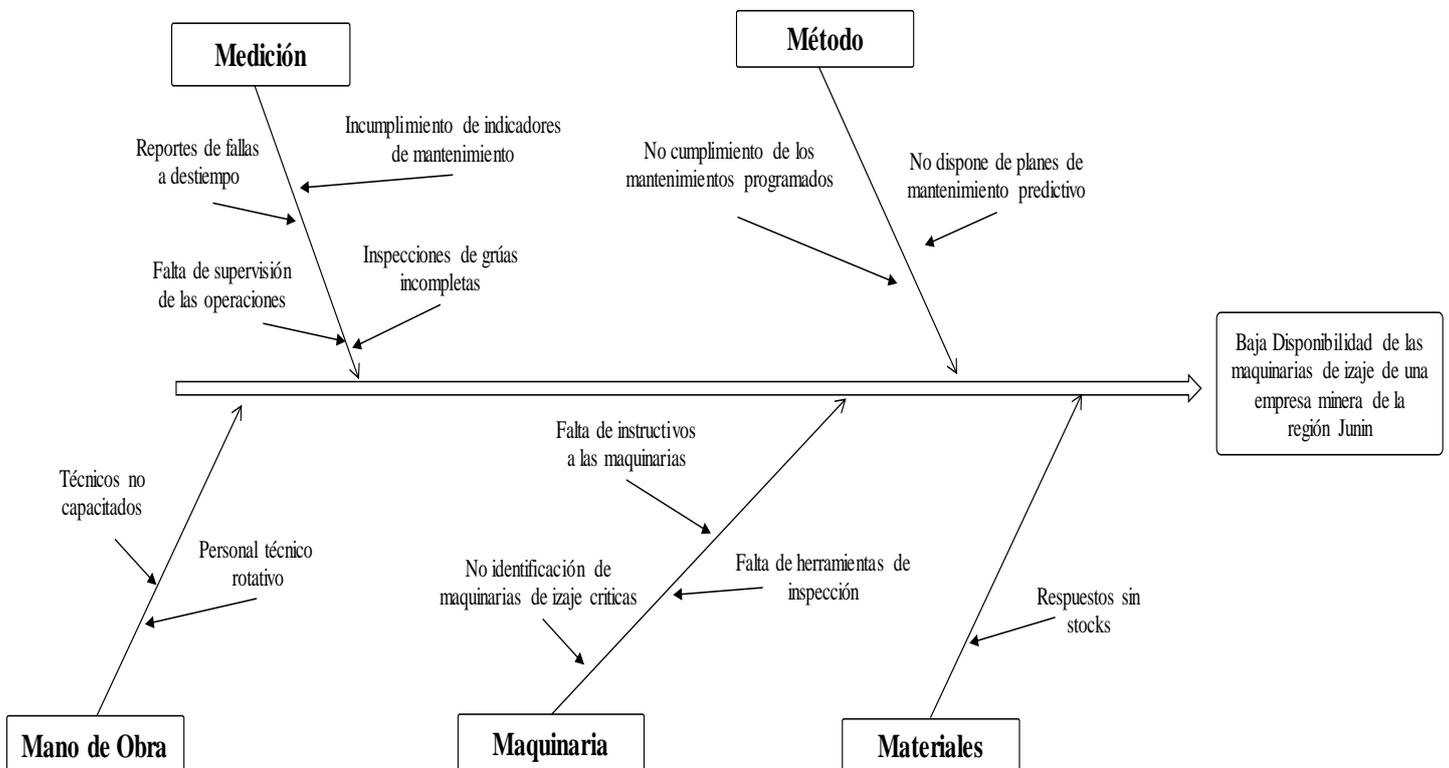
CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Diagnóstico del problema

Para identificar las causas raíz que generan la baja disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, se han mencionado las siguientes, después de analizar la lluvia de ideas:

Figura 4.

Diagrama de Ishikawa



Priorización de las Causas raíz

Mediante la priorización de causas se determinaron las 5 primeras causas raíces que generan la baja disponibilidad de una empresa minera en la región Junín, lo cual al solucionarlas se estaría mejorando la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín.

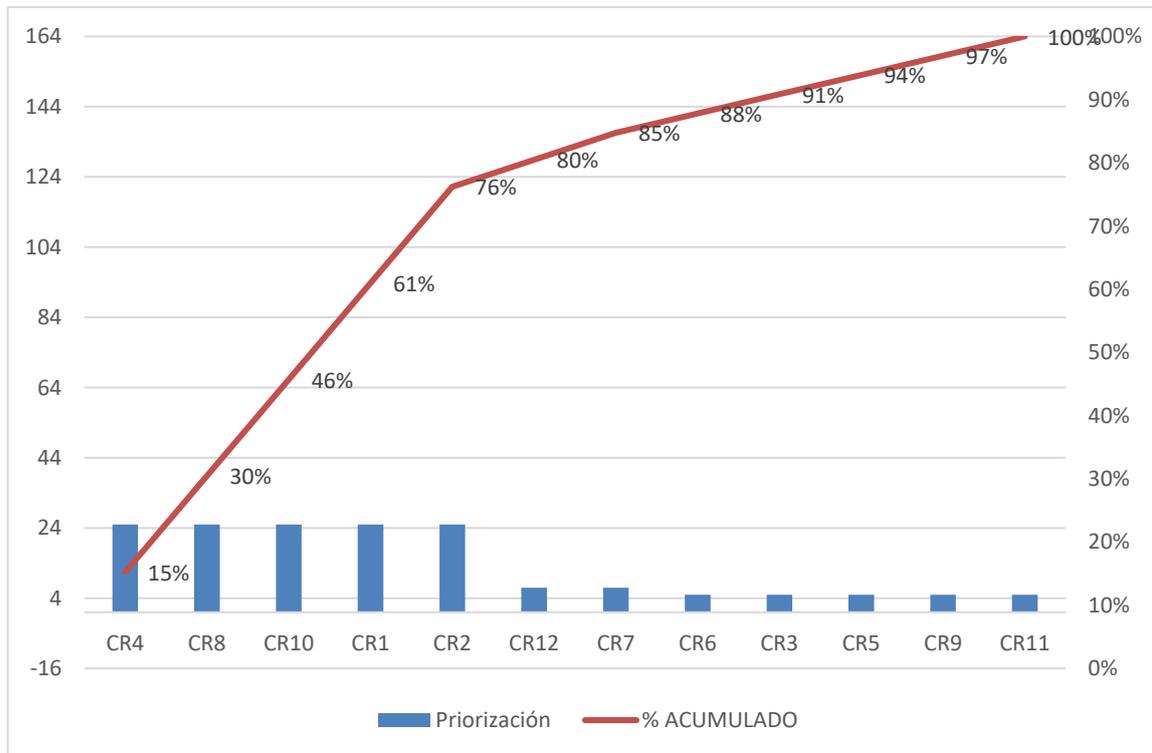
Resumen de la matriz de priorización con los resultados

CR	Descripción	Priorización	%	% Acumulado
CR4	No dispone de planes de mantenimiento predictivo	25	15%	15%
CR8	Técnicos no capacitados	25	15%	30%
CR10	Falta de instructivos a las maquinarias	25	15%	46%
CR1	No identificación de maquinarias de izaje críticas	25	15%	61%
CR2	Incumplimiento de indicadores de mantenimiento	25	15%	76%
CR12	Personal técnico rotativo	7	4%	80%
CR7	Repuestos sin stocks	7	4%	85%
CR6	Falta de herramientas de inspección	5	3%	88%
CR3	Reportes de fallas a destiempo	5	3%	91%
CR5	Inspecciones de grúas incompletas	5	3%	94%
CR9	No cumplimiento de los mantenimientos programados	5	3%	97%
CR11	Falta de supervisión de las operaciones	5	3%	100%
Total		168		

En el siguiente diagrama de Pareto se visualizan las causas que tienen el mayor impacto en la problemática actual, de esta manera se indica que solucionando los 5 primeros problemas se estaría mejorando la disponibilidad de las maquinarias de izaje, porque representan el 76% del problema

Figura 5.

Pareto con la problemática actual



Costeo de las causas raíz

CR4: No dispone de planes de mantenimiento predictivo

La pérdida se dio por los pagos realizados a una empresa proveedora de servicios tercerizados de Mantenimientos preventivos y Correctivos durante el 2022 donde se gastó \$ 38,000.00, ya que la empresa no cuenta con planes de mantenimiento predictivo. Por otro lado, los mantenimientos realizados no se completan correctamente por el tiempo corto que a veces la empresa otorga a la empresa de servicios generando reprogramaciones en las operaciones y pérdidas económicas para la empresa. En la siguiente tabla 8 se visualiza el reporte de mantenimientos realizados por una empresa de servicios de acuerdo al tipo de servicio maquinaria donde se realizó el mantenimiento.

Tabla 8.

Reporte de mantenimiento durante el 2022

Fecha Mantt	Horas Trabajo	Tipo de mantt	Costo de servicio	Descripción	Modelo de izaje	Maquinaria
10/01/2022	6	Preventivo	\$ 2,500.00	Inspección general de equipo.	Ac 200 Terex (200tn)	
15/02/2022	6	Preventivo	\$ 2,500.00	Cambio de lubricantes.	Ac 80 Terex (80tn)	
19/03/2022	6	Correctivo	\$ 3,500.00	Reajuste y lubricación de toda la maquinaria	Ac 50 Terex (50tn)	
14/04/2022	10	Correctivo	\$ 3,500.00	Reparación y cambio del cable de izaje	Tr 230 Terex (30tn)	
12/05/2022	8	Correctivo	\$ 3,500.00	Reajuste de la calefacción de la cabina	Camion Grúa Hiab 002 (9tn)	
16/06/2022	10	Correctivo	\$ 3,500.00	Cambio del sistema eléctrico (fusible)	Ac 50 Terex (50tn)	
24/06/2022	8	Correctivo	\$ 3,500.00	Reajuste del sistema hidráulico	Ac 80 Terex (80tn)	
18/07/2022	4	Preventivo	\$ 2,500.00	Análisis Vibracional	Camion Grúa Hiab 002 (9tn)	
11/07/2022	6	Preventivo	\$ 2,500.00	Reajuste del winche de izaje	Tr 230 Terex (30tn)	
20/07/2022	6	Correctivo	\$ 3,500.00	Cambio de las plumillas	Ac 200 Terex (200tn)	
22/07/2022	8	Correctivo	\$ 3,500.00	Cambio de cangreja	Ac 50 Terex (50tn)	
25/07/2022	8	Correctivo	\$ 3,500.00	Reajuste y lubricación de toda la maquinaria	Camion Grúa Hiab 002 (9tn)	
Promedio	7.17					

Como resultado del diagnóstico relacionado a la pérdida inicial se demuestra que durante los meses del 2022 se presentaron 8 fallas en las maquinarias, con una participación del 74% de mantenimientos correctivos y 26% preventivos, con un promedio de 7.17 horas de trabajo por cada mantenimiento, lo que determina que inicialmente la empresa no cuenta con mantenimiento predictivo en toda la flota de maquinaria y camiones de izaje.

Tabla 9.

Resumen de pérdida según tipo de mantenimiento

Tipo de Mantenimiento	Total	Participación %
Preventivo	\$ 10,000.00	26%
Correctivo	\$ 28,000.00	74%
Total	\$ 38,000.00	100%

CR8: Técnicos no capacitados

Los técnicos mecánicos al no contar a veces con las herramientas adecuadas y procesos operativos específicos generan tiempos muertos, provocando el no cumplimiento oportuno de los mantenimientos preventivo-programados y algunos correctivos; esto a su vez genera horas extras a la empresa por los técnicos, de igual manera para el supervisor quien es el encargado de monitorearlos. Como se indica en la siguiente tabla se presenta el reporte de horas extras brindada por el área de mantenimiento de una empresa minera de la región Junín, donde se aprecia un total de 15.2 horas extras a la semana y 78.8 al mes, identificándose un costo por horas extra al mes de \$18,750.00. Es de vital importante señalar que el porcentaje de técnicos capacitados con relación a mantenimiento predictivo es del 0% al inicio de la investigación.

Tabla 10.

Reporte de horas extras

Puesto	Hrs extras semana	Hrs extras Mes	Sueldo de los empleados por mes	Sueldo de los empleados por hora	Sueldo de los empleados por hora extra	Costo por Horas Extra al mes
Técnico mecánico 1	3.9	15.6	\$1,500.00	\$7.81	15.63	\$243.75
Técnico mecánico 2	4.2	16.8	\$1,500.00	\$7.81	15.63	\$262.50
Técnico mecánico 3	3.5	14	\$1,500.00	\$7.81	15.63	\$218.75

Técnico mecánico 4	3.6	14.4	\$1,500.00	\$7.81	15.63	\$225.00
Supervisor de mantenimiento	4.5	18	\$3,500.00	\$18.23	36.46	\$656.25
Total	15.2	78.8				\$950.00
					Total	\$18,750.00

CR10: Falta de instructivos a las maquinarias

En algunas oportunidades los técnicos mecánicos realizan malas operaciones de mantenimiento en las maquinarias de izaje debido a que algunas no cuentan con instructivos provocando paradas de producción cortas, a veces más prolongadas logrando generar pérdidas a la empresa de \$10,750.00 durante el 2022 por costo total por mala operación. Con el diagnóstico inicial se demostró que solo el 15% de los instructivos estaban habilitados. En la siguiente tabla 11 se presenta el reporte sobre la frecuencia de fallas en horas (mes) durante el 2022.

Tabla 11.

Reporte de frecuencia de fallas durante 2022

Maquinaria de izaje	Fallas por mala operación	Total Paradas en Hrs	Costo de Parada por Total de Horas
Ac 200 Terex (200tn)	2	12	\$ 1,500.00
Ac 80 Terex (80tn)	2	14	\$ 1,750.00
Ac 50 Terex (50tn)	2	24	\$ 3,000.00
Tr 230 Terex (30tn)	2	16	\$ 2,000.00
Camion Grúa Hiab 002 (9tn)	3	20	\$ 2,500.00
	11	86	\$10,750.00

CR1: No identificación de maquinarias de izaje críticas

Para identificar el costo de pérdida se han considerados solo los mantenimientos correctivos porque representan el 74% de los costos asumidos por la empresa en el año 2022, esto de acuerdo con el análisis de factores de criticidad de cada maquinaria se logró obtener

disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022 una pérdida inicial de \$17,217.23 dólares por costo total de mantenimiento determinando las 5 maquinarias de izaje críticas. En cuanto al porcentaje de maquinarias de izaje críticas identificadas antes del estudio fue del 0%, ya que después del análisis se logró identificar cuáles eran críticas.

Tabla 12

Resumen de acuerdo a los factores de criticidad

Maquinaria	Factores de Criticidad						
	FF	IO	FO	CM	Consecuencia	CT	Categoría
Ac 200 Terex (200tn)	3	10	4	5	45	135	Crítico
Ac 80 Terex (80tn)	3	10	4	5	45	135	Crítico
Ac 50 Terex (50tn)	3	10	4	10	50	150	Crítico
Tr 230 Terex (30tn)	3	10	4	5	45	135	Crítico
Camion Grúa Hiab 002 (9tn)	3	10	4	5	45	135	Crítico

Identificación de los indicadores

En la siguiente tabla se visualiza los indicadores de valor actual y meta obtenidos en la investigación. Asimismo, la pérdida inicial y la pérdida final obtenida en la propuesta en moneda dólar lográndose un beneficio final de \$52,989.99 al año.

Tabla 13.

Indicadores antes y después de la propuesta

CR	Causa Raíz	Indicador	Fórmula	Valor Actual	Pérdida Inicial	Valor Meta	Pérdida Final	Beneficio
CR4	No dispone de planes de mantenimiento predictivo	% de planes de Mantenimiento Predictivos ejecutados	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de planes de MPred ejecutados}}{\text{Total de planes de MPred}} * 100\%$	0%	\$38,000.00	95%	\$17,000.00	\$21,000.00
CR8	Técnicos no capacitados	% de técnicos capacitados	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de técnicos capacitados}}{\text{Total de técnicos}} * 100\%$	0%	\$18,750.00	95%	\$5,250.00	\$13,500.00

CR10	Falta de instructivos a las maquinarias	% de instructivos habilitados	N° de instructivos de habilitados/Total de instructivos identificados*100%	15%	\$10,750.00	100%	\$3,500.00	\$7,250.00	
CR1	No identificación de maquinarias de izaje críticas	% de maquinarias de izaje críticas	N° de maquinarias de izajes de maquinarias de izaje *100%	0%	\$17,217.23	100%	\$7,020.83	\$10,196.40	
CR2	Incumplimiento de indicadores de mantenimiento	Tiempo medio entre Fallas(MTBF)	Horas totales por periodo/N° de averías*100%	86%	\$4,339.46	92%	\$3,312.08	\$1,027.38	
		Tiempo medio de Reparación de Fallas(MTTR)	N° de horas por paro de avería/Numero de averías*100%	86%	\$145.93	92%	\$129.71	\$16.21	
							\$89,202.62	\$36,212.62	\$52,989.99

3.2. Desarrollo de la propuesta

Identificación de la maquinaria de izaje críticas

En primera instancia se identificarán las maquinarias de izaje de acuerdo con el nivel de criticidad encontrado, con el sistema respectivo. Todo el análisis realizado se logrará mediante la participación del técnico mecánico con el formato diseñado que a continuación se presenta:

Figura 6.

Formato de análisis de criticidad

ANÁLISIS DE CRITICIDAD												
Maquinarias de izaje	Componente	Modo	Descripción	Frecuencia de Fallas	I.O.	F.O.	C.M.	ISMA	Consecuencia			Nivel de Criticidad
									I	O	ISMA	
AC 200 TEREX (200TN)												
AC 80 TEREX (80TN)												
AC 50 TEREX (50TN)												
TR 230 TEREX (30TN)												
CAMION GRÚA HIAB 002 (9TN)												

Como parte de la mejora se diseñaron instructivos de descripción técnica a cada maquinaria de izaje, fomentando el conocimiento operativo de cada parte de la maquinaria y su uso correcto. Asimismo, se diseñaron formatos como reporte de mantenimiento predictivo y una hoja de vida, para que de esta manera se lleve un mejor control sobre el desarrollo operativo de cada maquinaria y se puede establecer indicadores de mantenimiento, con la finalidad de mantener la operatividad y disponibilidad de cada una de ellas durante un cierto periodo operativo

Figura 7.

Instructivo de la maquinaria AC 200 TEREX (200TN)

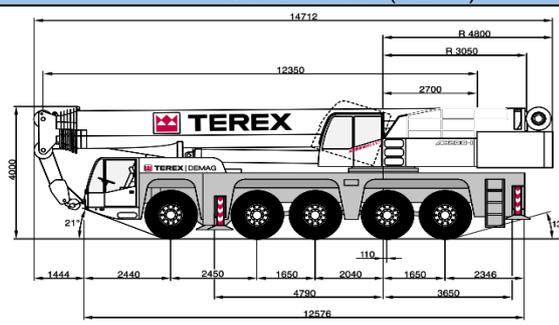
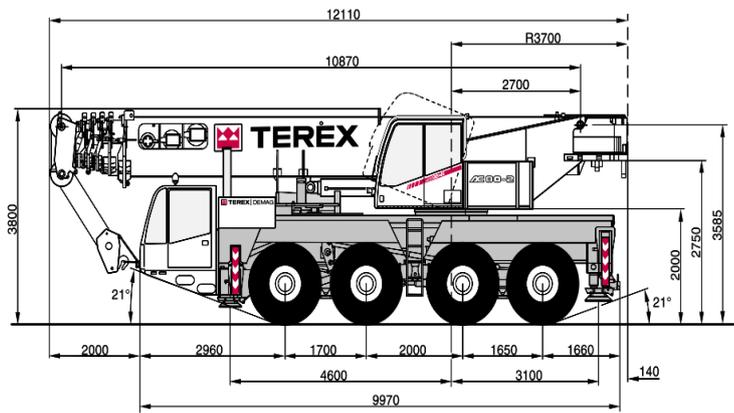
INSTRUCTIVO DE MAQUINARIAS DE IZAJE	
MODELO	AC 200 TEREX (200TN)
DESCRIPCIÓN TÉCNICA	
<p>Tracción / Dirección: 10 x 8 x 8.</p> <p>Bastidor: Estructura de vigas tubulares resistente a la torsión y fabricada en acero de grano fino de gran resistencia.</p> <p>Apoyo: 4 vigas telescópicas, fabricadas en acero de grano fino, con extensión hidráulica en sentidos horizontal y vertical.</p> <p>Motor: Motor DaimlerChrysler modelo OM 502 LA de 8 cilindros, refrigerado por agua. Salida: 380 kW (516 CV) a 1800 rpm, par máximo 2400 Nm a 1200 rpm. Capacidad del tanque de combustible: 500 l.</p> <p>Transmisión: Caja de cambios ZF AS-Tronic con embrague automático de 16 velocidades hacia delante y 2 hacia atrás con retardador integrado, caja de transferencia de 2 rangos y control de cruceo.</p> <p>Ejes: Eje 2, 3, 4 y 5 motrices. Ejes 1, 2, 4 y 5 directrices. Bloqueo transversal del diferencial en ejes 2, 3, 4 y 5 y bloqueo longitudinal en ejes 3 y 4.</p> <p>Suspensión: Suspensión hidroneumática en todos los ejes, hidráulicamente bloqueable para desplazamientos en el lugar de trabajo.</p> <p>Ruedas y neumáticos: 10 ruedas equipadas con neumáticos 14.00 R 25 (Michelin o Bridgestone).</p> <p>Dirección: 10 x 8, dirección ZF mecánica semibloque de doble circuito con apoyo hidráulico y limitador mecánico de dirección. Dirección independiente en ejes traseros 4º y 5º con función de la velocidad.</p> <p>Frenos: Cumpliendo las normativas CE, freno de acción constante, retardador hidráulico integrado en la caja de cambios. Freno por gases de escape y válvula de descompresión constante.</p> <p>Equipo eléctrico: Sistema de 24 V.</p>	

Figura 8.

Instructivo de la maquinaria AC 80 TEREX (80TN)

INSTRUCTIVO DE MAQUINARIAS DE IZAJE	
MODELO	AC 80 TEREX (80TN)
DESCRIPCIÓN TÉCNICA	 <p>The technical drawing shows a side view of the AC 80 TEREX (80TN) crane truck. Key dimensions include: overall length 12110, wheelbase 9970, and crane reach R3700. The truck has a 6x6 configuration with four axles. The crane is mounted on the chassis and is shown in a retracted position. The drawing also indicates a 21-degree angle for the crane's base and a 140mm offset at the rear.</p>
<p>Tracción / Dirección: 8 x 6 x 6.</p> <p>Bastidor: Estructura monobloque de caja de acero de grano fino de gran resistencia, con cajas de apoyos integradas.</p> <p>Apoyos: 4 vigas estabilizadoras telescópicas con cilindros hidráulicos para los apoyos.</p> <p>Motor: Motor DaimlerChrysler modelo OM 501 LA de 6 cilindros, refrigerado por agua. Salida DIN: 315 kW (428 CV) a 1800 rpm, par máx. 2000 Nm at 1300 rpm, cumpliendo con la normativa EURO MOT 3a, Tier 3 y CARB y sistema de escape de humos de acero inoxidable con dispositivo antideflagración. Capacidad del tanque de combustible: 400 l.</p> <p>Transmisión: Transmisión automática marca Allison, con caja de transferencia todo terreno.</p> <p>Ejes 1° : eje directriz, 2° eje directriz, 3° eje rígido, 4° con cubos planetarios. Ejes 1,2 y 4 con engranajes planetarios. Con control de bloqueo del diferencial, longitudinal y transversal en el 2° eje y solo transversal en el 1° y 4° ejes.</p> <p>Suspensión: Suspensión hidroneumática, bloqueable hidráulicamente en todos los ejes.</p> <p>Ruedas y neumáticos: 8 x 14.00 R 25 sobre llantas 11.25-25, neumáticos tubeless para carretera.</p> <p>Dirección: Dirección mecánica semibloque de doble circuito con apoyo hidráulico.</p> <p>Frenos: Freno de servicio: Sistema de aire de línea doble, con accionamiento en todas las ruedas, ABS. Control automático del freno de descenso.</p> <p>Velocidad en carretera: 80 km/h, control de crucero.</p> <p>Equipo eléctrico: Sistema de 24 V.</p>	

Instructivo de la maquinaria AC 50 TEREX (50TN)

INSTRUCTIVO DE MAQUINARIAS DE IZAJE	
MODELO	AC 50 TEREX (50TN)
DESCRIPCIÓN TÉCNICA	
<p>Tracción / dirección: 6 x 4 x 2.</p> <p>Bastidor: Estructura Monobloque de caja de acero de grano fino de gran resistencia, con cajas de apoyos integradas.</p> <p>Motor: Motor DaimlerChrysler modelo OM 926 LA de 6 cilindros, refrigerado por agua. Salida: 240 kW (326 CV), par máximo 1300 Nm a 1200-1500 r.p.m. Capacidad del depósito de gasoil: 335 l.</p> <p>Transmisión: Transmisión automática con convertidor de par y caja de transferencia integrada, 6 velocidades hacia delante y 2 marcha atrás con control de bloqueo longitudinal del diferencial.</p> <p>Ejes : 1° eje directriz con cubos planetarios, y bloqueo transversal del diferencial; 2° eje rígido sin tracción; 3° rígido, con cubos planetarios y bloqueo transversal del diferencial.</p> <p>Suspensión: Suspensión hidroneumática, bloqueable hidráulicamente en todos los ejes.</p> <p>Ruedas y neumáticos: 6 ruedas sencillas con neumáticos de 14.00 R 25.</p> <p>Dirección: Dirección hidráulica con circuito de línea doble.</p> <p>Frenos: Freno de servicio: Sistema de aire de línea doble, con accionamiento en todas las ruedas, ABS. Freno de estacionamiento: accionado por resortes en ejes 2° y 3°.</p> <p>Equipo eléctrico: Sistema de 24 V.</p>	

Figura 10.

Instructivo de la maquinaria TR 230 TEREX (30TN)

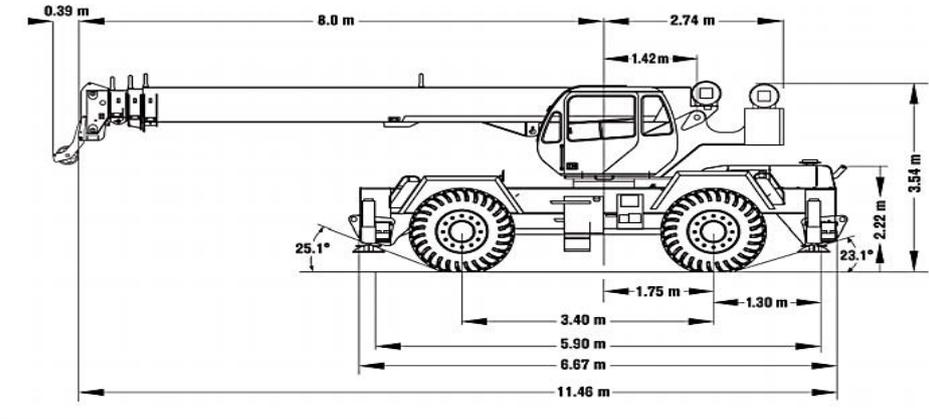
INSTRUCTIVO DE MAQUINARIAS DE IZAJE	
MODELO	TR 230 TEREX (30TN)
DATOS TÉCNICOS	
<p>Configuración standard</p> <p>Pluma de 4 secciones accionada hidráulicamente</p> <p>Plena potencia sincronizada mecánicamente</p> <p>Min. / Max. 30 ft / 94 ft</p> <p>Rango del ángulo de elevación de la pluma (mín. / Máx.) -4° / 76°</p> <p>Configuración opcional de polea simple:</p> <p>Desplazamientos angulares de una sección, almacenable lateralmente 0, 15 y 30 grados</p> <p>Con brazo de una sección 120ft</p> <p>Con brazo de dos secciones 147ft</p> <p>Joysticks electroproporcionales de doble eje montados en reposabrazos</p> <p>Columna del volante con selector de marchas a la izquierda y selector de luz direccional a la derecha Interruptores montados en el tablero para operación de estabilizadores</p> <p>Extensión hidráulica independiente: diámetro de las almohadillas de los estabilizadores Área de las almohadillas de los estabilizadores 24 in 254 in²</p> <p>Transmisión: Powershift 6 x 6 con convertidor de par integral 4WD permanente (tracción en las cuatro ruedas)</p> <p>Eje delantero de montaje rígido Eje trasero oscilante</p> <p>Bloqueo del diferencial en eje delantero y eje trasero</p> <p>Bloqueo de oscilación del eje trasero: accionamiento manual o automático Frenos de disco de aire sobrehidráulico</p> <p>Freno de estacionamiento en el eje delantero Enfriador de aceite hidráulico en el portador</p>	

Figura 11.

Instructivo de la maquinaria CAMION GRÚA HIAB 002 (9TN)

INSTRUCTIVO DE MAQUINARIAS DE IZAJE	
MODELO	CAMION GRÚA HIAB 002 (9TN)
DATOS TÉCNICOS	
<p>Capacidad de elevación: (kNm) 120 Capacidad de elevación (tm) 12,2 Alcance, extensiones hidráulicas (m) 6,3-15,1 Espacio de instalación necesario, área de rotación no incluida (mm) 815-963 Altura en posición plegada (mm) 2238-2261 Peso en versión estándar, sin estabilizadores (kg) 1290-1920 Peso, equipo estabilizador (kg) 244-385 Características nDurance Estándar Depósito de aceite montado en la base Opcional Mando cruzado Estándar Asiento elevado Opcional B-link Estándar E-link Opcional E-link y función X Opcional Brazo en P Estándar Válvulas de sujeción de carga Estándar</p>	

Figura 12.

Formato de reporte de mantenimiento predictivo

REPORTE DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO				
Maquina		Código		Área
Responsable del Mantenimiento				
Descripción del Mantenimiento Realizado				
Materiales utilizados				
Cantidad	Descripción	Fecha de entrega	Proveedor	
Fallas encontradas				
Descripcion	Tipo de sistema	Fecha	Total Horas	
Entrega del equipo en funcionamiento				
Entregado por		Recibido por		
Fecha de entrega		Hora de entrega		

Figura 13.

Formato de hoja de vida de mantenimiento predictivo

HOJA DE VIDA			
HOJA DE VIDA N°	FICHA TECNICA	NOMBRE DEL EQUIPO	CODIGO DEL EQUIPO
UBICACIÓN	MARCA	MODULO	FECHA DE PUESTA EN MARCHA

HISTORIAL DE REPARACIONES				
FECHA	ORDEN DE TRABAJO N°	DESCRIPCION	REPARO	COSTOS

Programa de Mantenimiento predictivo

Para lograr los objetivos de la empresa, es importante la implementación del plan de mantenimiento predictivo que conlleva a mejorar la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín. De esta manera, se diseñó el plan de mantenimiento predictivo con las fechas desde Julio a diciembre 2022, donde se espera lograr el 91% de mejora.

Figura 14.
Plan de mantenimiento predictivo

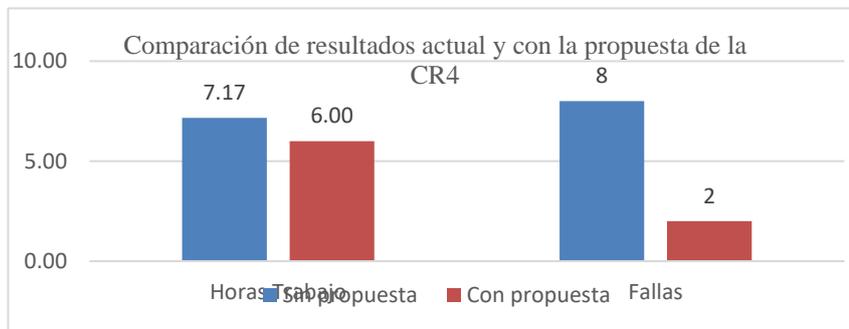
Area de Mantenimiento			Fecha:																Cantidad Cumplimiento	% de Cumplimiento							
Maquinarias de izaje	Sistema	Modelo	Julio				Agosto				Setiembre				Octubre						Noviembre				Diciembre		
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
AC 200 TEREX (200TN)					X			X			X			X			X			X			X			6	100%
AC 200 TEREX (200TN)				X				X	X				X		X					X						6	100%
AC 200 TEREX (200TN)					X					X				X			X				X					5	79%
AC 200 TEREX (200TN)				X				X				X		X			X			X						6	79%
AC 80 TEREX (80TN)			X			X		X			X				X			X			X					6	100%
AC 80 TEREX (80TN)				X			X			X				X			X			X		X				6	100%
AC 80 TEREX (80TN)					X		X			X			X		X			X			X					6	100%
AC 80 TEREX (80TN)											X		X			X			X			X				4	65%
AC 50 TEREX (50TN)				X			X		X				X			X			X			X				6	89%
AC 50 TEREX (50TN)							X		X				X			X					X					5	79%
AC 50 TEREX (50TN)					X			X			X			X					X							5	79%
AC 50 TEREX (50TN)				X			X			X			X			X			X			X				6	100%
TR 230 TEREX (30TN)					X			X		X			X			X			X			X				6	100%
TR 230 TEREX (30TN)				X			X			X			X			X			X			X				6	100%
TR 230 TEREX (30TN)				X			X			X			X			X			X			X	X			6	100%
TR 230 TEREX (30TN)			X					X			X			X			X			X		X	X			6	100%
CAMION GRÚA HIAB 002 (9TN)				X			X			X			X			X			X		X					6	100%
CAMION GRÚA HIAB 002 (9TN)					X					X		X			X			X		X						5	79%
CAMION GRÚA HIAB 002 (9TN)				X			X			X					X			X			X					5	79%
CAMION GRÚA HIAB 002 (9TN)					X					X			X					X			X	X				5	79%
			X		X			X			X		X					X			X					6	100%
6 = 85%-100 %																DISPONIBILIDAD ALCANZADA											
5 = 66%-79%																91%											
4 = 51%-65%																											
1- al 3 = 50%																											

Resultados antes y después de la propuesta

Después de la implementación del mantenimiento predictivo se soluciona la CR4 lográndose ejecutar al 95% los planes de mantenimiento predictivo, además de reducirse las pérdidas a un 55,26% con un beneficio de \$21,000.00 anuales. Por consiguiente, esto se logró gracias a las reducciones de tiempos de horas de trabajo promedio de 7.17hrs a 6hrs y en fallas de 8 a 2 al año.

Figura 15.

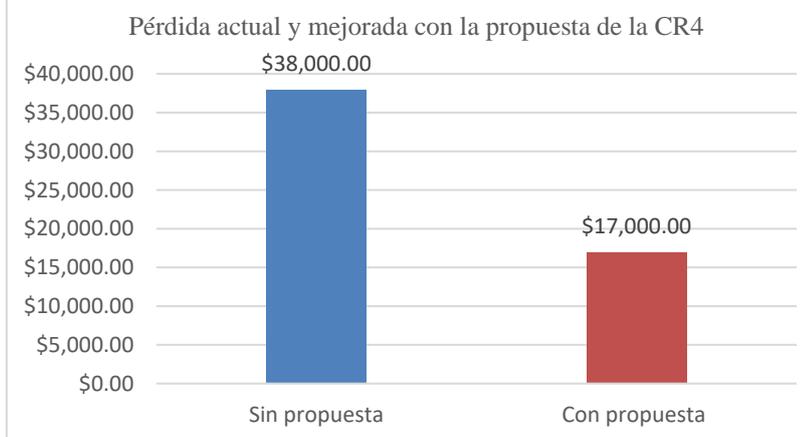
Resultados antes y después de la propuesta CR4



En la figura 16 se visualiza las pérdidas obtenidas antes y después de la propuesta, logrando de esta manera el impacto positivo en cuanto a los resultados obtenidos después de la aplicación del plan de mantenimiento predictivo.

Figura 16.

Resultado final después de la propuesta CR4

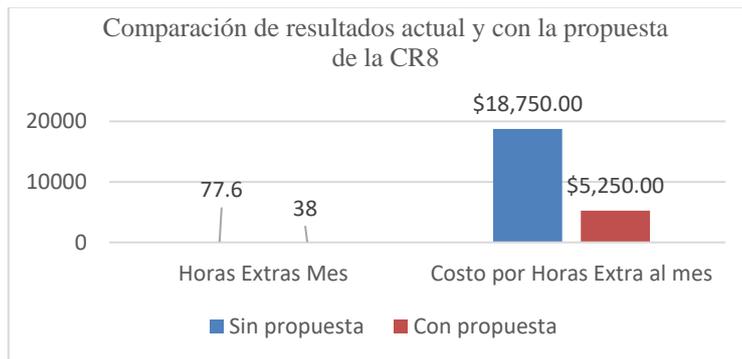


Con la capacitación de los técnicos mecánicos se soluciona la CR8 logrando capacitar

al 95% del personal, asimismo se redujeron las perdidas en un 72% lográndose un beneficio de \$13,500.00 anualmente por costos por horas extra al mes. De esta manera, esto también refleja una reducción de las horas al mes de 78.8 hrs a 38hrs.

Figura 17.

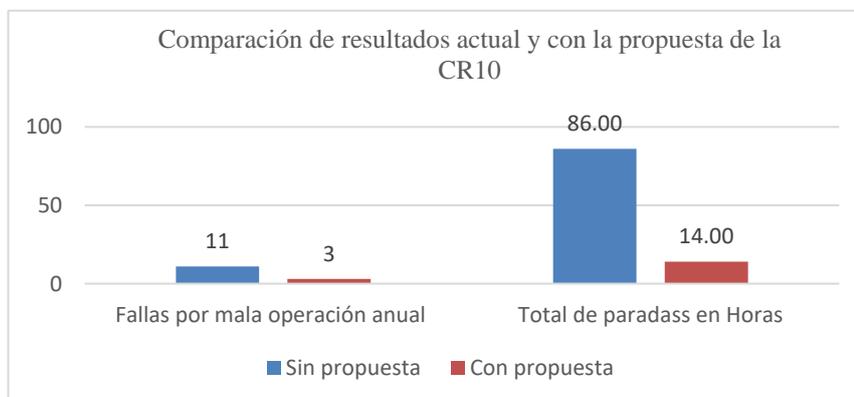
Resultado final después de la propuesta CR8



Debido a la implementación de instructivos se solucionó la CR10 de Fallas por mala operación logrando que el 100% de instructivos habilitados logrando un beneficio de \$7,250.00 anualmente. Asimismo, estos resultados se dieron por la reducción de paradas de 11 a 3 anualmente y paradas en horas de 86 a 14. En la siguiente figura se visualiza la comparación de resultados antes y después de la propuesta.

Figura 18.

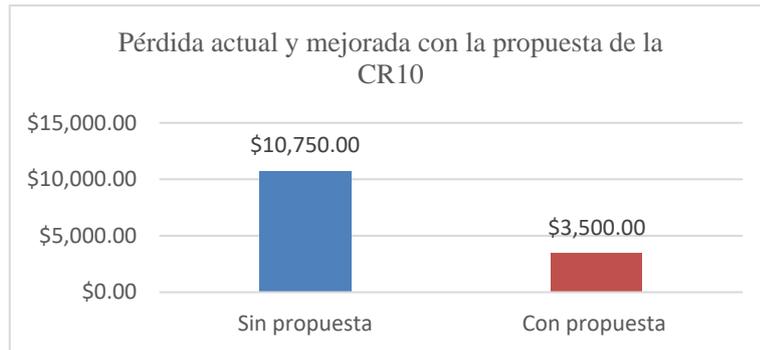
Resultados antes y después de la propuesta CR10



La presente figura demuestra las pérdidas económicas antes y después de la propuesta de la CR10, después de la implementación de los instructivos a las maquinarias de izaje de una empresa minera de la región Junín.

Figura 19

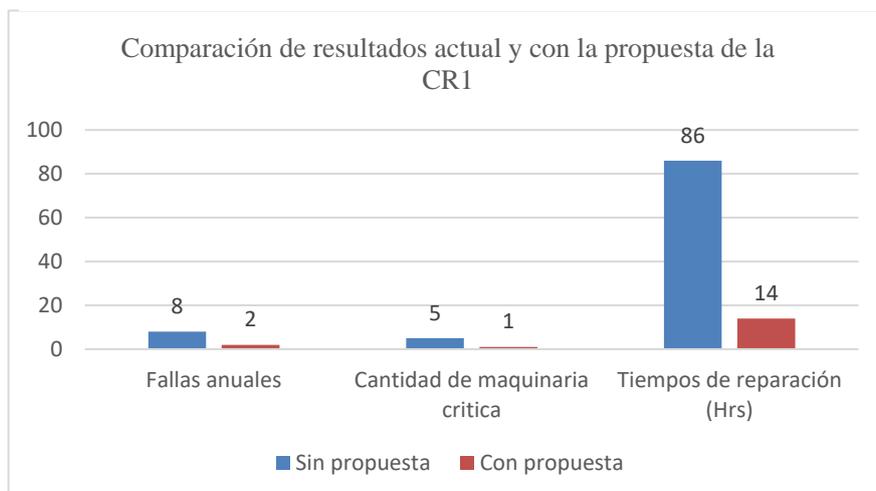
. Resultado final después de la propuesta CR10



Con el AMEF se logró identificar el 100% de las maquinarias de izaje críticas, logrando una reducción del 59.22% de las perdidas después de la propuesta con un beneficio anual de \$10,196.40. De tal manera se evidencia la disminución de las fallas anuales de 8 a 2, lo que también se indica que se redujeron las maquinarias de izaje de 5 a 1 después de la propuesta. Finalmente, los tiempos de reparación en horas paso de ser de 86 a 14.

Figura 20.

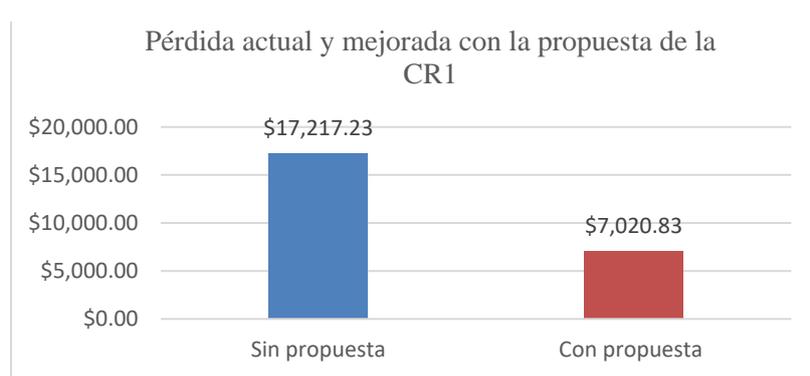
Resultados antes y después de la propuesta CR1



En el siguiente grafico se visualiza los costos perdidos antes y después de la propuesta de mejora, lo que respalda el efecto positivo de la aplicación del AMEF para identificar las grúas Telescópicas críticas.

Figura 21.

Resultado final después de la propuesta CR1



En definitiva, la implementación del mantenimiento predictivo, ha permitido el incremento del promedio de reparaciones por día MTBF de 4.91 a 3.75 y un costo total de MTBF de \$4,339.46 a \$3,312.08. En cuanto al MTTR, el promedio de reparaciones por horas fue de 4.37 a 3.56 y el costo total de \$145.93 a \$129.71.

Figura 22.

Resultados antes y después de la propuesta CR2

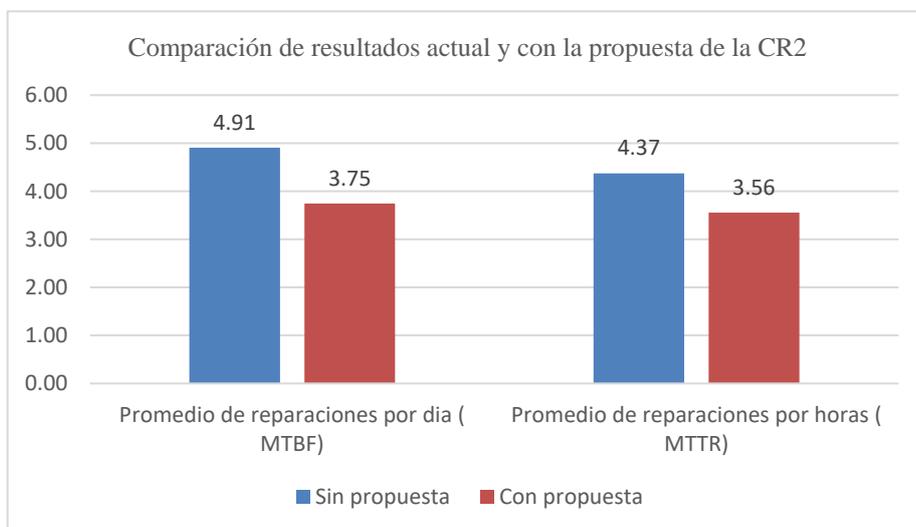
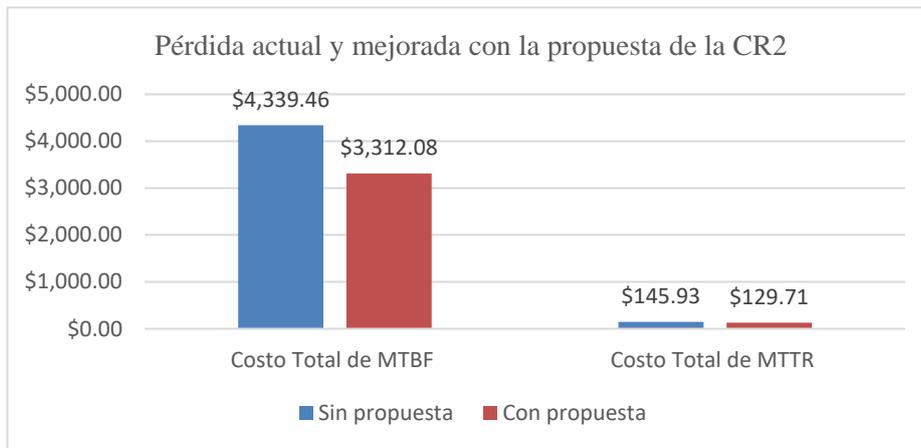


Figura 23.

Resultado final después de la propuesta CR2



Por cuanto, la solución de las CR identificadas permitió la reducción de las pérdidas de 59.4%, obteniéndose un beneficio final de \$52,989.99 anualmente.

Tabla 14.

Resumen de perdidas

CR	Causa Raíz	Pérdida Inicial (S/.)	Pérdida Final (S/.)	Beneficio (S/.)
CR4	No dispone de planes de mantenimiento predictivo	\$38,000.00	\$17,000.00	\$21,000.00
CR8	Técnicos no capacitados	\$18,750.00	\$5,250.00	\$13,500.00
CR10	Falta de instructivos a las maquinarias	\$10,750.00	\$3,500.00	\$7,250.00
CR1	No identificación de maquinarias de izaje críticas	\$17,217.23	\$7,020.83	\$10,196.40
CR2	Incumplimiento de indicadores de mantenimiento	\$4,339.46	\$3,312.08	\$1,027.38
		\$145.93	\$129.71	\$16.21
		\$89,202.61	\$36,212.62	\$52,989.99

Medición de la variable disponibilidad de las maquinarias de izaje

Con el plan de mantenimiento predictivo basado en la técnica RCM se logró incrementar la disponibilidad en 4.55% de 86.68% a 91.23% de las maquinarias de izaje de una empresa minera de la región Junín. En la tabla 15 se visualiza los cálculos realizados para obtener un promedio de disponibilidad de 91.23% de las maquinarias críticas.

Tabla 15.

Resultados de la variable disponibilidad después de la propuesta

Maquinaria de izaje	Utilización				Mantenimiento			Disponi b.
	Horó metro	Enero 2020 - enero 2021		Horas disponibles por equipo	Mantto Programado	Mantto No programado		
Ac 200 Terex (200tn)	4538	12 hrs diarias	21900	19590	6 hrs semanales 610	1700	89.45	
Ac 80 Terex (80tn)	1909	12 hrs diarias	21900	19600	6 hrs semanales 600	1700	89.50	
Ac 50 Terex (50tn)	1042	12 hrs diarias	21900	20180	6 hrs semanales 620	1100	92.15	
Tr 230 Terex (30tn)	2292	12 hrs diarias	21900	20250	6 hrs semanales 650	1000	92.47	
Camión Grúa Hiab 002 (9tn)	185	12 hrs diarias	21900	20278	4 hrs semanales 620	1002	92.59	

Por otro lado, en la tabla 16 se analizaron la disponibilidad después de la propuesta donde se refleja claramente el incremento de la disponibilidad de 4.55% en comparación a lo obtenido inicialmente, de lo obtenido en el anexo 07:

Tabla 16.

Disponibilidad antes vs después de la propuesta de matnemi9et basado en el RCM

Maquinaria de izaje	Disponibilidad antes de la propuesta	Disponibilidad después de la propuesta	% Incremento
Ac 200 Terex (200tn)	84.66	89.45	4.79
Ac 80 Terex (80tn)	81.46	89.50	8.04
Ac 50 Terex (50tn)	87.85	92.15	4.29
Tr 230 Terex (30tn)	88.77	92.47	3.70
Camión Grúa Hiab 002 (9tn)	90.68	92.59	1.92
	86.68	91.23	4.55

Utilidad después de la propuesta

De acuerdo de la disponibilidad incrementada, impacto directamente en el aumento de las horas disponibles para el alquiler de las maquinarias de izajes con un costo de \$36.00 por hora de alquiler promedio lo cual permitirá obtener una utilidad adicional de \$179,280.00 para una empresa minera en la región Junín. En la tabla 17 se muestra los detalles de los cálculos obtenidos de las utilidades después de la propuesta.

Tabla 17.

Detalle de la utilidad obtenida después de la propuesta

Maquinaria de izaje	Horas disponibles por equipo antes del RCM	Horas disponibles por equipo después del RCM	Aumento de Hrs de equipos	Ingresos por hrs de alquiler de maquinarias de izaje
Ac 200 Terex (200tn)	18540	19590	1050	\$37,800.00
Ac 80 Terex (80tn)	17840	19600	1760	\$63,360.00
Ac 50 Terex (50tn)	19240	20180	940	\$33,840.00
Tr 230 Terex (30tn)	19440	20250	810	\$29,160.00
Camión Grúa Hiab 002 (9tn)	19858	20278	420	\$15,120.00
	18983.60	19979.60		\$179,280.00

Medición de la variable Propuesta de mantenimiento de RCM

La medición de esta variable se dio en primera instancia con el cumplimiento del programa de mantenimiento después de la propuesta lo cual se realizó la aplicación del Checklist de actividades mostrado en el anexo 9 donde como resultado representa el 100%. En cuanto al análisis de criticidad, inicialmente se identificaron 5 maquinarias de izaje críticas, pero después de la propuesta se logro reducir de 17% a 0% después de incrementarse la disponibilidad evidenciado en la tabla 15 donde se solucionaron 5 maquinarias criticas identificadas inicialmente. En la siguiente tabla 18 se encuentra el detalle de acuerdo lo obtenido:

Tabla 18.

Resultados de la variable Propuesta de mantenimiento basado en RCM

Dimensiones	Indicadores	Formula	Valor inicial	Valor Meta
Programa de mantenimiento	Porcentaje de cumplimiento programa de mantenimiento	Nro. de actividades planificadas cumplidas	6	10
		Total de actividades	10	10
		Resultado	60%	100%
Análisis de Criticidad	Porcentaje de maquinarias de izaje criticas	Nro. de maquinarias criticas	5	0
		Total de maquinarias de izaje	30	30
		Resultado	17%	0%

3.4. Evaluación Económica

El presupuesto se realizó mediante la implementación de servicios o compra de herramientas necesarias para llevar a cabo la propuesta, siendo \$32,560.00 la inversión.

Tabla 19.

Presupuesto de la propuesta

Herramienta de Mejora	Implementación	Cantidad	Subtotal	Inversión
(Planes de mantenimiento predictivo/ Capacitaciones / Instructivos de maquinarias)	Escritorio / silla ergonómica	1	\$200.00	\$200.00
	Ingeniero encargado de mantenimiento (Predictivo)	1	\$2,500.00	
	Laptop HP 8 gb ram	1	\$960.00	\$960.00
	Impresora Multifuncional	1	\$450.00	\$450.00
	Técnicos mecánicos - predictivo	3	\$4,800.00	
	Costo plan de capacitación integral por empresa externa (herramientas / procesos)	1	\$6,500.00	\$6,500.00
	Costos por Check list y formatos de maquinarias	1	\$350.00	\$350.00
	Plan de Auditoría y Lista de Verificación	1	\$4,000.00	\$4,000.00
	Analizador de vibraciones	3	\$6,500.00	\$19,500.00
Horómetro	3	\$200.00	\$600.00	
				<u>\$32,560.00</u>

En la siguiente tabla 20 se visualiza la evaluación económica de la propuesta donde se determinó un TMAR del 25%, logrando un VAN de S/. 56,979.49 y un TIR de 96.45%. De igual manera, se obtuvo que dinero invertido se recuperara en 1.8 años, con un costo beneficio 1.5 por cada sol invertido.

Tabla 20.

Estado de resultados

Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$52,989.99	\$55,639.49	\$58,421.46	\$61,342.54	\$64,409.66
Costos operativos		\$7,300.00	\$7,592.00	\$7,971.60	\$8,370.18	\$8,788.69
Depreciación activos		\$377.50	\$377.50	\$377.50	\$377.50	\$377.50
GAV		\$1,095.00	\$759.20	\$797.16	\$837.02	\$878.87
Utilidad antes de impuestos		\$44,217.49	\$46,910.79	\$49,275.20	\$51,757.84	\$54,364.60
Impuestos (30%)		\$13,265.25	\$14,073.24	\$14,782.56	\$15,527.35	\$16,309.38
Utilidad después de impuestos		\$30,952.24	\$32,837.55	\$34,492.64	\$36,230.49	\$38,055.22

Tabla 21.

Flujo de cajas

Año	0	1	2	3	4	5
Utilidad después de impuestos		\$30,952.24	\$32,837.55	\$34,492.64	\$36,230.49	\$38,055.22
Depreciación		\$377.50	\$377.50	\$377.50	\$377.50	\$377.50
Inversión	\$32,560.00				\$5,429.00	
	\$32,560.00	\$31,329.74	\$33,215.05	\$34,870.14	\$31,178.99	\$38,432.72
Año	0	1	2	3	4	5
Flujo Neto de Efectivo	\$32,560.00	\$31,329.74	\$33,215.05	\$34,870.14	\$31,178.99	\$38,432.72
VAN	\$56,979.49					
TIR	96.45%					
PRI	1.8	años				
AÑO	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$52,989.99	\$55,639.49	\$58,421.46	\$61,342.54	\$64,409.66
Egresos		\$21,660.25	\$22,424.44	\$23,551.32	\$24,734.55	\$25,976.94

VAN Ingresos	\$154,144.71
VAN Egresos	\$62,381.51
B/C	2.5

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Limitaciones

Las limitaciones presentes en la investigación fueron:

- Existe cierta probabilidad que la propuesta no se lleve a cabo por la pandemia mundial del COVID-19.
- Es importante mencionar que también hay una cierta probabilidad que a los técnicos les tome tiempo en desarrollar sus funciones correctamente inicialmente, pero con un plan de mantenimiento oportuno se llegará a lograr los objetivos de una empresa minera de la región Junín.
- Finalmente, se evidencia que existen pocos estudios similares al desarrollados en esta investigación.

4.2. Discusiones

En cuanto a la interpretación comparativa el presente estudio mejoro la disponibilidad de 86.68% al 91.23% de las maquinarias de izaje a través del plan de mantenimiento basado en la técnica RCM de una empresa minera en la región Junín, esto es respaldado por la investigación de Moscoso, X. (2015), donde logró incrementar la disponibilidad sobre el 98.5% de los motores, alargando la vida útil del equipo donde recomendó seguir el Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad presentando un programa piloto para los equipos críticos de la Empresa. Por otro lado, como soporte a solucionar las causas raíz identificadas en la investigación, se implementó mediante un plan de mantenimiento predictivo basado en el RCM, instructivos y formatos siendo esta propuesta efectiva en la solución del problema de baja disponibilidad, logrando reducir los tiempos de horas de trabajo promedio de 7.17hrs a 6hrs y fallas de 8 a 2 al año. Esto fue tomado, como un impacto positivo por el estudio de Merma, J. (2018), que también considero ciertos aspectos en su investigación logrando un incremento en la producción en

disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022 4% de 58,2382 onzas a 60,5806 onzas de oro, además de incrementar la disponibilidad a 84.6%.

Con relación al AMEF se logró identificar las maquinarias críticas, esto permitió la disminución de los tiempos de reparación en horas de 86 a 14. Asimismo, se incrementó el promedio de reparaciones por día MTBF de 4.91 a 3.75. En cuanto al MTTR, el promedio de reparaciones por horas fue de 4.37 a 3.56. De igual manera, Idrogo, W. (2016), desarrolló el AMEF encontrándose que el 69% de las fallas ocurridas son de tipo indeseable, 23% reducibles a deseables y 8% aceptables. La implementación del MBR, logró aumentar los indicadores de mantenimiento, la disponibilidad en el intervalo de 95.35% a 98.76%. Del mismo modo, el estudio de Zavala, M. (2017), también reafirma en buena medida los buenos resultados en la identificación de maquinarias donde redujo en un 36% la tasa de fallos en comparación al año 2014, Logrando una disponibilidad del 94% de los tiempos de las operaciones de la maquinaria. En el caso de Moscoso, X. (2015) y el estudio de Idrogo, W. (2016), permitieron al estudio, considerar aspectos metodológicos que justifique el desarrollo óptimo de los instrumentos. Finalmente, la propuesta tiene una inversión de \$32,560.00; lo cual es respaldado por Santillán, C. (2017), y Ramón, G. (2015), que también lograron una inversión similar en sus propuestas, logrando de esta manera un rentabilidad y viabilidad positiva.

4.3. Implicancias

Con relación a las implicancias, el nivel práctico permite al mantenimiento centrado en confiabilidad a mejorar considerablemente la disponibilidad de maquinarias de izaje de las empresas mineras a nivel nacional y mundial, con un plan estratégico sólido a base de buenos técnicos calificados que cumplan correctamente los instructivos y procedimientos correctos, además que la empresa les facilite las herramientas e instrumentos de trabajo oportuno para así lograr los objetivos e indicadores de mantenimientos.

4.4. Conclusiones

La investigación concluye que el plan de mantenimiento basado en la técnica RCM mejora la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera de la región Junín de 86.68% a 91.23%.

El diagnóstico de las causas que generan la baja disponibilidad de las maquinarias de izaje se dio mediante el diagrama de Ishikawa y el Pareto, donde se priorizaron las causas más relevantes como: No dispone de planes de mantenimiento predictivo, técnicos no capacitados, falta de instructivos a las maquinarias, no identificación de maquinarias de izaje críticas e incumplimiento de indicadores de mantenimiento. Después de la implementación de la propuesta de mejora se solucionaron las causas logrando una reducción de la pérdida inicial del 59.4% obteniéndose un beneficio anual de \$52,989.99.

La propuesta tiene una inversión de \$32,560.00. Asimismo, los indicadores financieros obtenidos fueron VAN de \$56,979.49, un TIR de 6.45%, recuperándose lo invertido en un 1.8 años y con un costo beneficio 1.5 por cada sol invertido.

REFERENCIAS

- Álvarez Pacheco, G. T., & Zambrano Jara, R. A. (2017). *Propuesta de Implantación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de los Activos Críticos de la Central Hidroeléctrica Ocaña*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6853>
- Banco mundial. (2020). *La producción minera se dispara con el aumento de la demanda de energía limpia*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/05/11/mineral-production-to-soar-as-demand-for-clean-energy-increases>
- Cámara de Comercio de la Libertad. (2021). *La libertad es líder en producción de oro a nivel nacional*. <http://www.camaratru.org.pe/web2/index.php/jstuff/noticias-destacadas/item/4253-la-libertad-es-lider-en-produccion-de-oro-a-nivel-nacional>
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html>
- Daz, J. (2010). *Técnicas de Mantenimiento Industrial*. ISBN: 978-84-613-7747-3
- García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. ISBN: 84-7978-548-9
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y Mixta*. McGraw-Hill Ineramericana Editores SA. <https://doi.org/ISBN:978-1-4562-6096-5>
- Idrogo, W. (2016). *Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo*. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/9617>
- INEI. (2020). *Indicador de la Actividad Productiva Departamental*. http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-tecnico-de-la-actividad-productiva-departamental-ii_trim2020.pdf
- INEI. (2020). *Producción Nacional*. <http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/10-informe-tecnico-produccion-nacional-ago-2020.pdf>
- Merma Rodríguez, J. C. (2018). *Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM2) en las palas hidráulicas PC4000-6 Komatsu para el incremento de la disponibilidad*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8262>
- Mora, L. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control* (Vol. Primera Edición). México. ISBN: 978-958-682-769-0
-

Moscoso, X. (2015). *Propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para los turbocargadores ABB VTR 354, usados en los motores WARTSILA VASA 16V32 L.N. de la empresa AGIP OIL Ecuador.*
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4447>

Poveda, A. (2021). *Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento.*
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CICYT%20A%20POVEDA%20RCM.pdf>

Quispe Ccachuco, M., & Valencia Flores, V. A. (2022). *Propuesta para incrementar la confiabilidad operacional usando técnicas RCM en palas eléctricas de cable 7495 hydracrowd para una mina ubicada en Moquegua.*
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12920/11501>

Ramon, G. (2015). *Aplicación de metodología de RCM para el incremento de disponibilidad de chancadora HP- 500 en la Compañía Minera Volcan-Chungar.*
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3629>

Santillan, C. (2017). *Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para bombas centrifugas horizontales warman 450 mcr en minera cerro corona".*
<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9291/SANTILLAN%20ARMAS%20c%20CHRISTIAN%20PAUL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sernageomin. (2018). *Anuario de la minería de Chile 2018.* https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2019/06/Libro_Anuario_2018_.pdf

Torres, D. (2015). *RCM aplicado a una Central Termoeléctrica.*
http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2015/trabajos/E017_COINI2015.pdf

Zavala, M. (2017). *Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en el grupo electrógeno FG-WILSON P-300 de las granjas avícolas de la Empresa Procesadora Nacional de alimentos Zona Bucay.* <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/7528>

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Matriz de consistencia

En la siguiente tabla se visualiza la matriz de consistencia de la investigación:

Tabla 22. *Matriz de consistencia de la investigación*

Título: Propuesta de un plan de mantenimiento basado en la técnica RCM para mejorar la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022					
Formulación del Problema	Hipótesis	Objetivos	Variables	Metodología	Población
¿Cuál es el impacto del mantenimiento basado en la técnica RCM para mejorar la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022?	El mantenimiento basado en la técnica RCM mejora la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022	<p>General:</p> <p>Determinar el impacto del mantenimiento basado en la técnica RCM para mejorar la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diagnosticar la situación actual del área de mantenimiento y la disponibilidad de las maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022. • Diseñar la propuesta de mejora con el plan de mantenimiento basado en la técnica RCM • Evaluar la viabilidad económica de la propuesta. 	<p>Independiente:</p> <p>Plan de mantenimiento basado en la técnica RCM</p> <p>Dependiente:</p> <p>Disponibilidad de las maquinarias de izaje</p>	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>Aplicada</p> <p>Diseño:</p> <p>Pre experimental</p> <p>Técnicas:</p> <p>Observación, entrevista, encuesta y análisis documental</p> <p>Instrumentos:</p> <p>Guía de observación, guía de entrevista, encuesta aplicada, Informes de fallas, averías y reparaciones, Reportes de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad y Fichas bibliográficas</p>	<p>Población:</p> <p>Está definida por toda la flota de maquinarias de izaje de una empresa minera en la región Junín, en el año 2022.</p> <p>Muestra:</p> <p>La muestra está definida por las 5 maquinarias de izaje que presentan la mayor criticidad en una empresa minera en la región Junín, en el año 2022.</p>

ANEXO n° 2. Matriz de priorización de causas raíz

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN																							
		<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>Valorización</th><th>Puntaje</th></tr> <tr><td>Alto</td><td>5</td></tr> <tr><td>Regular</td><td>3</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1</td></tr> </table>		Valorización	Puntaje	Alto	5	Regular	3	Bajo	1												
Valorización	Puntaje																						
Alto	5																						
Regular	3																						
Bajo	1																						
CR	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10	CR11	CR12											
N°	Responsable	No identificación de maquinarias de izaje críticas	Incumplimiento de indicadores de mantenimiento	Reportes de fallas a destiempo	No dispone de planes de mantenimiento predictivo	Inspecciones de grúas incompletas	Falta de herramientas de inspección	Respuestos sin stocks	Técnicos no capacitados	No cumplimiento de los mantenimientos programados	Falta de instructivos a las maquinarias	Falta de supervisión de las operaciones	Personal técnico rotativo										
1	Técnico mecánico 1	5	5	1	5	1	1	1	5	1	5	1	1										
2	Técnico mecánico 2	5	5	1	5	1	1	1	5	1	5	1	1										
3	Técnico mecánico 3	5	5	1	5	1	1	1	5	1	5	1	1										
4	Técnico mecánico 4	5	5	1	5	1	1	1	5	1	5	1	3										
5	Supervisor de mantenimiento	5	5	1	5	1	1	3	5	1	5	1	1										
Calificación		25	25	5	25	5	5	7	25	5	25	5	7										
promedio		5	5	1	5	1	1	1.4	5	1	5	1	1.4										
varianza		0	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0.8										

$$k = 12.0$$

$$S^2 = 1.2$$

$$\text{sumatoria } S^2 = 1.6$$

$$\frac{K}{K-1} = 1.1$$

$$\left[\frac{\sum y_i^2}{1 - \sum S_i^2} \right] = -0.3 \quad 0.3$$

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[\frac{\sum y_i^2}{1 - \sum S_i^2} \right] = 0.4$$

ANEXO n.º 3. Matriz Para Evaluación De Expertos

Matriz Para Evaluación De Expertos				
Título de la investigación:				
Línea de investigación:				
Apellidos y nombres del experto:				
El instrumento de medición pertenece a la variable:				
<p>Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.</p>				
Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?			
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?			
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?			
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?			
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?			
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?			
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?			
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?			
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?			
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?			
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?			
<p>Sugerencias:</p> 				
<p>Firma del experto:</p> 				

ANEXO n.º 4: Guía de Observación Directa

Guía de Observación

Nombre de la empresa :

Nombre del observador :

Fecha :

Nº	Proceso	Descripción
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

ANEXO n.º 5. Instrumento Cuestionario
Cuestionario de mantenimiento
Nombre de la empresa :

Nombre del Investigador :

Fecha :

Nº	Pregunta de investigación	Respuesta
1	¿Cómo se realiza el mantenimiento a las maquinarias de izaje?	
2	¿Quién es el encargado de los requerimientos de repuestos y como se efectúa?	
3	¿Las capacitaciones se desarrollan de manera continua o cada cuánto tiempo?	
4	¿ Que indicadores se manejan en el área de mantenimiento de la empresa?	
5	¿Cuáles son las causas que consideras que genera la baja disponibilidad de las maquinarias de la empresa?	
6	¿Cómo identifican que una maquinaria se encuentra en condiciones deficientes para realizar sus funciones correctamente?	
7	¿Qué herramientas utilizan para hacer un diagnóstico en la maquinarias ?	
8	¿Según su experiencia en el taller de mantenimiento como debería realizarse los mantenimientos en el área ?	
9	¿Tiene conocimiento sobre el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad?	
10	¿Considera Ud que se deberían hacer mejoras en el área de mantenimiento y cuáles serían?	

ANEXO n.º 6. Instrumento Encuesta Aplicada
Encuesta Aplicada
Problema :
Nombre: _____

Cargo: _____

Marque con una "X" según su criterio de significancia de causa en el problema.

Valorización	Puntaje
Alto	5
Regular	3
Bajo	1

En las siguientes causas considere el nivel de prioridad que afecten a la empresa.

CR	Causas raíces	Calificación		
		Alto	Regular	Bajo
CR1	No identificación de maquinarias de izaje críticas			
CR2	Incumplimiento de indicadores de mantenimiento			
CR3	Reportes de fallas a destiempo			
CR4	No dispone de planes de mantenimiento predictivo			
CR5	Inspecciones de grúas incompletas			
CR6	Falta de herramientas de inspección			
CR7	Repuestos sin stocks			
CR8	Técnicos no capacitados			
CR9	No cumplimiento de los mantenimientos programados			
CR10	Falta de instructivos a las maquinarias			
CR11	Falta de supervisión de las operaciones			
CR12	Personal técnico rotativo			

ANEXO n.º 7. Instrumento Registro de Datos

Ficha de Registro de datos de Disponibilidad

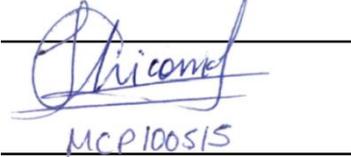
Dimensiones : Disponibilidad

Investigador : Javier Joel Aguilar Castillo

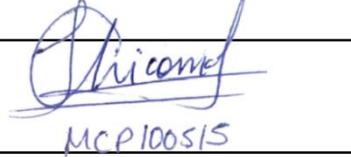
Maquinaria de izaje	Horómetro	Utilización			Mantenimiento			Disponibilidad
		Enero 2022 – Julio 2022		Horas disponibles por equipo	Mantto Programado		Mantto No programado	
AC 200 TEREX (200TN)	4538	12 horas diarias	21900	18540	6 horas semanales	1560	1800	84.66
AC 80 TEREX (80TN)	1909	12 horas diarias	21900	17840	6 horas semanales	1560	2500	81.46
AC 50 TEREX (50TN)	1042	12 horas diarias	21900	19240	6 horas semanales	1560	1100	87.85
TR 230 TEREX (30TN)	2292	12 horas diarias	21900	19440	6 horas semanales	1560	900	88.77
CAMION GRÚA HIAB 002 (9TN)	185	12 horas diarias	21900	19858	4 horas semanales	1040	1002	90.68
							%	86.68

ANEXO n.º 8. Validación de expertos

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Cuestionario de Plan de Mantenimiento
Objetivo del instrumento	Medir el Plan de mantenimiento
Nombres y apellidos del experto	Luis Miguel Chicoma Campos
Documento de identidad	42753428
Años de experiencia en el área	14 años
Máximo Grado Académico	Magister en Administración de Empresas
Nacionalidad	Peruano
Institución	Minera Chinalco Perú S.A.
Cargo	Planificador de Inventarios
Número telefónico	969565843
Firma	 MCP100515
Fecha	19/10/2022

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Registro de datos
Objetivo del instrumento	Medir la disponibilidad
Nombres y apellidos del experto	Luis Miguel Chicoma Campos
Documento de identidad	42753428
Años de experiencia en el área	14 años
Máximo Grado Académico	Magister en Administración de Empresas
Nacionalidad	Peruana
Institución	Minera Chinalco Perú S.A.
Cargo	Planificador de Inventarios
Número telefónico	969565843
Firma	 MCP100515
Fecha	19/10/2022

ANEXO n.º 9. Checklist de actividades de cumplimiento de mantenimiento

Checklist de actividades del Mantenimiento de maquinarias de izaje			
Area: Mantenimiento		Fecha 24/10/2022	
Responsable: Aguilar Castillo, J.			
Item	Inspecciones a realizar	Funcionamiento	
		SI	NO
1	Identificación de la maquinaria de izaje críticas	X	
2	Capacitaciones constantes sobre sistemas de las maquinarias	X	
3	Instructivo de la maquinaria	X	
4	Formato de reporte de mantenimiento predictivo	X	
5	Formato de hoja de vida de mantenimiento predictivo	X	
6	Plan de mantenimiento predictivo	X	
7	Taller de mantenimietno ordenado	X	
8	Medición de indicadores actualizados	X	
9	Herramientas de trabajo en buen estado	X	
10	Repuestos para las mauquinarias de izaje con stock	X	