UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

TESIS

"OPTIMIZACIÓN DE LOS EVENTOS OPERACIONALES - BOOM JACK Y SWING IMPACT – DE LAS PALAS ELÉCTRICAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE PREVAIL EN LA UNIDAD MINERA CUAJONE - MOQUEGUA"

PRESENTADO POR:

BACH. JHEISON KENNI YUNGURI HUAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERÚ

2024

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 044

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCION DE FACULTAD Nº 262-2024-FACIA-UNAM

Fecha: .....

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:

OPTIMIZACION DE LOS EVENTOS OPERACIONALES BOOM JACK Y SWING IMPACT DE LAS PALAS ELECTRICAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE PREVAIL EN LA UNIDAD MINERA CUAJONE - MOQUEGUA.

Bachiller: JHEISON KENNI YUNGURI HUAMANI

Asesor Principal: DR. CHRIST JESUS BARRIGA PARIA

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: QUINCE (15) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 11 horas, del 03 de ENERO del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Msc AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

A

Primer Miembro
Dr. Arquímedes L. Vargas Luque
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
MSCD. JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Jheison Kenni Yunguri Huamani
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

A Dios por su protección en todo momento.

A mis padres: Ciro Yunguri y Felicita Huamani, hermanas, primos, tíos y a todos mis amigos que me ayudaron a formarme como profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por cuidarme y presentarme las oportunidades en el momento correcto.

A mis padres Ciro Yunguri y Felicita Huamani por su apoyo incondicional y siempre creer en mi en todo momento de mi vida.

A mis hermanas por estar a mi lado y seguir conmigo este camino de crecimiento personal y profesional.

A mi asesor Dr. Christ Jesús Barriga Paria por su dedicación y apoyo permitiéndome así realizar mi tesis.

A mí querida Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, y a todos los docentes quienes meenseñaron y brindaron su apoyo a lo largo de mi carrera profesional.

RESUMEN

Las palas eléctricas son el pilar fundamental de la producción en una mina superficial ya que el uso y el cuidado que le demos a este equipo será beneficioso para la empresa no solo por los costos de repuestos del equipo, sino el tiempo perdido por reparaciones no planeadas el cual afecta al rendimiento de las palas y por tanto a la producción en mina. En esta mina superficial se tiene un software llamado Prevail el cual fue implementado por la empresa P&H fabricante de palas eléctricas, en este trabajo de investigación analizaremos las 2 palas eléctricas de 6 en total que se tiene en toda la producción minera pala 03 P&H 4100A y pala 07 P&H 4100 XPC. Los cuales tienen implementado el software Prevail, el cual mide la cantidad de eventos operacionales principales como el boom jack y swing impact, este software alerta el modo de operación de las palas por parte de los operadores. El boom jack sucede cuando se realiza un sobre empuje o se fuerza la pluma cuando el balde de la pala está en el banco y el swing impact sucede cuando se realiza un giro del equipo, haciendo que el balde de la pala impacte con el banco, equipo o algún otro material generando daños al componente de la pala. Por tanto, analizaremos como afecta estos eventos al rendimiento del equipo o vida útil del cable de izaje de las palas eléctricas. También cuanto es el costo a corto y largo plazo de los componentes del equipo dañados por estos eventos operacionales, como afecta a los tiempos operativos y producción de la mina. También se pudo determinar que se debe dar cursos de modo operación de palas para los operadores, haciendo posible reducir y eliminar estos eventos operacionales los cuales generan un costo de reparación a largo plazo. Es de gran ayuda el software Prevail para cuantificar estos eventos y actuar de inmediato con el área de entrenamiento de la mina en el área de operaciones.

Palabras claves: *boom jack, swing impact, Prevail*

ABSTRACT

Electric shovels are the fundamental pillar of production in a surface mine since the use and care we give to this equipment will be beneficial for the company not only due to the costs of spare parts for the equipment, but also the time lost due to unplanned repairs. which affects the performance of the blades and therefore mine production. In this surface mine there is a software called Prevail which was implemented by the company P&H, manufacturer of electric shovels. In this research work we will analyze the 2 electric shovels out of 6 in total that are present throughout the mining production, shovel 03 P&H 4100 A and shovel 07 P&H 4100 XPC. The boom jack occurs when an overthrust is carried out or the boom is forced when the bucket of the shovel is on the bench and the swing impact occurs when the equipment is rotated, causing the bucket of the shovel to impact with the bench, equipment or some other material causing damage to the blade component. Therefore, we will analyze how these events affect the performance of the equipment or the useful life of the lifting cable of the electric shovels. Also, how much is the short- and long-term cost of equipment components damaged by these operational events, how it affects the operational times and production of the mine. It was also determined that blade operation courses should be given to operators, making it possible to reduce and eliminate these operational events which generate long-term repair costs. The Prevail software is of great help to quantify these events and act immediately with the mine training area in the operations area.

Keywords: *boom jack, swing impact, Prevail*

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 1
1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 1
1.1.1 Interrogante General 2
1.1.2 Interrogante Específicas 2
1.2 OBJETIVOS 2
1.2.1 Objetivo General 2
1.2.2 Objetivo Especificos 2
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 3
1.4 HIPÓTESIS 4
1.4.1 Hipótesis General 4
1.4.2 Hipótesis Especificas 5
1.5 VARIABLES 5
1.5.1 Variable independiente 5
1.5.2 Variable dependiente 5
II. MARCO TEÓRICO 8
2.1 ANTECEDENTES 8
2.1.1 Antecedentes Internacionales 8
2.1.2 Antecedentes Nacionales 13
2.1.3 Antecedentes Locales 17
2.2 BASES TEÓRICAS 18
2.2.1 Ubicación del proyecto 18
2.2.2 Concepto boom jack 19
2.2.3 Concepto swing impact 19
2.2.4 Movimiento de las palas eléctricas antes de realizar su operación 20
2.2.5 Giro de 360° palas eléctricas 22
2.2.6 Fuerzas opuestas de pala eléctrica 23
2.2.7 Práctica deficiente de golpear las correas eslabonadas con el balde 24
2.2.8 Ciclo de excavación de pala eléctrica 24
2.2.9 Ritmo de operación de palas eléctricas. 25

2.2.10 Trayectoria con menor resistencia 26

2.2.11 Resistencia de excavación 27

2.2.12 Carga de impacto del dispositivo de levantamiento, el sistema de empuje y las cuerdas de retracción 28

2.2.13 Ajuste de la Cuerda de Empuje 29

2.2.14 Potencia del Dispositivo de Levantamiento Frente al Angulo de Excavación……. 30

2.2.15 Movimiento de Rotación Eficiente..... 31

2.2.15.1 Posición del balde durante la propulsión 33

2.2.15.2 Giro a nivel del suelo..... 34

2.2.15.3 Giro en una pendiente..... 36

2.2.15.4 Excavación de materiales de relleno 37

2.2.15.5 Atrapar el colapso de un banco con el balde 38

2.2.15.6 Excavación de punta dura y fondo duro 39

2.2.15.7 Balde posicionado de manera segura lejos de la pared alta..... 39

2.2.15.8 Secciones principales de la pala 40

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 41

III. METODOLOGÍA.....43

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN..... 43

3.1.1. Tipo de investigación 43

3.1.2. Nivel de la investigación 43

3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL..... 43

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 44

3.3.1 Población..... 44

3.3.2 Muestra..... 44

3.4. INSTRUMENTOS 44

3.4.1 Validación y confiabilidad de los instrumentos 44

3.5. PROCEDIMIENTOS 45

3.5.1 Problema planteado en operaciones mina 45

3.5.2 Diseño de investigación 49

3.6. ANÁLISIS DE DATOS 49

3.6.1. Técnicas de recolección y análisis de datos 49

3.6.2. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos..... 50

3.6.3. Costos de optimización de cables de izaje de las palas eléctricas..... 51

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 53

5.1 ESTADÍSTICA COMPARATIVA DE EVENTOS OPERACIONALES (BOOM JACK Y SWINGIMPACT). 56

5.2 COSTOS DE CABLES DE IZAJE PROMEDIO EN RELACION A LOS EVENTOS OPERACIONALES..... 60

5.2.1 Objetivo de cantidad de eventos operacionales palas N° 03 y 07..... 63

V. CONCLUSIONES.....68

VI. RECOMENDACIONES 70

VII. REFERENCIAS.....71

VIII. ANEXOS 74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto. 18
Figura 2. Evento operacional boomjack. 19
Figura 3. Evento operacional swing impact. 20
Figura 4. Movimiento de pluma y balde de palas eléctricas. 22
Figura 5. Giro de 360° palas eléctricas. 23
Figura 6. Ciclo de excavación palas eléctricas 25
Figura 7. Ritmo de operación palas eléctricas. 26
Figura 8. Carguío mineral con trayectoria a menor resistencia 27
Figura 9. Balde ancho de una pala eléctrica 28
Figura 10. Cable y balde impactado con el frente de carguío. 29
Figura 11. Potencia requerida de la pala según el ángulo de excavación del mineral. 31
Figura 12. Rotación eficiente. 32
Figura 13. Carguío adecuado del material. 33
Figura 14. Posición del balde durante la propulsión. 34
Figura 15. Desplazamiento y rotación de las palas. 35
Figura 16. Giro recomendado según dirección desplazamiento de la pala eléctrica. 37
Figura 17. Correcta excavación de material de relleno. 38
Figura 18. Excavación adecuada para el cuidado del balde de las palas. 39
Figura 19. Posición correcta del balde con respecto a la altura del banco de mineral. 40
Figura 20. Partes principales de una pala eléctrica. 41
Figura 21. Carguío de pala N° 03 en mina 46
Figura 22. Revisión del sensor de los eventos operacionales instalados en las palas. 47
Figura 23. Frente de carguíos rocosos y de gran dureza vistos en campo. 47
Figura 24. Condición de frentes de carguíos en mina. 48
Figura 25. Carguío de las palas en mina. 49
Figura 26. Cantidad de eventos operacionales de la P03. 56
Figura 27. Cantidad de eventos operacionales de la P07. 57
Figura 28. Comparación de eventos operacionales P03Y P07 57

Figura 29. Mayor incidencia de eventos boom jack por operador. 58
Figura 30. Menor incidencia de eventos boom jack por operador 58
Figura 31. Mayor incidencia de eventos swing impact por operador 59
Figura 32. Menor incidencia de eventos swing impact por operador. 59
Figura 33. Promedio de horas trabajadas de los cables de izaje P03 y P07 64
Figura 34. Promedio de costos ($/h) de cables de izar de P03 y P07 65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables 7
Tabla 2 Costo de cables de izaje con respecto a su vida útil..... 51
Tabla 3 Data de eventos operacionales registrados 26/12/2021, extraídos del software Prevail..... 53
Tabla 4 Data de eventos operacionales registrados 23/12/2021, extraídos del software Prevail..... 54
Tabla 5 Data de eventos operacionales registrados 09/12/2021, extraídos del software Prevail..... 54
Tabla 6 Data de eventos operacionales registrados 04/12/2021, extraídos del software Prevail..... 55
Tabla 7 Data de eventos operacionales registrados, extraídos del software Prevail 55
Tabla 8 Data de costos de mantenimiento de cables de izaje P03 62
Tabla 9 Data de costos de mantenimiento de cables de izaje P07 63

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

KPI	: Indicador clave de rendimiento
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
PLC	: Controlador lógico programable
OEM	: Fabricante de equipo original
HYDRACROWD	: Palas de cables eléctricos
TM/h	: Toneladas por hora
P&H	: Marca de pala eléctrica
$/h	: Dólar por hora

I. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el área de Operaciones Mina todo comienza con la voladura del macizo rocoso, luego con el carguío y acarreo del material volado del cual se extrae desmonte o mineral en esta mina superficial para el carguío se usan 6 palas eléctricas los cuales son fundamental para la producción diaria y mejorar los KPI de carguío, además se identificará los operadores que estén realizando estas malas prácticas para reducir costos y mejorar la productividad.

En el presente trabajo de investigación se evalúo y analizó la importancia de identificar estos eventos operacionales para evitar un desgaste prematuro de la pluma y cables de izaje de las palas eléctricas en este trabajo de investigación analizaremos P03 P&H 4100A y P07 P&H 4100 XPC los cuales tienen implementado el software Prevail el cual identifica los eventos operacionales (boom jack y swing impact) diariamente y toda la operatividad de las palas eléctricas con data del año 2021 al 2022 el cual se seguirá ejecutando a lo largo de las operaciones mineras.

Se identifica cuantos eventos operacionales suceden al día en la operación de la mina superficial para luego realizar una retroalimentación a los operadores y hacer un análisis estadístico de los eventos operacionales diarios, donde el área de entrenamiento de operaciones mina pueda abordar y capacitar a los operadores de palas con mayores eventos operacionales. En el software Prevail se analizará que operadores y en que determinado tiempo realizarán una cantidad de eventos operacionales.

1.1.1 Interrogante General

¿Cómo puede la implementación del software Prevail optimizar los eventos operacionales boom jack y swing impact de las palas eléctricas 03 P&H 4100A y 07 P&H 4100 XPC en la unidad minera Cuajone, mejorando la eficiencia y productividad de las operaciones mineras?

1.1.2 Interrogante Específicas

¿De qué manera el software Prevail puede identificar y reducir la frecuencia de los eventos operacionales boom jack y swing impact en las palas eléctricas, disminuyendo los tiempos de inactividad?

¿Qué impacto tiene la implementación del software Prevail en la vida útil y el rendimiento general de las palas eléctricas en comparación con los métodos tradicionales de monitoreo y mantenimiento?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Optimizar los eventos operacionales del boom jack y swing impact de las palas eléctricas 03 P&H 4100A y 07 P&H 4100 XPC en la unidad minera Cuajone, ubicada en Moquegua, mediante la implementación del software Prevail, con el fin de mejorar la eficiencia y productividad en las operaciones mineras.

1.2.2 Objetivo Específicos

Implementar el software Prevail para monitorear en tiempo real y analizar los eventos operacionales del boom jack y swing impact en las palas eléctricas.

Evaluar el impacto de la implementación del software Prevail en la vida útil y el rendimiento general de las palas eléctricas.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Las palas eléctricas son los equipos más importantes para la operación de la mina, por tanto, es importante su cuidado y la buena operación del mismos para llegar a resultados óptimos a menor costo operacional y en un tiempo menor. Uno de las áreas más importantes dentro Operaciones Mina es la zona de carguío de mineral. Para cumplir los objetivos de esta área es importante tener en consideración tanto el factor humano como los equipos de carguío.

Se mejora la vida útil de los cables de izar de los equipos de carguío mediante la mejora del rendimiento de los operadores de pala a través de la elaboración de un ranking (scorecard) con el uso del software generador de reportes para generar un ahorro de costo mediante la extensión de la vida útil de los cables de izar de las palas.

Se identifica a los operadores que tengan mayor cantidad de eventos de mala operación. Después, se les capacitará en el campo con el instructor de palas y con ello mejorar su rendimiento. En consecuencia, se generará un mayor cuidado de las Palas Eléctricas. Como consecuencia de la mejora del rendimiento de los operadores, se mejorarán los siguientes aspectos de la productividad: TM/h, tiempo de carguío, toneladas de carguío y número de eventos de mala operación de equipos.

Según Espinoza (2013) comenta que es evidente preocuparse de su desempeño eficiente en cuanto a que parámetros influyen al llenado del cucharon o balde, de dicha maquinaria, para apreciar las consecuencias de los parámetros que influyen al llenado del cucharon, esto tendrá relevancia practica y resolverá una metodología a tomar en cuenta en lo sucesivo para determinar la productividad de palas y acarreo.

Justificación teórica

La implementación del software Prevail resultó en una mejoría para la producción y cuidado de los componentes de las palas eléctricas, esta implementación del software de Prevail (P&H) se instalarán en las palas eléctricas N°03 y N° 07 permitiendo reducir costos a nivel operativo en lo que se refiere a cables de izaje y componentes de las palas.

Justificación práctica

La optimización e identificación de estos eventos operacionales mejoró la producción en el ciclo de carguío, reduciendo tiempo de carguío hacia los volquetes y se reduce el tiempo de mantenimiento de los cables de izaje de las palas eléctricas, además de cuidar las palas eléctricas en todas las horas de trabajo en el área de operaciones mina de manera eficiente.

Justificación metodológica

La implementación del software Prevail es innovador, permitiendo enfocarnos en cuidar el equipo más caro de una unidad minera, también mejoró la metodología de trabajo adecuado para tener operadores buenos y calificados haciendo una mejoría en la producción de todo el ciclo de carguío. Finalmente, con la reducción de eventos de mala operación se prolongará la vida útil de los cables de izar.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis General

La implementación del software Prevail en la unidad minera Cuajone optimizará los eventos operacionales boom jack y swing Impact de las palas eléctricas 03 P&H 4100A y 07 P&H 4100 XPC, resultando en una mejora

significativa en la eficiencia y productividad de las operaciones mineras.

1.4.2 Hipótesis Especificas

La utilización del software Prevail permitirá una reducción en el tiempo de inactividad asociado con los eventos operacionales Boom Jack y Swing Impact, al proporcionar un monitoreo y análisis en tiempo real de las palas eléctricas.

La implementación del software Prevail facilitará la identificación y corrección de patrones recurrentes de fallos operacionales, resultando en una mejora de la vida útil de las palas eléctricas mediante la optimización de las prácticas de mantenimiento y operación.

1.5 VARIABLES

1.5.1 Variable independiente

Optimización de la producción y vida útil de las palas eléctricas 03 y 07 (P&H) para una reducción de costos y tiempo de las palas eléctricas.

1.5.2 Variable dependiente

Identificación de los eventos operacionales boom jack y swing impact con el software Prevail de la unidad minera Cuajone para las palas eléctricas 03 y 07 (P&H).

Importancia de operacionalización de variables

Estas variables son importantes tenerlas bien identificadas, los cuales nos permiten poder desarrollar el proyecto de tesis de manera organizada con la identificación de estos eventos operacionales en la operación de la mina Cuajone de las palas eléctricas 03 y 07, la cual permitirá una optimización de la producción en mina, reducción de costos de los cables de izaje y componentes de las palas

eléctricas.

Además, como se detalla en la Tabla 1, se han identificado los indicadores, dimensiones y herramientas que serán empleadas tanto para la variable independiente como para la dependiente. Este análisis será clave para realizar un seguimiento adecuado del progreso del proyecto. Entre las herramientas que se utilizarán, destaca el software Prevail de Komatsu, que juega un papel crucial en la implementación de soluciones tecnológicas. Este software permitirá recopilar y analizar los datos operacionales de las palas eléctricas, proporcionando una visión integral del estado y el rendimiento de los equipos.

La implementación de Prevail facilitará el seguimiento de diversos indicadores de rendimiento, lo que permitirá a su vez optimizar los procesos y llevar a cabo las mejoras propuestas en el marco del proyecto. Se espera que, a través del uso de este sistema, se logre no solo una mayor eficiencia y productividad en la operación de las palas, sino también una reducción significativa en los costos de mantenimiento de los cables de izaje, que son uno de los componentes más críticos y costosos de las palas eléctricas.

Tabla 1

Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTAS
VARIABLE INDEPENDIENTE Optimización de la producción y vida útil de las palas eléctricas 03 y 07	La optimización y cuidado de los equipos en mina están relacionados, al resolver o reducir un impacto en las actividades de este equipo cuidamos y alargamos el tiempo de duración del mismo	• Gestión operativa • Gestión de eficiencia • Costo operativo	• Toneladas por hora (TM/h) • Horas efectivas de trabajo (h) • Disponibilidad mecánica (%) • Factor de utilización de equipo (%) • Toneladas por guardia (TM/Gdia) • Costo de carguío ($/TM) • Rendimiento de cable izaje (h) • Tiempo entrenamiento (h)	• Registro de producción de operaciones • Registros de mantenimiento equipo • Base de datos Prevail • Horómetros • Entrenamiento de operadores
VARIABLE DEPENDIENTE Identificación de los eventos operacionales boom jack y swing impact con la implementación del software Prevail	Los eventos operacionales de las palas eléctricas son fallas que se dan en la operación de la misma, el software Prevail detecta estas fallas para tomar acción en el cuidado de las palas eléctricas.	• Identificación • Planificación • Control	• Tiempo de carguío (TM/h) • Tiempo de operación (h) • Disponibilidad delsistema (%)	• Fichas de registro en campo • Base de datos del sistema Prevail • Reunión operadores y supervisores

Nota: Elaboración propia.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Según Process & Copabilities (2003) comenta que los métodos de recolección de datos periódicos tradicionales tienen cierto valor, pero ponen en riesgo al personal, ya que los datos deben recolectarse en una pala en funcionamiento bajo condiciones de prueba especiales. Además, los métodos periódicos pueden fácilmente pasar por alto algunos problemas que pueden generarse rápidamente entre los momentos de recolección de datos.

Según Chen et al. (2024) el CSI 6500 tiene un historial probado de monitorización de equipos giratorios cruciales en una amplia variedad de aplicaciones. La tecnología de Emerson permite la detección de problemas dentro de las características de vibración únicas de los equipos giratorios. Sobre el disparo de alarmas que al no ser gestionadas de forma inmediata producen paros en la línea de producción.

Gracias a la implementación de tecnología GPRS, que utiliza la red de telefonía móvil para la transferencia de datos, se elimina la necesidad de desarrollar o mantener una infraestructura de comunicación física entre el controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-1200 y la computadora central. instalado en las palas eléctricas. Este enfoque no solo reduce los costos de instalación y mantenimiento, sino que también garantiza una conectividad confiable en tiempo real, incluso en entornos de difícil acceso. El sistema SMS actúa como una clave de respaldo para las comunicaciones, permitiendo la recepción de alertas, notificaciones de estado, lo que aumenta la flexibilidad operativa.

Según Rasimarzabadi & Joseph (2016) menciona en su artículo que las palas de cable eléctrico son las excavadoras de gran volumen más utilizadas en la minería a cielo abierto. Los factores que afectan el flujo de material roto hacia el balancín durante la carga pueden ayudar a evaluar el rendimiento de la excavadora. Define los criterios para la selección de equipos y desarrolla formas de mitigar los daños a los equipos causados por partículas rotas.

El mecanismo del flujo de material granular se investigó mediante una serie de pruebas de laboratorio con movimientos 1:32 y 1:20 (escala de raíz cúbica). Modelos de un caso de 44 m^3 a través de un contenedor de prueba lleno de piedra caliza triturada angular, se encontró que ni el ángulo del balancín ni la velocidad de elevación tiene una influencia significativa en el patrón general de flujo.

Cuantitativamente, se determinó que la velocidad de elevación y el ángulo de paso afectan la productividad de la máquina con un ángulo de paso menor. Lo que resulta en una mayor carga útil y una velocidad de elevación más rápida da como resultado un tiempo de excavación más corto. Si bien tanto el ángulo de inclinación más bajo como las velocidades de elevación más rápidas también produce una mayor tasa de consumo de energía; en general, ambos contribuyen a mejorar la productividad de la máquina.

Una pala de cable se compone de tres conjuntos principales; el conjunto inferior, el conjunto superior y el accesorio que se compone de la pluma, el mecanismo de multitud y balancín. La pala completa cuatro movimientos primarios, a saber; impulsar, balancear, izar y apiñamiento/retracción. El movimiento de elevación de la pala de cable se consigue mediante un tambor de cable que gira mediante un sistema eléctrico.

Según Barrientos (2014) detalla en su estudio de investigación que titula "Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto" con el objetivo de cuantificar el impacto que conlleva aplicar cambios operacionales sobre las detenciones en estudio y la productividad diaria, de tal manera de encontrar aquel escenario que agregue mayor valor al sistema y concluye con los análisis a los datos limpios de la información.

Se concluye que el tiempo de ciclo total posee una alta correlación negativa con una estimación de la productividad para cada ciclo. Este resultado es esperado y sigue la lógica de la teoría, dado que esta estimación de la productividad se realiza sobre la división entre el tamaño de tolva descargado y el tiempo que tomó en realizar el ciclo de carguío.

Según Díaz (2016) en su informe técnico titulado "Análisis de productividad y producción de palas P&H 4100" con el objetivo de identificar las demoras operativas que afectan la productividad y producción de palas P&H 4100 en la empresa Peña Colorada mediante un estudio de tiempos, y realizar una propuesta para reducirlas, se concluye que las palas tienen la capacidad suficiente para brindar producciones y productividades muy elevadas.

Los mantenimientos al parecer no están siendo muy efectivos, ya que se presentan de manera continua en el equipo durante un mismo lapso de tiempo, aunque cabe destacar que, si se opera el equipo en condiciones no adecuadas en cuanto a la dureza del material, estos pueden irse dañando poco a poco, por lo que en ese caso es necesario capacitar al personal sobre que material si se debe cargar y cual debe evitarse, esto con el fin de reducir la vida útil del equipo.

Ernesto Arancibia Villegas y Andrés Susaeta Margulis (2009) en su investigación titulada “Diseño y evaluación técnico económica de un nuevo sistema de carguío y transporte para la minería de hundimiento” con su objetivo de proponer una metodología para diseñar un sistema de manejo de minerales compuesta por LHD y Panzer, se deberá hacer una evaluación de la productividad del equipo LHD y de la velocidad de extracción alcanzable.

Concluye que los factores que inciden mayormente en el manejo de minerales tienen que ver con la roca in situ, y en particular la granulometría del material a tratar. Existen otros factores que inciden en la productividad y que tienen que ver con el buen estado y mantención de la infraestructura minera en la cual el equipo deberá operar, como, por ejemplo, el estado de la calle, la carpeta, presencia de agua, existencia de polvo, ventilación adecuada, estado de los puntos de extracción y de descarga, etc.

Según Valencia (2022) en su investigación el objetivo principal de la tesis fue desarrollar una estrategia de mantenimiento centrada en la confiabilidad aplicada en una planta de chancado de mineral, la cual tiene como fin incrementar la disponibilidad, pero a su vez disminuir los costos operativos, para el desarrollo de esta investigación se emplearon diversos métodos para la recolección y análisis de información.

Entre estos métodos se puede destacar el uso de análisis Jack Knife, análisis Pareto y eficiencia general de los equipos (OEE) aplicados al área de Mantenimiento de Chancado en la mina Gabriela Mistral perteneciente a la empresa CODELCO, una vez finalizada esta investigación se logró determinar que el principal activo que genera mayor impacto.

En pérdidas de tonelaje fueron las chancadoras con un total de 2´ 301,931 tmh/año en 2017, lo cual impactó negativamente en el costo global de la gerencia de mantenimiento, es de gran importancia para el desempeño del equipo ya que nos da la posibilidad de anticiparnos y evitar consecuencias que sean negativas para la confiabilidad operacional.

Según Valencia (2022) menciona en su investigación el objetivo principal de su investigación fue elaborar una propuesta para el mantenimiento de una Pala modelo PC 8000-6E de la serie 12041 de la marca KOMATSU basados en las técnicas descritas en la metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) con el objetivo principal de poder incrementar favorablemente la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del equipo.

La información necesaria para el desarrollo de esta investigación se obtuvo a través de la base de datos con la que cuenta la empresa DRUMMOND LTD y también se utilizaron manuales de operación e información recolectada por experiencias personales y entrevistas realizadas a los operadores y personal de mantenimiento de la Pala PC8000-6E de la SERIE 12041 de la marca KOMATSU utilizada en los proyectos de extracción de carbón en Colombia.

Se llegó a la conclusión de que esta propuesta elaborada permitió consolidar por medio de la práctica y a través de un caso de análisis real los diferentes conceptos teóricos relacionados a la elaboración de un plan centrado en la confiabilidad (RCM). Esta investigación resulta ser importante para el desarrollo de nuestra propuesta puesto que determina como es que influyen los modos y efectos de falla en la operación de las palas.

También se analizó la importancia de tener un buen manejo de operación de

equipos en minería para una mayor eficiencia de los equipos en mina.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Según Solis (2013) expresa que, a diferencia de las palas eléctricas de cable con cuerda de ataque, las palas eléctricas con hydracrowd utilizan un cilindro hidráulico para realizar el movimiento de empuje y retracción del balde. Para conseguir este complejo movimiento en el cilindro hidráulico, existe un módulo de potencia que consta de un motor de empuje AC acoplado a la transmisión de bombas principales y múltiples de control electrohidráulicos.

La implementación del sistema hydracrowd en las palas eléctricas, reduce enormemente el tiempo de inactividad de la máquina al disminuir los rutinarios cambios de cable de empuje y retracción, por tanto, el tiempo de mantenimiento de esto equipos son mínimos, permitiendo optimizar la producción de la operación en la mina para mejores resultados.

Según Cadena (2013) en su tesis titulada “Análisis de costos de productividad y su influencia en el movimiento de tierras por métodos mecánicos” presentada a la Universidad Técnica de Ambato, para optar al título profesional de Ingeniero Civil, tuvo como objetivo evaluar los costos de producción y su influencia en los movimientos de tierras por métodos mecánicos.

Concluye que el rendimiento de una máquina debe medirse como el costo por unidad de material movido, los tiempos de ejecución son el eje principal para aumentar o reducir los costos y el contar con operadores eficientes ayudará en gran medida a que las excavaciones no se paralicen, teniendo un rendimiento óptimo para toda la empresa gracias a la eficiencia.

Según Corrales (2014) En su tesis “Implementación del plan de mantenimiento a la flota de palas eléctricas tz-wk12c en la unidad minera Shougang hierro Perú con la finalidad de aumentar la disponibilidad”, donde su objetivo es: Implementar un plan de mantenimiento en la flota TZ-WK12C en la unidad minera Shougang hierro Perú. Con la finalidad de aumentar la disponibilidad.

Corrales primero identifica los sistemas en los componentes más críticos luego toma las medidas para reducir las horas de parada con un plan de mantenimiento, logrando un aumento en la disponibilidad de un 8.38% y reducir los costos de mantenimiento correctivo y preventivo de $131,395.00 los cuales beneficiaran a toda la operación en una mina o empresa.

Según Marín (2015) en su investigación titulada “Incremento de la Productividad en el Carguío y Acarreo en Frentes que Presentan altos Contenidos de Arcillas al utilizar un Diseño de Lastre Adecuado, Minera Yanacocha, Perú, 2015”, con el objetivo de “Incrementar la productividad del carguío y acarreo en frentes con alto contenido de arcillas utilizando un diseño de lastre adecuado”.

Se pudo determinar diferencias importantes en productividad del equipo de carguío en frentes donde se planificó el lastre; por ejemplo, en las palas Hitachi 4 y 7 se incrementó la productividad de 69 a 91%. Se ha podido demostrar que la planificación del lastre genera ahorros y más importante es la oportunidad de producir más onzas con la misma flota. Se pudo estimar la mayor producción en oz para la pala 4 y 7, lo que significa alrededor de 1 millón de dólares por pala por día.

Según Espinoza (2013) en su investigación titulada “Parámetros que Influyen al Llenado del Cucharon de Palas Eléctricas para Optimizar el Carguío en Minería a Tajo Abierto” con el objetivo “Determinar, los parámetros prácticos de

operación que influyen en el llenado del cucharon de las palas eléctricas en minería a tajo abierto" concluye "Los parámetros más importantes que influyen en el llenado del cucharon de las palas eléctricas son: fragmentación y esponjamiento, el turno de trabajo y operador.

Los parámetros determinables que influyen el llenado del cucharón de palas eléctricas, sirvieron para optimizar el carguío y calcular la productividad de las tres palas eléctricas, cuyas productividades alcanzaron: 5 419 tm/h, 8 224 tm/h y 8870 tm/h para palas modelos 2800, 4100C y 4100XPC respectivamente, permitiendo un óptimo proceso de carguío.

Según Fernández (2018) en la siguiente tesis de maestría se indica por medio de la técnica de análisis de criticidad realizado a los activos físicos de la chancadora terciaria (HPGR) se puede determinar aquellos equipos que son: altamente críticos, medianamente críticos y bajamente críticos. Al realizar esta distribución de equipos se pudo encontrar todos aquellos eventos que son capaces de generar una falla funcional en el activo, también nos permitirá tener un mejor desempeño de estos equipos.

En este trabajo de maestría también se realiza el análisis Weibull para poder determinar los tiempos óptimos para realizar el cambio de algunos componentes como por ejemplo los rodillos y rodamientos, de esta manera a través de la fijación de tiempos óptimos se puede establecer tiempos de mantenimiento programados más precisos. Este trabajo de investigación también demuestra que al realizar la comparación entre la estrategia de mantenimiento actual vs un plan de mantenimiento.

Aplicando la técnica del RCM se obtiene un ahorro de $ 3,514,100 dólares

de ahorro en un periodo de 05 años de aplicación de dicha estrategia. Esta condición nos permite determinar que la aplicación del RCM es viable desde todo punto de vista, permitiéndonos una mejor optimización de los equipos y ser más eficaces al momento de realizar una actividad en la empresa minera.

Según Córdova (2017) en este trabajo de tesis se planteó como objetivo principal de la investigación proponer una serie de mejoras para incrementar la disponibilidad de las Palas Electromecánicas TZ Modelo WK-12 en la minera Shougang Hierro Perú S.A.A; esto a partir de que estos equipos contaban con una baja disponibilidad, lo cual impactaba directamente en el proyecto de ampliación de la unidad minera en mención, para el desarrollo de esta investigación se realizó una auditoria de mantenimiento.

Realizando encuestas a todo el personal involucrado en la operación y mantenimiento de estos equipos, la población abarcada por este trabajo fueron un total de 6 equipos que conforman la flota de Palas electromecánicas TZ modelo WK-12. De este trabajo de investigación se llegó a la conclusión que analizando las propuestas de mejora planteadas de manera técnica y alineadas a las estrategias de gestión de mantenimiento.

Al personal técnico que trabaja con estos equipos, implementación de cartillas de mantenimiento y flujogramas de trabajo se lograría incrementar la disponibilidad de los equipos en un 1.5% generando beneficio directo en la producción y las ganancias generadas con estos equipos. Esta investigación resulta importante para el desarrollo de nuestra tesis ya que analiza conceptos claves como son el MTTR y el MTBF.

Según Komatsu (2022) la implementación del software Prevail en las palas

eléctricas de P&H Komatsu, es de gran beneficio e innovación para el control de los eventos operacionales en tiempo real de estos equipos para un mayor control en sus operaciones de estos eventos reduciendo costos y teniendo mayor eficiencia de los cables eléctricos y componentes de las palas eléctricas. Finalmente, esta mejora con el software Prevail es beneficioso para toda la operación minera.

2.1.3 Antecedentes Locales

Según Pareja (2013) en su investigación titulada "Metodología de selección de equipo de carguío para optimizar la producción en el tajo Clarita, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. Angasmarca, Santiago de Chuco, La Libertad 2013" con el objetivo "Determinar una metodología de selección de equipos de carguío, para optimizar la producción del tajo clarita en la compañía minera Santa Rosa – COMARSA"

Se logró determinar los parámetros de diseño del tajo óptimos como la altura de banco de 8m en función de las capacidades de los equipos de carguío. y las características técnicas fundamentales de las excavadoras de marcas VOLVO, CATERPILLAR y KOMATSU: Longitud de pluma de 6.6m que fue determinado como el más adecuado para el diseño de zonas de carguío de doble carril, durante el proceso de profundización del Tajo Clarita.

Según Quea (2022) comprende en su investigación sobre la unidad minera Cuajone, el cual viene trabajando con 7 palas con sus respectivos puentes aéreos de acceso para abastecimiento de material a los camiones. Con el avance de minado operacional actual, este cable que es sujetado por el (lagarto) para el movimiento de la pala, pero los trabajos de acarreo ocasionan demoras del proceso operativo por cambio de cable dañado, entre ellas tenemos:

- Aplastamiento de cable por oruga de la pala.
- Aplastamiento de cable por lagarto.
- Aplastamiento de cable por caída del material del cucharon en movimiento.
- Aplastamiento de cable por movimiento de la cuna del puente.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Ubicación del proyecto

La unidad productiva se ubica en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, cuyas instalaciones se distribuyen en plataformas que van desde los 2,600 a 3,500 m.s.n.m. de altitud. La unidad minera tiene una vía asfaltada de 33 km que la une con la ciudad de Moquegua, la distancia total que la separa del Puerto de Ilo es de 135 km de tránsito carretero por la vía Binacional, como se observa en la Figura 1 (SPCC , 2017).

Figura 1

Ubicación del proyecto



Nota: Tomado de sistema productivo de cobre mina Cuajone, SPCC, (2017).

2.2.2 Concepto boom jack

Según Mining (2016) el evento operacional boom jack sucede cuando se realiza un sobre empuje o se fuerza la pluma cuando el balde de la pala está en el banco. Esta acción o evento operacional hace que se estiren los cables de suspensión, resultando en fallas prematuras de los componentes relacionados, como se ve en la Figura 2.

Figura 2

Evento operacional boom jack



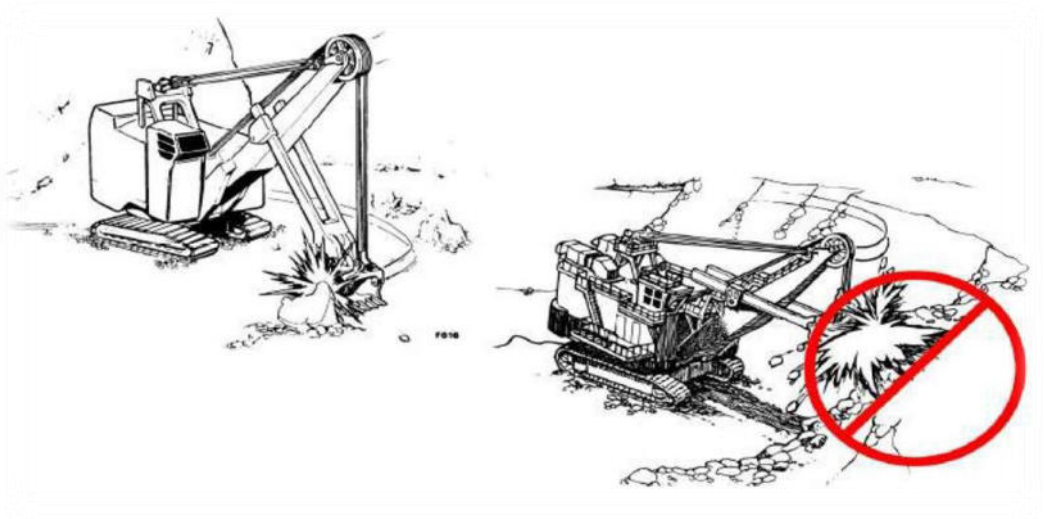
Nota: En la figura se observa el evento operacional boom jack en frente del mineral, Mining, (2016).

2.2.3 Concepto swing impact

El evento operacional swing impact como se observa en la Figura 3, sucede cuando se realiza un giro del equipo, haciendo que el balde de la pala impacte con el banco de material, equipo o algún otro material generando daños al componentede la pala, los cuales pueden ser perjudiciales para los costos y producción de las operaciones mineras (Mining, 2016).

Figura 3

Evento operacional swing impact



Nota: En la figura se observa el evento operacional swing impact, Mining, (2016).

2.2.4 Movimiento de las palas eléctricas antes de realizar su operación

Todas las palas de cable eléctricas de Cat incorporan un sistema de posición límite basado en el PLC (Programmable Logic Controller, Controlador lógico programable) el cual permite configurar los límites operacionales del dispositivo de levantamiento, bajada, empuje y retracción. La configuración de los límites del dispositivo de levantamiento y del empuje se logra a través de la terminal de visualización del operador.

Cuando se configura correctamente la calibración del codificador y los límites de posicionamiento del dispositivo de levantamiento y del empuje, el sistema impedirá que la manija del balde golpee sus topes finales y que los candados entren en las poleas de punto de la pluma. La calibración del codificador de levantamiento y empuje proporciona al sistema de límite un punto de referencia para rastrear las posiciones del dispositivo de levantamiento y de empuje (Mining, 2016).

Se deben establecer los límites para proporcionar espacio adecuado y que

no haya contacto entre las paradas mecánicas y la bancada o entre los candados y las poleas de punto de la pluma. Al levantar, empujar o retraer de manera rápida, los movimientos pueden "deslizarse" por debajode su límite y ocasionar contacto (y daño a los componentes).

La pala no se opera sin límites o con los límites sin ajustar; de lo contrario, pueden ocasionarse daños graves. Los límites son medidas provisorias de último minuto. Existen dos tipos de límites; de ralentización y detención. Solo el personal autorizado puede configurar y calibrar los límites, de manera previa a cualquier operación. Están diseñados para evitar el contacto entre los siguientes elementos:

- Candados y poleas de punto, movimiento del dispositivo de levantamiento.
- Balde y parachoques de la pluma, movimiento de descenso.
- Amortiguador de empuje y bancada, movimiento de empuje.
- Manija del balde y bancada, movimiento de retracción.

Un buen operador de palas eléctricas nunca debe depender de los límites, este debe estar atento a la posición de la manija del balde y al balde en todo momento. Protegiendo los amortiguadores de empuje y de retracción (en palas equipadas con el sistema de empuje por cuerda). Los amortiguadores de empuje y de retracción están diseñados como última línea de protección para la manija del balde y la bancada.

Si se ajustan correctamente los límites de empuje y retracción y el operador está atento, los soportes no deberían nunca entrar en contacto con la bancada. Incluso con los límites correctamente ajustados, si el operador extiende la manija del balde hacia el límite y luego procede a levantar el balde, la manija del balde será

impulsada a travésdel límite de empuje y el amortiguador de empuje entrará en contacto con la bancada, como se ve en la Figura 4 (Mining, 2016).

Figura 4

Movimiento de pluma y balde de palas eléctricas



Nota: Tomado de "Guias de operación de palas electricas", de Pala Eléctrica Minera P&H Centurion Manual del Operador Centurion, (2007).

2.2.5 Giro de 360° palas eléctricas

Según Gutierrez (2013) esto tiene lugar después del arranque y una vez que el balde se levanta del suelo, de modo quela manija del balde esté nivelada. Abra la puerta del balde y gire la máquina hacia el lado derecho(cabina). Continúe el giro hasta que la pala haya completado los 360 grados. Esto proporciona al operador la mejor visibilidad de sus alrededores. Es también el método más seguro para hacerlo.

Cuando el operador gira la máquina hacia el lado izquierdo (punto ciego) impide al operador ver bien. Existen varias zonas ciegas. Además de ser un procedimiento de seguridad, realizar un giro de 360 grados en el arranque permite extender la vida útil de los rodillos de la caja al redistribuirlos a lo largo de la

trayectoriadel rodillo. Los operadores deben adquirir el "buen" hábito de realizar un giro de 360 grados al comienzo de cada jornada de trabajo, como se puede ver en la Figura 5 (Mining, 2016).

Figura 5

Giro de 360° palas eléctricas



Nota: Tomado de manual de operación palas eléctricas P&H, por Gutierrez, (2013).

2.2.6 Fuerzas opuestas de pala eléctrica

Según Fernandez (2020) si se empuja el balde muy lejos de la pala o se lo acerca demasiado, este se encuentra sometido a fuerzas opuestas. siempre minimizando las fuerzas opuestas. Por ejemplo, si se empuja el balde lejos y se lo levanta simultáneamente, se ejercen fuerzas opuestas. Esto generalmente ocasiona más desgaste en el sistema de empuje, ya que no es tan fuerte como la fuerza del dispositivo de levantamiento. El movimiento de empuje se opone al dispositivo delevantamiento cuando sucede lo siguiente:

- Se extiende.
- Se excava cerca de la pala.

2.2.7 Práctica deficiente de golpear las correas eslabonadas con el balde

El contacto entre el balde y las correas eslabonadas ocasiona graves daños a los soportes de lascorreas, los eslabones de la correa eslabonada y la placa del pestillo del balde. Un error del operador es la única razón para que ocurra contacto con las correas eslabonadas. Muchos operadores no prestan suficiente atención a la posición en que se encuentra el balde respecto a lascorreas eslabonadas.

Existe riesgo de contacto si se excava en las posiciones no adecuadas, cuando se encuentre en cualquiera de estas posiciones con el balde, se debe mantener una distancia adecuada entre el balde y las correas eslabonadas. Las correas eslabonadas de tipo alta flotación son más anchas que las que se utilizan en las aplicaciones de roca dura. Dado que son más anchas, el operador debe tener aún más cuidado en evitar golpearlas con el balde (Gutierrez, 2013).

Esto puede ocasionar graves daños a las correas eslabonadas:

- Nunca golpee las correas eslabonadas con el balde o puede ocurrir daño considerable (balde yeslabones de la correa eslabonada).
- Preste mucha atención en todo momento a la posición del balde respecto a las correaseslabonadas.
- Los operadores atentos saben dónde se encuentran las correas eslabonadas en todo momento.

2.2.8 Ciclo de excavación de pala eléctrica

Los 4 pasos de un ciclo de excavación determinan el tiempo de ciclo. Al asignarle un intervalo de tiempo razonable, tenemos la habilidad de medir el desempeño del operador en este tiempo. Tenemos también la capacidad de

determinar exactamente qué es lo que está causando diferencias entre el parámetro real y el parámetro estándar ,como se observa en la Figura 6 (Fernandez, 2020).

Figura 6

Ciclo de excavación palas eléctricas

PASO	PROMEDIO SEGUNDOS
1 Llenar el balde	8-14
2 Girar hacia el camión	8-10
3 Descargar	3-4
4 Regresar a lasuperficie de excavación	10-12



Nota: Adaptado de "Manual del Operador de palas eléctricas", de Mining, (2016).

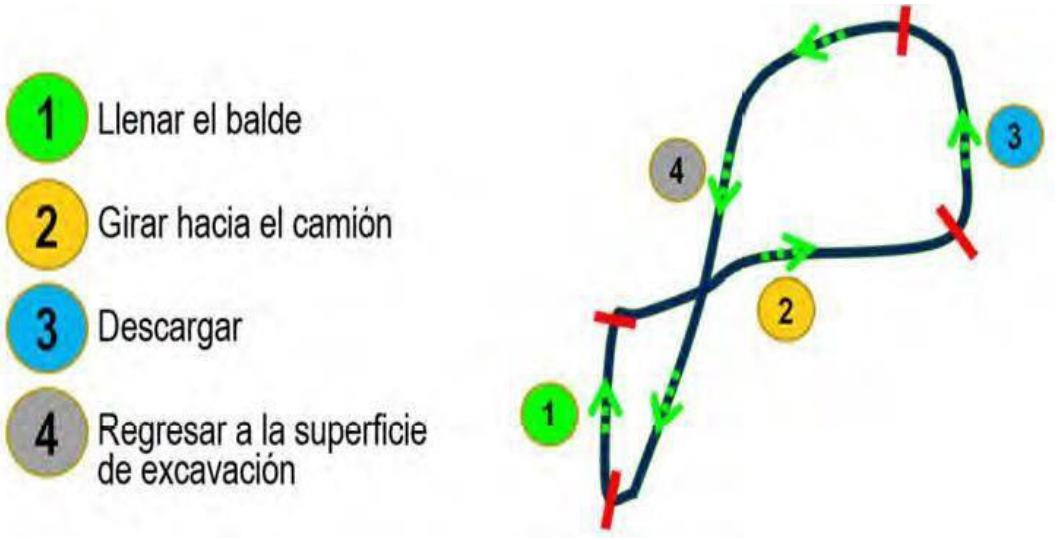
2.2.9 Ritmo de operación de palas eléctricas.

Los 4 segmentos del ciclo de excavación se pueden mostrar en la Figura 7 de un ocho de bucle continuo. En el segmento 1, el balde se llena. Una vez que está lleno, se retrae y comienza a girar hacia el camión mientras se levanta, mientras entra al camión, el balde se destraba y suelta el pesodel material. Simultáneamente, el balde se levanta para permitir que se despeje el material y que la pala se encuentre en una rotación inversa completa.

Una vez que el balde despeja el fondo de lacaja del camión, se baja a toda velocidad. Antes de alcanzar el suelo, el giro se revierte y se aplica el dispositivo de levantamiento, deteniendo el movimiento de giro y retrocediendo el balde para que se conecte a la punta nuevamente como en la Figura 7. Una vez que se detiene el equipo el operador puede conectar nuevamente la punta (Mining, 2016).

Figura 7

Ritmo de operación palas eléctricas



Nota: Nota: Adaptado de "Manual del Operador de palas eléctricas", de Mining, (2016).

2.2.10 Trayectoria con menor resistencia

El balde naturalmente buscará la trayectoria de menor resistencia, mientras se levanta el balde a través del banco utilizando un corte de superficie completo, este se moverá ligeramente hacia la izquierda o la derecha incluso cuando el operador mantenga en neutro el control de rotación. Esto se debe a que el balde se moverá hacia el área del banco que presenta la menor resistencia de excavación, esto no ocasiona daños el equipo del extremo delantero.

Solo se produce daño en los componentes si el operador aplica el movimiento de rotación mientras el balde se encuentra todavía conectado al banco, en un intento de forzar el balde en una trayectoria particular a través del banco. Esta es una práctica de operación deficiente, pero, desafortunadamente, muy común. Es un hábito en el que es fácil entrar pero del cual es difícil salir (León Chávez, 2018).

Figura 8

Carguío mineral con trayectoria a menor resistencia



Nota: Se observa como el balde de la pala eléctrica recoge el material en mina, el cual debe ser suave y sin material duro o presencia de bolones de mineral, por Gutierrez, (2013).

2.2.11 Resistencia de excavación

Un balde ancho tendrá mayor resistencia de excavación en el banco que lo que tendrá un balde angosto. Esto se debe a que hay una mayor superficie del balde conectada al banco en un momentodeterminado, por esta razón, un balde más largo y ancho requiere que el material se encuentre bien fragmentado para poder realizar bien la tarea en las operaciones de la empresa, además en la etapa de carguío de material es donde se presenta mayor eventos operaciones de boom jack y swing impact, es por tanto que se debe tener en cuenta las dimensiones del balde de las palas para un mayor cuidado del mismo al momento de iniciar las operaciones en mina (Pala Eléctrica Minera P&H Centurion Manual Del Operador Centurion, 2007).

Figura 9

Balde ancho de una pala eléctrica



Nota: Elaboración propia.

2.2.12 Carga de impacto del dispositivo de levantamiento, el sistema de empuje y las cuerdas de retracción

La carga de impacto de las cuerdas (dispositivo de levantamiento, de empuje o de retracción) ocurre cuando se elimina repentinamente una holgura. Esto estira la cuerda y causa daños, incluso fracturas. Las cuerdas del dispositivo de levantamiento: para prevenir la carga de impacto de las cuerdas del dispositivo de levantamiento, el operador nunca debe dejar que ocurra holgura.

Si hay holgura, detenga completamente todos los movimientos y luego lentamente quite la holgura de lascuerdas del dispositivo de levantamiento hasta que se encuentren correctamente tensionadas. Las cuerdas de empuje y de retracción: para prevenir la carga de impacto de las cuerdas de empuje y de retracción, manténgalas correctamente ajustadas en todo momento.

Hay una buena forma paraque el operador sepa si existe demasiada holgura en las cuerdas de empuje y de retracción. Alempujar el balde hacia la superficie

de excavación, si la cuerda de retracción comienza a presentarholgura o superpone la punta de la pluma (consulte las imágenes a continuación), las cuerdas se encuentran mal ajustadas y se debe contactar a mantenimiento para que las ajuste tan pronto comosea posible. Si no se ajustan, ocurrirá holgura al empujar el balde hacia afuera.

Al invertir el controlde la palanca universal de empuje para comenzar a retraer, la holgura de la cuerda de retracción sequitará repentinamente. Al empujar el balde hacia el banco, la cuerda de retracción muestra la holgura y se frota contra la parte superior de la pluma, significa que se deben ajustar las cuerdas tan pronto como sea posible, como se ve en la Figura 10 (Pala Eléctrica Minera P&H Centurion Manual Del Operador Centurion, 2007).

Figura 10

Cable y balde impactado con el frente de carguío



Nota: Elaboración propia.

2.2.13 Ajuste de la Cuerda de Empuje

Según Sugiarto (2016) generalmente las cuerdas de empuje y de retracción no se encuentran correctamente ajustadas.Para alcanzar una posición correcta de la

manija del balde. Esto se obtiene al ingresar a la pantalla de mantenimiento y luego seleccionar la pantalla de anclaje de la pantalla de control del operador. Seleccione ahora anclaje de empuje. Esto desactivará automáticamente todos los límites de movimiento y colocará los controles de la palanca universalen una referencia del 15 % (par y velocidad reducidos).

Esto es parte del proceso que mucho personal de mantenimiento no realiza o tiende a ignorar. Como resultado, las cuerdas rara vez se encuentran correctamente ajustadas para obtener información específica sobre la configuración de límites con respecto a la calibración y sobre la configuración de los límites de ralentización y detención, consultar el Manual de Operación y Mantenimiento (OMM, Operation and Maintenance Manual) de la máquina, esto podría dañar la pluma del equipo.

2.2.14 Potencia del Dispositivo de Levantamiento Frente al Angulo de Excavación

En la Figura 11 se explican con más detalle los requisitos de potencia adicional requerida en relación con el ángulo de excavación. Se puede ver cómo el requisito de potencia sube al máximo mientras se incrementa el ángulo de excavación. Se debe permanecer cerca de la superficie de excavaciónal moverse hacia arriba con frecuencia para mantener a la máquina trabajando con eficiencia. Estoacorta el tiempo de ciclo de excavación y ahorra energía.

También tener un correcto ángulo de excavación, permite cuidar los componentes de las palas eléctricas y ahorrar tiempo en todas las operaciones de mina, además de tener un mayor control de las operaciones y un correcto carguío del material hacia los camiones mineros, siendo primordial un ángulo del 60% el

cual es eficiente.

Figura 11

Potencia requerida de la pala según el ángulo de excavación del mineral



Ángulo de excavación	Requisitos de potencia adicionales
0°	+0% 100%
15°	+4% 104%
30°	+15% 115%
45°	+41% 141%
60°	+100% 200%

Nota: Tomado de Operación correcta de palas eléctricas, por Mining, (2016).

2.2.15 Movimiento de Rotación Eficiente

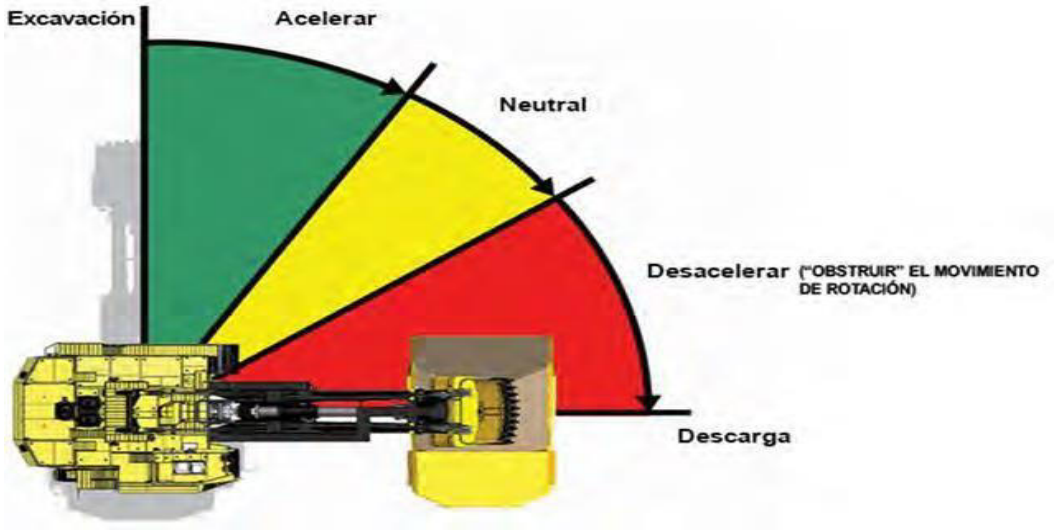
Los movimientos de rotación siempre deben ser suaves y fluidos. No juegue con la palanca. Realice movimientos suaves con el control de rotación y nunca sacuda la palanca universal de forma instantánea de una dirección a otra (esto se denomina control de potencia), ya que esto puede dañar los componentes. A medida que el operador retrae el balde de la cara de excavación y comienza a aplicar el control de rotación, el movimiento de rotación de la pala se acelera.

Cuando se alcanza la velocidad máxima de rotación, el operador lleva el control de rotación a la posición neutral y espera a que la rotación se detenga. A medida que el balde se acerca a la caja del camión, el operador invierte suavemente el control de rotación para desacelerar el movimiento, esto se denomina "controlar" la rotación. El balde continúa dentro de la caja del camión a medida que el control de rotación se coloca en rotación inversa total.

A medida que el movimiento de rotación se detiene, la puerta del balde se activa y se descarga el material dentro de la caja del camión. Con el control de rotación ya en posición inversa total, como se observa en la Figura 12 , el movimiento ahora se invierte rápidamente para rotar el balde de regreso al banco para la siguiente pasada (Sugiarto, 2016).

Figura 12

Rotación eficiente



Nota: Tomado de Manual de operador P&H: Rotación eficiente de la pala eléctrica en mina,), por P&H, (2006).

La altura del balde sobre el camión se debe minimizar para reducir el impacto del material contra la caja del camión cuando se activa el balde. Abra el primer balde a una altura justo por encima de la caja para que la puerta del balde no entre en contacto con esta. Para los baldes siguientes, activar el balde con la puerta posicionada a una altura justo por encima del material que ya se ha cargado dentro del camión.

Esto permite que la puerta roce ligeramente el material, lo que controla y ralentiza su apertura. El material entrará suavemente dentro de la caja del camión

en lugar de caer en ella, como se observa en la Figura 13. Así el impacto de carga se reduce significativamente, lo que protege tanto alconductor como al camión.

- Mantenga el balde a una altura baja en la caja del camión.
- El material debe entrar suavemente al camión, no golpearlo.
- Posible lesión al conductor del camión.
- Daño al camión.
- Amortigüe el camión con un material fino antes de cargar material demasiado grande.

Figura 13

Carguío adecuado del material



Nota: Tomado de Operación correcta de palas electricas en mina: permitiendo cuidar los equipos en mina , por Sugiarto, (2016).

2.2.15.1 Posición del balde durante la propulsión

Al prepararse para la propulsión de la pala y como precaución de seguridad, siempre despeje cualquier roca de los dientes del balde para que no se caigan de este cuando se levante. Una vez que finaliza la tarea, levante el balde hasta que la manija del balde esté completamente a nivel. Esto permite al operador una buena

visibilidad para el movimiento, como se ve en la Figura 14. Si la puerta aún está cerrada, se debe activar el balde para abrirla (Mining, 2016).

Figura 14

Posición del balde durante la propulsión



Nota: Tomado de Manual de operador P&H: Palas equipadas con HydraCrowd, llevar el balde hacia abajo puede hacer que se tire hacia afuera la varilla del cilindro hidráulico (debido al peso del balde), por Komatsu, (2006).

Se debe considerar los siguientes puntos para la posición del balde durante la propulsión:

- La manija del balde está colocada de forma paralela a la tierra.
- El balde está vacío.
- La puerta del balde está abierta.
- Los dientes están libres de cualquier tipo de material.
- La puerta del balde está abierta.
- Los dientes están libres de cualquier tipo de material.

2.2.15.2 Giro a nivel del suelo

Siempre que sea posible, se deben realizar giros graduales en pequeños incrementos de entre 15° y 20° como máximo. Se propulsará derecho para una

distancia corta (generalmente, la mitad de la longitud de los cinturones de la correa eslabonada) para eliminar las rocas y suciedad de los cinturones de las correas eslabonadas y luego haga otro giro de 15° a 20°.

Cuando conduce sobre material suave, como arena, arcilla, etc., se pueden utilizar incrementos de menos de 15° a 20° para minimizar la acumulación de materiales en la trayectoria del rodillo de las correas eslabonadas. Se debe evitar un solo giro repentino para minimizar la acumulación de materiales en la trayectoria del rodillo del cinturón de las correas eslabonadas y lasubsiguiente carga en altura del cinturón de las correas eslabonadas y los componentes de propulsión asociado a la pluma de las palas eléctricas, realizar estos giros gradualmente permiten un mayor cuidado de los componentes de las palas y por tanto tener un carguío eficiente con menor tiempo de carguío, como se observa en la Figura15 (Mining, 2016).

Figura 15

Desplazamiento y rotación de las palas



Nota: Cuando conduce sobre material suave se pueden utilizar incrementos de menos de 15° a 20° para minimizar la acumulación de material, por Mining, (2016).

2.2.15.3 Giro en una pendiente

Al mover una pala en subida o bajada en una pendiente, intente reducir al mínimo la rotación. Además, el operador puede utilizar el ángulo de la pendiente como ventaja. Por ejemplo, si el operador de la pala necesita hacer un pequeño giro a la derecha mientras sube una pendiente, el controlador izquierdo debe colocarse en neutral y el controlador derecho en retroceso lentamente,lo que permitirá a la correa eslabonada derecha retroceder bajando la pendiente.

Por otro lado, si el operador necesita hacer un pequeño giro a la izquierda mientras baja una pendiente, elcontrolador izquierdo debe colocarse en neutral y el controlador derecho en dirección de avance ligeramente, haciendo que la pala gire a la izquierda. Al estar en una rampa, siempre detenga unacorrea eslabonada y descienda la pendiente con la otra para hacer giros.

También al realizar un giro de las palas en la zona de carguío debe realizarse de manera adecuada, para ello el operador debe tener el conocimiento adecuado y la práctica para operar las palas eléctricas de manera eficiente, por tanto, esto evitará no tener swing impact evitando así golpear el balde con en frente de carguío o bolones de material en mina, permitiendo una operación correcta y eficiente de las palas eléctricas.

Con este procedimiento se reduce en gran medida la cantidad de presión que se ejerce en las correas eslabonadas y la maquinaria de propulsión cuando se mueve una pala para subir o bajar una pendiente, como se observa en la Figura 16. Permitiendo que la gravedad lo ayude a girar la pala cuando sube o baja una pendiente (Sugiarto, 2016).

Figura 16

Giro recomendado según dirección desplazamiento de la pala eléctrica



Nota: Tomado de Libro de operación correcta de palas eléctricas P&H, por Mining, (2016).

2.2.15.4 Excavación de materiales de relleno

Al excavar relleno, asegúrese de que la superficie de excavación esté bien controlada, se debe prestar atención al desprendimiento de materiales y no excave una pared por encima de aproximadamente 50 pies. Hacerlo puede generar condiciones no seguras que podrían ocasionar que la pared envuelva la pala o los camiones que se están cargando, mantener el flujo de materiales, como se observa en la Figura 17.

Además, se necesitó usar técnicas de propulsión especiales para evitar que la pala se hunda, si las correas eslabonadas comienzan a hundirse, retroceda y gire ligeramente antes de volver apropulsar en dirección de avance. Esto, por lo general, empujará el material suelto en las cadenasanteriores de la correa eslabonada y proporcionará flotación y soporte adicionales a la máquina (Fernandez, 2020).

Figura 17

Correcta excavación de material de relleno



Nota: Elaboración propia.

2.2.15.5 Atrapar el colapso de un banco con el balde

Si alguna vez una pared alta se derrumba, siempre proteja la pala y los camiones con el balde. Si el balde ya está lleno cuando se produce la falla, active la puerta inmediatamente para que el peso adicional de la pared no se agrave con el peso del balde cargado, esto permite que el flujo de materiales entre por el balde en lugar de sobrecargarlo.

Abrir la puerta del balde ayudará a evitar que los cables del dispositivo de levantamiento se carguen de impacto y se rompan, esto también permite al operador mantener un poco el control de la pared mientras se derrumba. Los derrumbes de paredes que son especialmente peligrosos son aquellos que se producen hacia afuera en dirección a la pala. Esto puede envolver con facilidad la pala, los camiones y el equipo de respaldo (León Chávez, 2018).

- Active inmediatamente el balde.
- Proteja la pala.

- Proteja los camiones.
- Controle el flujo de material.

2.2.15.6 Excavación de punta dura y fondo duro

La excavación de punta dura y fondo duro en ocasiones puede ser difícil, según la dirección de losplanos de estratificación del material. Como se muestra en la Figura 18, los planos de estratificación corren en la misma dirección en la que la pala está excavando, el balde intentará montarse sobre el material en lugar de excavarlo. De ser posible, en áreas como esta, intente trabajar pasando el área y hágalo desde un ángulo diferente (Mining, 2016).

Figura 18

Excavación adecuada para el cuidado del balde de las palas



Nota: Tomado de Manual de operación de equipos en mina, de Pala Eléctrica Minera P&H Centurion Manual Del Operador Centurion, (2007).

2.2.15.7 Balde posicionado de manera segura lejos de la pared alta

Coloque el balde de manera segura lejos de la pared alta. Esto le permitirá al siguiente operadorrealizar la inspección del balde de manera segura y sin ser golpeado por materiales que caigan de la pared alta, como se ve en la Figura 19.

Figura 19

Posición correcta del balde con respecto a la altura del banco de mineral



Nota: Adaptado de " Modos de operación correcta de palas eléctricas CAT, por Mining, (2016).

2.2.15.8 Secciones principales de la pala

Los componentes pueden variar según las marcas y modelos. Es posible que las siguientes descripciones generales de los componentes no coincidan con el tipo de máquina específico que está utilizando. Por esta razón, consultar siempre el Manual de Operación y Mantenimiento del Fabricante de Equipo Original (OEM), para tener claro las secciones principales de las palas eléctricas como la caja de maquinaria, equipo frontal y estructura inferior. Dentro de estas secciones principales están los componentes de las palas como la cabina, pluma de izaje, cables de izaje y demás partes de este equipo (Pala Eléctrica Minera P&H Centurion Manual Del Operador Centurion, 2007).

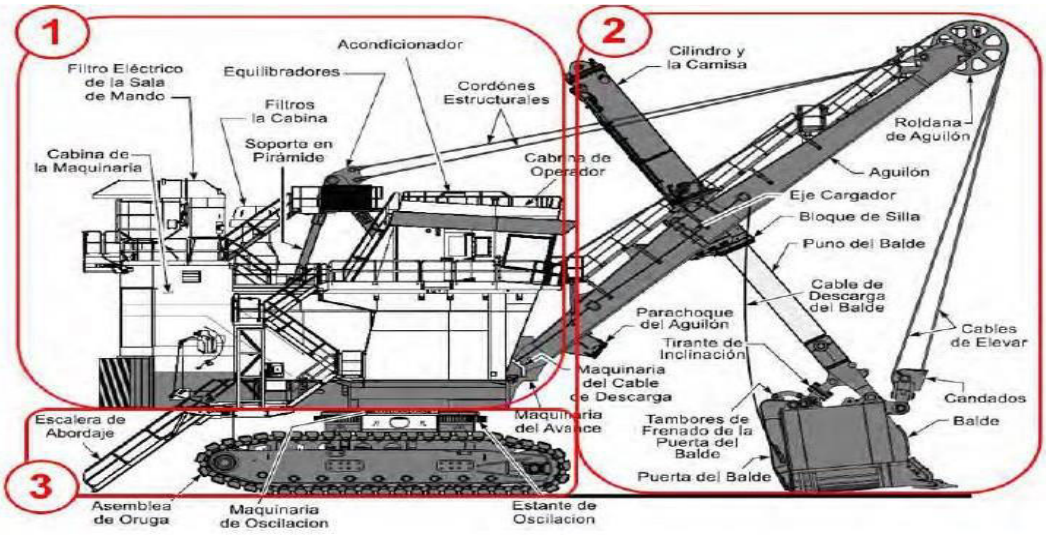
Los componentes de la pala de cable eléctrica se agrupan en tres secciones principales, como se observa en la Figura 20:

- (1) Caja de la maquinaria.

- (2) Equipo frontal.
- (3) Estructura inferior.

Figura 20

Partes principales de una pala eléctrica



Nota: Adaptado de Manual de partes de una pala electrica en mina, Sugiarto, (2016).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Boom jack:

Evento operacional que ocurre cuando se realiza un sobre empuje o se fuerza la pluma de la pala eléctrica mientras el balde está en el banco, lo que provoca una tensión excesiva en los cables de suspensión, resultando en daños y fallos prematuros de los componentes de la pala (Marín, 2015).

Swing impact:

Evento operacional que sucede cuando la pala gira y el balde impacta con el banco de mineral, equipo u otro material, lo que genera daños al componente de la pala y reduce la eficiencia operativa (Días, 2016).

Cables de izaje:

Componentes utilizados para levantar y mover el balde de las palas eléctricas durante el ciclo de carguío. Su correcto uso y mantenimiento es esencial para evitar fallas que afecten la operatividad y productividad del equipo (Vacios et al., 2022).

Palas eléctricas:

Equipos fundamentales en la operación minera superficial diseñados para excavar y cargar material. Las palas P&H 4100A y P&H 4100 XPC son ejemplos utilizados en la tesis, y su operatividad es crucial para el rendimiento y la productividad en la mina (Topno et al., 2021).

Productividad:

El concepto de productividad corresponde a la relación que existe entre la cantidad de insumos y recursos utilizados para la obtención de un producto determinado, también es una herramienta estratégica para mejorar la competitividad y la sostenibilidad de cualquier organización. Su análisis y mejora continua permiten que las empresas se adapten a las exigencias del mercado, aprovechen al máximo sus recursos y contribuyan al desarrollo económico de manera responsable. (Min de mineria Gob CHILE, 2014).

Prevail:

Software de monitoreo y análisis en tiempo real implementado en las palas eléctricas para identificar eventos operacionales como el "boom jack" y el "swing impact". Permite optimizar la operación de las palas al registrar estos eventos y proporcionar datos críticos para la toma de decisiones (P&H - Komatsu, 2022).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El presente proyecto se enmarcó en el enfoque cuantitativo, ya que requiere recopilar datos de campo basados en la medición de variables. Según la finalidad de la investigación es aplicada a dar solución a los problemas prácticos en el proceso de operaciones mina, utilizando una nueva mezcla explosiva para optimizar los resultados. Según el método de manipulación de datos el enfoque es de tipo cuantitativo, para lograr los objetivos del presente trabajo de investigación, se realiza la recolección y análisis de datos obtenidos en los eventos operacionales del boom jack y swing impact de la pala 03 y 07 en la mina en estudio.

3.1.2. Nivel de la investigación

El nivel de investigación aplicada es aquella que se concentra en mejorar y/o resolver problemas del mercado, la industria o los servicios. En la presente tesis se busca optimizar estos eventos operacionales para el aumento de la producción, vida útil de las palas y la disminución de los costos en los componentes de las palas eléctricas generados por estos eventos operacionales.

3.2. Ámbito temporal y espacial

La unidad productiva Cuajone se ubica en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, cuyas instalaciones se distribuyen en plataformas que van desde los 2,600 a 3,500 m.s.n.m. de altitud. La unidad minera Cuajone tiene una vía asfaltada de 33 km que la une con la ciudad de Moquegua, la distancia total que la separa del Puerto de Ilo es de 135 km de tránsito carretero por la vía Binacional (SCC, 2012).

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

Son todas las palas eléctricas que se encuentran en la unidad minera son 7 palas eléctricas de las marcas Caterpillar y P&H (Komatsu) las cuales están distribuidas en las zonas Cocotea Bajo, Cocotea Alto y fondo de mina en zonas de mineral.

3.3.2 Muestra

En este informe se realizó con 2 palas eléctricas pala 03 P&H 4100A y pala 07 P&H 4100 XPC las cuales son supervisadas por el área de operaciones en la unidad minera Cuajone, las cuales tienen instalado este software Prevail, el cual se realizó la optimización gracias a la identificación estos eventos operacionales.

3.4. INSTRUMENTOS

3.4.1 Validación y confiabilidad de los instrumentos

Guía de observación

Instrumento que permitió la recolección de datos a través de pautas de observación sobre las variables de estudio antes mencionados, en campo se hará el análisis del problema de los eventos operacionales de las palas eléctricas 03 y 07 (P&H).

Análisis documental

Se investigó antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a los factores que afectan de manera directa la productividad de las palas durante el proceso de carguío con el software Prevail, del mismo modo propuestas de optimización y definiciones generales, para lo cual se utilizó los buscadores y bibliotecas virtuales.

Análisis operativo

Se realizó una evaluación en campo de estos eventos operacionales, para tener claro cómo afectó e impactó la optimización de estos eventos operacionales con supervisores de campo y entrenadores de operadores del área de operaciones mina.

Modelo de regresión lineal simple

Se trata de la técnica más utilizada, ya que permite modelar una relación entre dos conjuntos de variables. Como resultado se obtiene una ecuación utilizable para hacer proyecciones o estimaciones sobre los datos.

Este modelo se caracteriza por predecir la variable y a través de la siguiente ecuación:

$E(Y/x) = 0 + \beta 1\ x$. Donde la ordenada al origen $\beta 0$ y la pendiente $\beta 1$ son coeficientes desconocidos de la regresión.

Estos son los equipos que se emplearon para el presente proyecto:

- Palas eléctricas pala 03 P&H 4100A y pala 07P&H 4100 XPC
- Software Prevail el cual fue creado por la empresa Komatsu, el cual se instaló en estas dos palas eléctricas antes mencionados, permitiendo su implementación, para registrar estos eventos operacionales.

3.5. PROCEDIMIENTOS

3.5.1 Problema planteado en operaciones mina

Identificar prácticas de operación que generan eventos de mala operación, como se puede ver en la Figura 21:

- Boom Jack y Swing Impact

Figura 21

Carguío de pala N° 03 en mina



Nota: Elaboración propia.

El presente trabajo se realizó observando la operación de la pala desde la cabina(operador) y lascondiciones del frente de trajo de la pala.

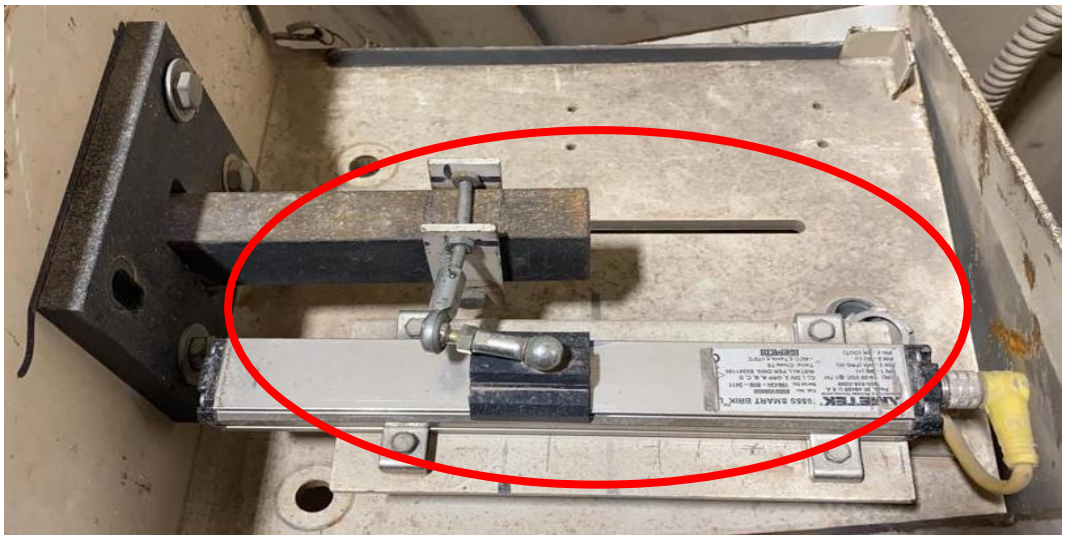
Observaciones:

Durante el proceso de observación, se detectaron varios eventos relevantes que afectan tanto la eficiencia operativa de la pala como su mantenimiento. Uno de los hallazgos más destacados fue el registro frecuente del evento **ABSS Stage,** como se observa en la Figura 22, en el reporte de la pantalla GUI (interfaz gráfica de usuario) de la pala eléctrica. Este evento es de gran interés ya que puede estar relacionado con varios factores que impactan directamente en el ciclo de trabajo y en el desgaste de los componentes mecánicos de la pala.

Este evento ABSS Stage apareció de manera recurrente, lo cual sugiere la necesidad de un análisis más detallado de su causa y frecuencia, ya que podría estar indicando un comportamiento operativo que podría ser optimizado para mejorar el rendimiento general de la pala.

Figura 22

Revisión del sensor de los eventos operacionales instalados en las palas



Nota: Elaboración propia.

Condiciones del frente de trabajo en campo zona Cocotea bajo, se tiene un frente de carguío rocoso donde la pala 03 está cargando al volquete 142, se verifico el modo de operación del equipo, como se ve en la Figura 23.

Figura 23

Frente de carguíos rocosos y de gran dureza vistos en campo



Nota: Elaboración propia.

Se observó dos tipos de condiciones de frente de trabajo:

Condición 1: frente suave, con baja resistencia a la penetración, el material cae solo para ser cargado, con facilidad para llevar el piso horizontal y una alta productividad, como se puede ver en la Figura 24.

Figura 24

Condición de frentes de carguíos en mina



Nota: Elaboración propia.

Condición 2: frente duro, con alta resistencia a la penetración, el operador tiene que estar constantemente desquinchando el material para poder cargar, piso duro lo que condiciona a tener swing impact y boom jack al momento de realizar el piso horizontal y el desquinche del frente de carga baja la productividad, además de tener una menor eficiencia de excavación y generando mayor evento de eventos operacionales de las palas eléctricas ocasionando perdida de tiempos y desgaste de los cables de izaje de las palas eléctricas, como se observa en la Figura 25.

Figura 25

Carguío de las palas en mina



Nota: Elaboración propia.

3.5.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación se orienta hacia lo experimental, dado que tiene como objetivo examinar bajo condiciones controladas si la variable independiente ejerce un impacto de importancia sobre la variable dependiente del estudio (Hernández y Mendoza, 2018).

Este diseño de investigación experimental permitirá la realización de este proyecto de la manera más óptima para la implementación del software Prevail.

3.6. ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1. Técnicas de recolección y análisis de datos

Observación directa

Se realizó la observación directa en campo, en dónde se pudo evidenciar un evidente porcentaje de tiempo no programadas de demoras en los tiempos del ciclo de carguío en las palas eléctricas duranteel proceso de carguío, lo cual se veía

reflejado en la medición de, afectando directamente a la producción total estimada.

Revisión del material tecnológico

Esta metodología posibilitó obtener la información en tiempo real de los eventos operacionales del software Prevail. Además, permitirá adquirir datos digitales sobre la cantidad de eventos operacionales registrados por día y guardia.

Análisis de datos

Se usó la data del software Prevail instalados en las palas eléctricas 03 y 07 (P&H), gracias a los sensores, se registrará en tiempo real los eventos operacionales boom jack y swing impact, la hora que sucedió tales eventos, día, fecha y además que operador lo realizó. Posterior a ello por guardia (turno día y noche) se realizará las estadísticas a diario de estos eventos operacionales.

También se trabajó con data del 2021 al 2022 y así sucesivamente se realizará cuadros estadísticos en Excel y tablas dinámicas para enlazar el software Prevail con el Excel y tener un manejo adecuado de la data para optimizar y trabajar de la mano con supervisión y entrenadores de mina Cuajone, haciendo posible reducir estos eventos operacionales para una mayor producción y cuidado de componentes de las palas eléctricas.

3.6.2. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

En base a los datos obtenidos en el software Prevail se realizará un análisis de la data de los eventos operacionales de las palas 03 y pala 07 desde el año 2021 al 2022, el cual se realizará con tablas dinámicas en Excel por operadores y equipos, haciendo posible la identificación de estos operadores con malas prácticas y saber cuántos eventos operacionales se tiene al día y por guardia.

El cual permitío entrenar a estos operadores con el área de entrenamiento para reducir estos eventos operacionales las cuales son causados al momento de operar en campo. Para finalmente hacer un cálculo de costos de los cables de izaje los cuales tienen un mantenimiento y costo por hora según su vida útil. Permitiéndonos mejorar en costos de cables de izajes, mejor producción de las palas eléctricas y cuidado de los componentes de las palas eléctricas en mina

3.6.3. Costos de optimización de cables de izaje de las palas eléctricas.

Con respecto a la optimización de los eventos operacionales boom jack y swing impact, el reducir estos eventos permite alargar la vida útil de estos cables de izaje según equipo y modelo de acuerdo a la vida útil del cable de izaje que en promedio ronda 800 horas, en campo se pudo detectar que tener muchos eventos operacionales en las palas eléctricas, influye bastante en la rotura de estos cables de izaje llegando entre 500 horas en promedio de vida útil según Mantenimiento, como puede observar en la Tabla 2, se detalla la vida útil según fabricante y costos de los cables de izaje.

Tabla 2

Costo de cables de izaje con respecto a su vida útil

Equipo	Tipo cable	Marca cable	Vida útil	Costo
Pac003 (P&H)	Cable izar	Pac ultra (Bucyrus)	900 horas	1$/horas
Pac007 (P&H)	Cable izar	Bridon	900 horas	1$/horas
Nota: otras marcas de cables que se están utilizando como alternativo y prueba:				
Pac007 (P&H)	Cable izar	Bridon_prueba	900 horas	1$/horas
Pac03 (P&H)	Cable izar	Jorvex (tulmax)	700 horas	1$/horas

Nota: Elaboración propia.

Finalmente reducir la frecuencia de los eventos de boom jack y swing impact es fundamental para maximizar la vida útil de los cables de izaje, especialmente dado que estos componentes tienen un costo elevado y su reemplazo frecuente representa un gasto significativo para las operaciones mineras. La diferencia entre un cable que dura 900 horas y uno que se rompe después de 500 horas puede tener un impacto sustancial en los costos totales de operación, considerando que el costo promedio por hora de uso es de 1 dólar.

Al mejorar las prácticas operativas y reducir los eventos de estrés sobre los cables, se puede lograr una extensión significativa de la vida útil de estos componentes. Esto no solo contribuye a una reducción en los costos de mantenimiento, sino que también minimiza el tiempo de inactividad de las palas eléctricas, lo que a su vez mejora la productividad general de la mina.

Esta disminución de la vida útil implica un aumento en los costos operativos debido a la necesidad de reemplazar los cables con mayor frecuencia, además del impacto en la productividad de las palas eléctricas debido al tiempo de inactividad requerido para el mantenimiento y sustitución de los cables dañados. Esto resalta la importancia de reducir la frecuencia de estos eventos operacionales a través de una operación más controlada y la implementación de prácticas que minimicen las tensiones sobre los cables de izaje.

En conclusión, la optimización de los eventos operacionales es un factor clave para aumentar la vida útil de los cables de izaje. Implementar prácticas operativas más eficientes y controlar mejor estos eventos permitirá no solo reducir los costos asociados al desgaste prematuro de los cables, sino también incrementar la disponibilidad y el rendimiento de las palas eléctricas, lo que se traducirá en una mayor rentabilidad para la operación en la mina Cuajone.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se descargó la data del software Prevail por meses, desde octubre 2021 al 2022 se tomó la data de estos sensores (instalados en las palas eléctricas), para poder detectar los eventos operacionales por operador y poder analizar la cantidad de eventos que se hacen por guardia y día, según ANEXO 2,3,4,5, todo ello con el fin de retroalimentar el modo de operación y cuidar los componentes de la pala al momento del izaje y/o carguío del material. Los datos recogidos muestran el comportamiento de los operadores y cómo las malas prácticas, como la mala ejecución de movimientos de la pala, pueden provocar una sobrecarga en los componentes, en este caso el sistema de suspensión de la pala. Esta información es crítica para la capacitación y mejora de los operadores, ya que ayuda a identificar errores repetitivos, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3

Data de eventos operacionales registrados 26/12/2021, extraídos del software Prevail

MÁQUINA	TURNO	FECHA	TIEMPO	CÓDIGO FALLA	OPERADOR
ES4189 (PAC 03)	A	26/12/2021	16:29:38.127	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	26/12/2021	16:24:21.457	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	26/12/2021	14:58:27.073	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	26/12/2021	14:33:50.360	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	26/12/2021	14:28:43.947	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	26/12/2021	13:43:31.220	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	26/12/2021	09:47:28.913	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 4, se detalla la data extraída del software Prevail del 23 de diciembre 2021, la repetición de eventos operacionales en días consecutivos indica la necesidad urgente de intervención, ya sea a través de una reprogramación del equipo o de la capacitación del operador. El software Prevail permite realizar un seguimiento de estos eventos en tiempo real para una intervención oportuna.

Tabla 4

Data de eventos operacionales registrados 23/12/2021, extraídos del software Prevail

MÁQUINA	TURNO	FECHA	TIEMPO	CÓDIGO FALLA	OPERADOR
ES4189 (PAC 03)	A	23/12/2021	19:09:18.403	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	23/12/2021	18:28:48.797	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	23/12/2021	16:37:06.117	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	23/12/2021	14:40:20.323	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	23/12/2021	11:00:57.017	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	23/12/2021	10:28:03.427	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	A	23/12/2021	09:57:33.727	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 5, se detalla los datos extraídos del software Prevail en el cual no hubo muchos eventos operacionales por turno y equipo.

Tabla 5

Data de eventos operacionales registrados 09/12/2021, extraídos del software Prevail

MÁQUINA	TURNO	FECHA	TIEMPO	CÓDIGO FALLA	OPERADOR
ES4189 (PAC 03)	A	09/12/2021	56:14.2	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS

Nota: Elaboración propia.

Se presenta los eventos de la misma pala en una fecha anterior. Los registros aquí indican que los operadores continúan generando el mismo tipo de fallos a lo largo del tiempo, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Data de eventos operacionales registrados 04/12/2021, extraídos del software Prevail

MÁQUINA	TURNO	FECHA	TIEMPO	CÓDIGO FALLA	OPERADOR
ES4189 (PAC 03)	B	04/12/2021	05:59:15.977	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 7, se detalla los datos extraídos del 3 de diciembre 2021 de eventos operacionales y así sucesivamente hasta el año 2022, para realizar el análisis de estos eventos operacionales boom Jack y swing impact.

Tabla 7

Data de eventos operacionales registrados, extraídos del software Prevail

MÁQUINA	TURNO	FECHA	TIEMPO	CÓDIGO FALLA	OPERADOR
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	05:50:42.757	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	05:49:46.050	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	05:49:38.130	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	05:37:08.997	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	05:36:30.060	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	05:36:25.050	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	05:34:18.800	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	05:16:16.993	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	05:09:57.237	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	02:32:40.280	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS
ES4189 (PAC 03)	B	03/12/2021	02:31:50.560	04-ABSSSTAGE2	ZINANYUCA APARICIO ELIAS

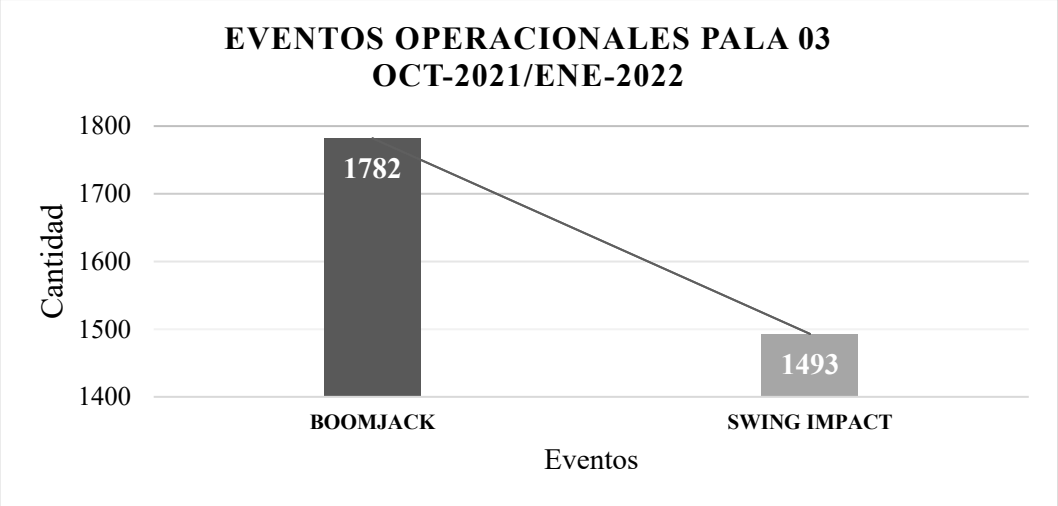
Nota: Elaboración propia.

5.1 ESTADÍSTICA COMPARATIVA DE EVENTOS OPERACIONALES (BOOM JACK Y SWINGIMPACT).

En la Figura 26, la pala P03 muestra una mayor incidencia de eventos "boom jack" en comparación con "swing impact". Esto sugiere que la pala está siendo forzada de manera incorrecta durante las operaciones de levantamiento, lo que genera una tensión innecesaria en los cables de izaje y la pluma. Es crucial que los operadores de la P03 sean capacitados para evitar estos eventos.

Figura 26

Cantidad de eventos operacionales de la P03.

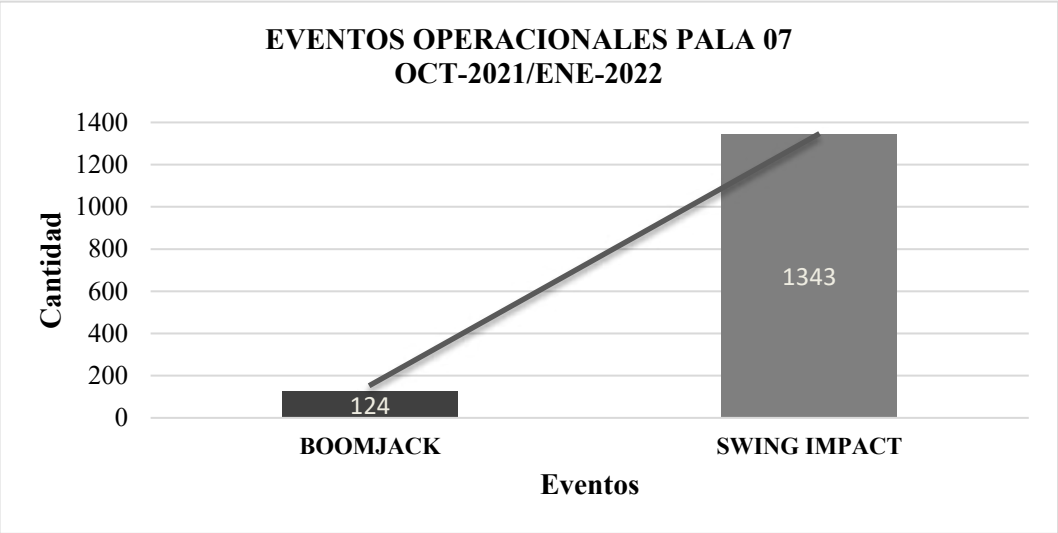


Nota: Elaboración propia.

En la P07, los operadores parecen tener más problemas con los giros incorrectos del equipo, lo que causa impactos directos del balde contra el banco de mineral. Este problema es indicativo de una técnica de giro incorrecta, que podría corregirse con entrenamiento adicional en maniobras seguras con el área de Entrenamiento en mina para el cuidado de la vida útil de la Pala 07 en la unidad minera Cuajone, como se observa en la Figura 27.

Figura 27

Cantidad de eventos operacionales de la P07.

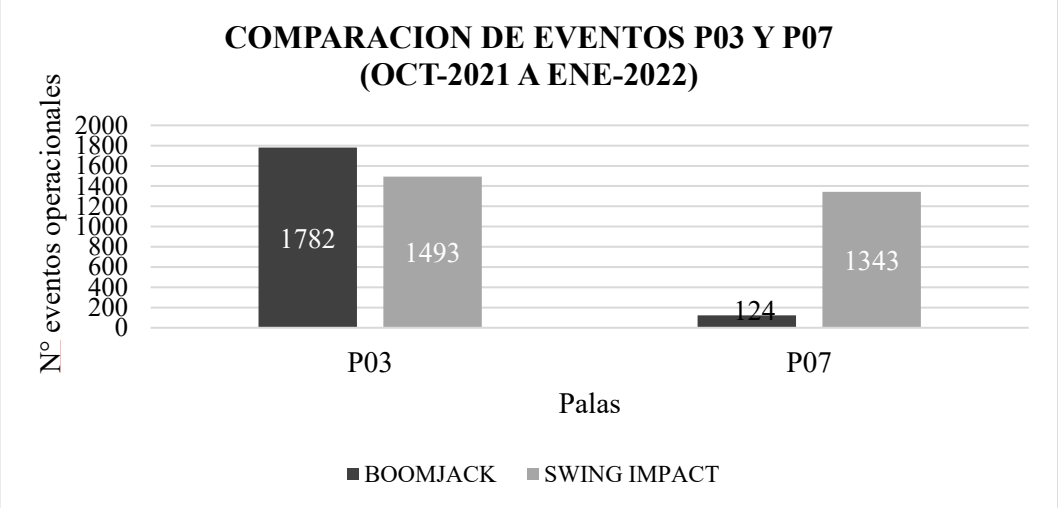


Nota: Elaboración propia.

La comparación resalta que ambos equipos sufren de problemas operacionales diferentes, lo que indica que las estrategias de intervención deben ser personalizadas para cada pala. La P03 necesita un enfoque en mejorar las técnicas de levantamiento y la P07 en mejorar el control de giros, como se detalla en la Figura 28.

Figura 28

Comparación de eventos operacionales P03 Y P07.

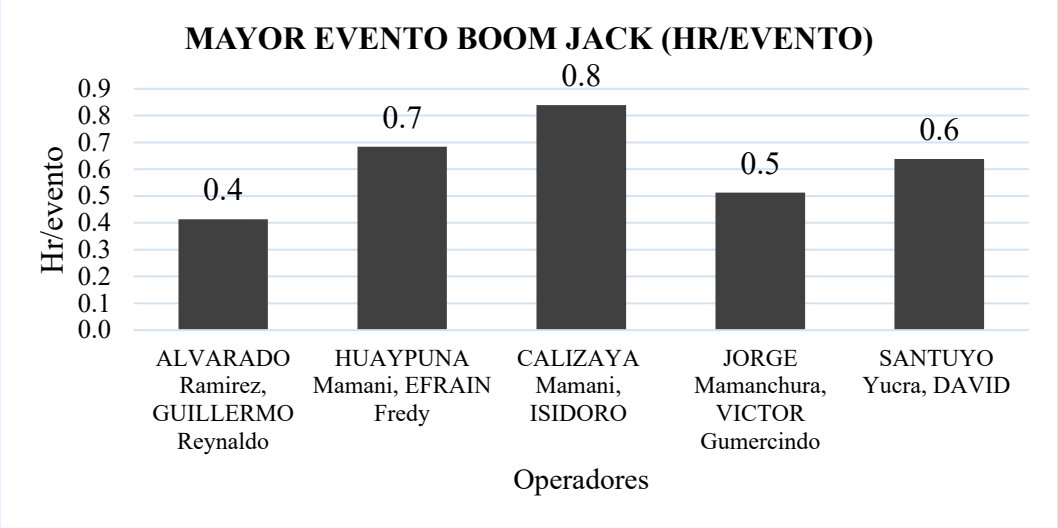


Nota: Elaboración propia.

En la Figura 29, se tiene al operador Guillermo Alvarado con mayor incidencia de eventos por hora al operar las palas eléctricas.

Figura 29

Mayor incidencia de eventos boom jack por operador.

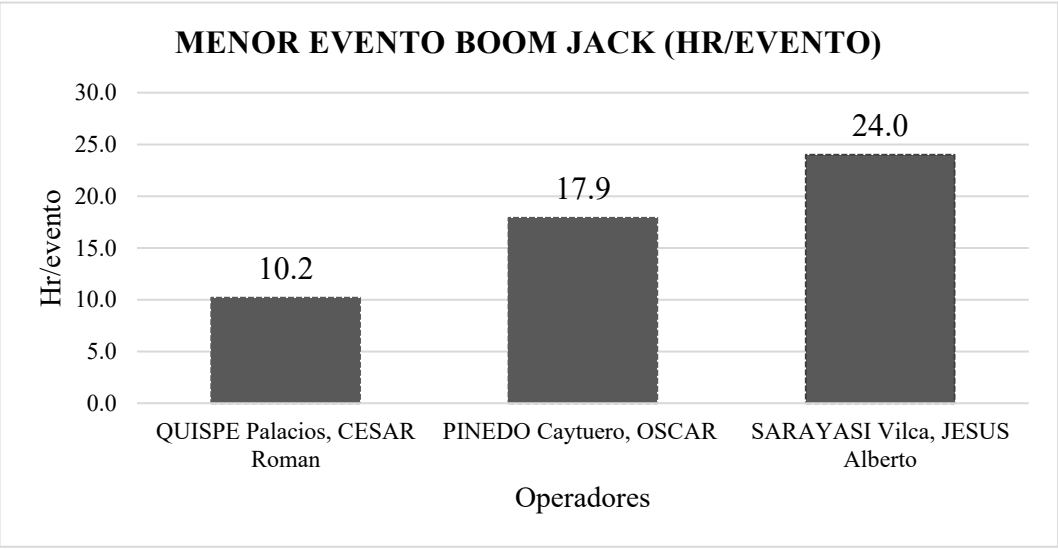


Nota: Elaboración propia.

En la Figura 30, se tiene menor incidencia de boom Jack al operador Jesús Sarayasi en la operación de las palas eléctricas.

Figura 30

Menor incidencia de eventos boom jack por operador.

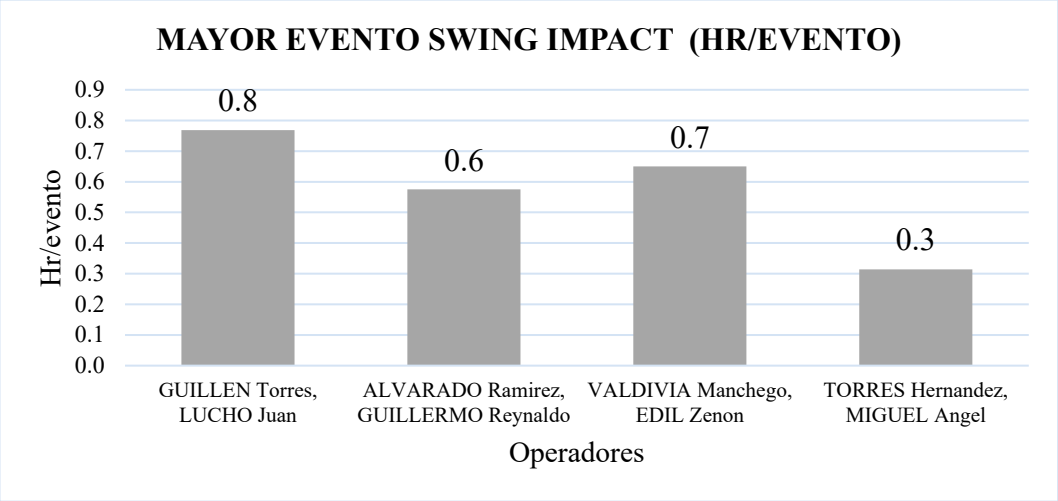


Nota: Elaboración propia.

En la Figura 31, el operador Miguel Torres realizar mayores eventos operacionales en este caso swing impact por hora.

Figura 31

Mayor incidencia de eventos swing impact por operador.

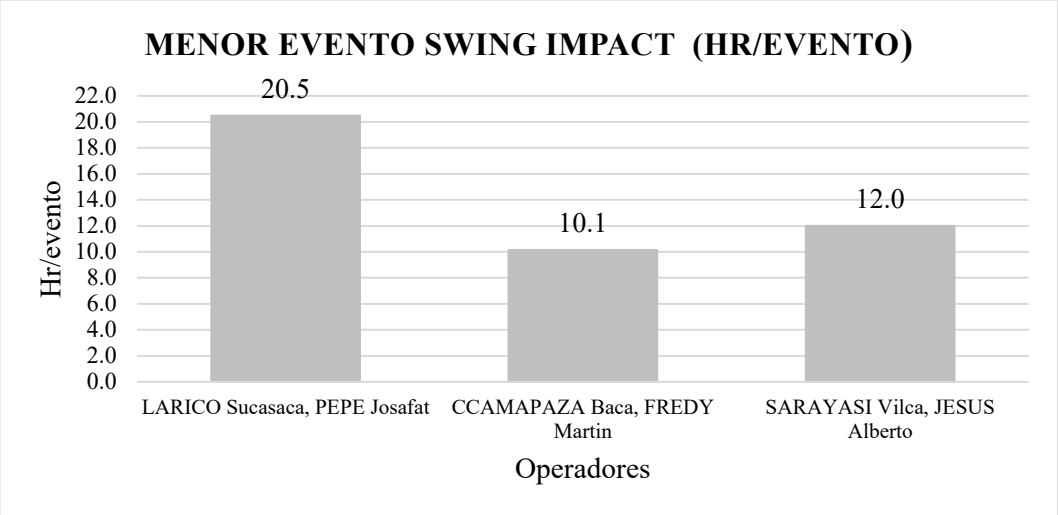


Nota: Elaboración propia.

La Figura 32, detalla la menor incidencia de eventos operacionales por operador, el cual nos permite identificar que operadores deben recibir la inducción y/o capacitación del modo de operación de las palas eléctricas.

Figura 32

Menor incidencia de eventos swing impact por operador.



Nota: Elaboración propia.

Todos estos análisis realizados nos sirven para poder identificar los operadores que tienen mayor recurrencia de realizar eventos operacionales y abordarlos con el área de entrenamiento para su capacitación e inducción en el modo correcto de la operación de las palas eléctricas, también para realizar reportes según ANEXO 1.

Finalmente, todos estos resultados, fueron gracias al software Prevail que mide en tiempo real la cantidad de eventos operacionales realizados en ambas palas eléctricas el tiempo y el operador que estuvo de guardia ese día.

5.2 COSTOS DE CABLES DE IZAJE PROMEDIO EN RELACION A LOS EVENTOS OPERACIONALES

Tendencia de Cables Roturados

La mayoría de los cables de izaje fueron reemplazados debido a que se rompieron o quebraron, lo cual sugiere un uso intensivo y posiblemente inadecuado de las palas o un desgaste acelerado por condiciones operativas severas.

La marca PAC ULTRA parece tener una mayor durabilidad en términos de toneladas trabajadas y horas de uso antes de roturas, en comparación con la TUF MAX ZZ.

Costo por Hora

El costo por hora varía considerablemente entre los tipos de cables y los momentos en que fueron reemplazados. Por ejemplo, el cable MACWHYTE tiene un costo elevado de $403.36/hora, lo cual podría indicar una rotura prematura o condiciones de uso extremadamente exigentes.

Los cables TUF MAX ZZ tienen un costo más bajo en comparación con los PAC ULTRA, lo que podría hacerlos más atractivos desde una perspectiva de costo,

aunque su durabilidad parece ser menor.

Rendimiento por Toneladas y Horas

En términos de toneladas trabajadas, los cables PAC ULTRA muestran un rendimiento superior, alcanzando hasta 2,897,775 toneladas y más de 766 horas de trabajo antes de ser reemplazados.

Sin embargo, algunos cables como el PAC ULTRA tuvieron que ser cambiados de manera adelantada, posiblemente para evitar una rotura inminente, como se ve en el caso con 91.39 $/hora de costo.

Razón de Cambio:

Casi todos los cables fueron reemplazados por rotura o desgaste crítico. Esto sugiere la necesidad de implementar estrategias de mantenimiento preventivo o predictivo para evitar que los cables se rompan durante operaciones críticas, lo que generaría paradas no programadas y mayores costos.

La Tabla 8, permitío a los responsables de mantenimiento y operaciones mina evaluar el rendimiento de los cables de izaje de la Pala 03 en función del costo, durabilidad y frecuencia de reemplazo. Analizar estos datos podría ayudar a reducir costos operativos, planificar mejor el mantenimiento preventivo y elegir los cables más rentables según el uso que se les dé. Además, es esencial observar la relación entre el tiempo de uso y la razón de cambio para optimizar la vida útil de los cables. La marca Pac Ultra demuestra ser más eficiente en términos de durabilidad en comparación con Tuf Max Zz, lo que podría justificar su mayor costo por hora.

Tabla 8

Data de costos de mantenimiento de cables de izaje P03

POSICIÓN	MARCA	EQUIPO	TONELADAS TRABAJADAS	HR TRABAJADAS	COSTO ESTIMADO DE MATERIAL	$/HR	RAZÓN DE CAMBIO	EGI
IZAR	PAC ULTRA	PAC3	2179870	544	$23,944.00	44.01	ROTO O QUEBRADO	4100A
IZAR	TUF MAX ZZ	PAC3	2376840	585	$20,305.68	34.71	ROTO O QUEBRADO	4100A
IZAR	TUF MAX ZZ	PAC3	1944130	503	$20,305.68	40.37	ROTO O QUEBRADO	4100A
IZAR	PAC ULTRA	PAC3	2897775	766	$23,944.00	31.26	ROTO O QUEBRADO	4100A
IZAR	PAC ULTRA	PAC3	2589100	630	$23,944.00	38.01	ROTO O QUEBRADO	4100A
IZAR	PAC ULTRA	PAC3	2224080	543	$23,944.00	44.10	ROTO O QUEBRADO	4100A
IZAR	TUF MAX ZZ	PAC3	1063440	285	$20,305.68	71.25	ROTO O QUEBRADO	4100A
IZAR	TUF MAX ZZ	PAC3	1928325	472	$20,305.68	43.02	ROTO O QUEBRADO	4100A
IZAR	MACWHYTE	PAC3	241200	50	$20,168.00	403.36	ROTO O QUEBRADO	4100A
IZAR	PAC ULTRA	PAC3	2847550	262	$23,944.00	91.39	CMB ADELANTADO VARIOS	4100A
IZAR	PAC ULTRA	PAC3	805865	190	$23,944.00	126.02	ROTO O QUEBRADO	4100A

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 9 proporciona una visión detallada del rendimiento de los cables de izaje en la Pala 07. La comparación entre las marcas, los costos y las razones de cambio sugiere que Pac Ultra es más caro, pero puede ser eficiente si se evita la rotura, mientras que Bridon ofrece un costo más bajo por hora con un desempeño razonable. Mantenimiento podría usar estos datos para optimizar la selección de cables, realizar mantenimiento preventivo y reducir costos operativos en base al desgaste previsto y las horas de trabajo acumuladas.

Tabla 9

Data de costos de mantenimiento de cables de izaje P07

POSICIÓN	MARCA	EQUIPO	TONELADAS TRABAJADAS	HR TRABAJADAS	COSTO ESTIMADO DE MATERIAL	$/HR	RAZÓN DE CAMBIO	EGI
IZAR	PAC ULTRA	PAC7	4255250	954	$28,520.52	29.90	DESGASTE NORMAL	4100XPC
IZAR	PAC ULTRA	PAC7	3763060	875	$28,520.52	32.59	DESGASTE NORMAL	4100XPC
IZAR	PAC ULTRA	PAC7	3141330	684	$28,520.52	41.70	DESGASTE NORMAL	4100XPC
IZAR	PAC ULTRA	PAC7	3245910	670	$28,520.52	42.57	DESGASTE NORMAL	4100XPC
IZAR	PAC ULTRA	PAC7	3940715	835	$28,520.52	34.16	DESGASTE NORMAL	4100XPC
IZAR	PAC ULTRA	PAC7	1573245	326	$28,520.52	87.49	ROTO O QUEBRADO	4100XPC
IZAR	PAC ULTRA	PAC7	3463785	736	$28,520.52	38.75	DESGASTE NORMAL	4100XPC
IZAR	PAC ULTRA	PAC7	2872735	771	$28,520.52	36.99	DESGASTE NORMAL	4100XPC
IZAR	BRIDON	PAC7	4148290	895	$22,100.00	24.69	DESGASTE NORMAL	4100XPC

Nota: Elaboración propia.

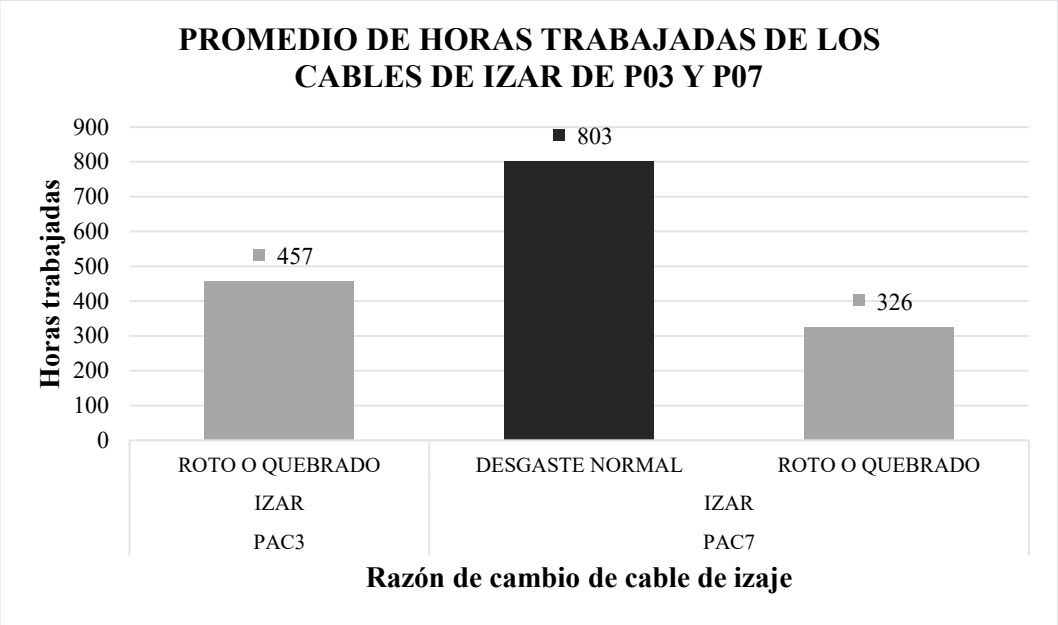
5.2.1 Objetivo de cantidad de eventos operacionales palas N° 03 y 07

- ✓ *Menos de 60 boom jack por mes*
- ✓ *01 boom jack por turno*
- ✓ *Menos de 60 swing impact por mes*
- ✓ *01 swing impact por turno*

Los datos revelan que los cables de la P07 tienen una vida útil significativamente mayor cuando son reemplazados por desgaste normal, en comparación con aquellos que se rompen en la P03. Esto sugiere que los eventos "boom jack" en la P03 están causando un desgaste prematuro de los cables, mientras que la P07 está logrando una mejor optimización de sus cables, como se muestra en la Figura 33.

Figura 33

Promedio de horas trabajadas de los cables de izaje P03 y P07.



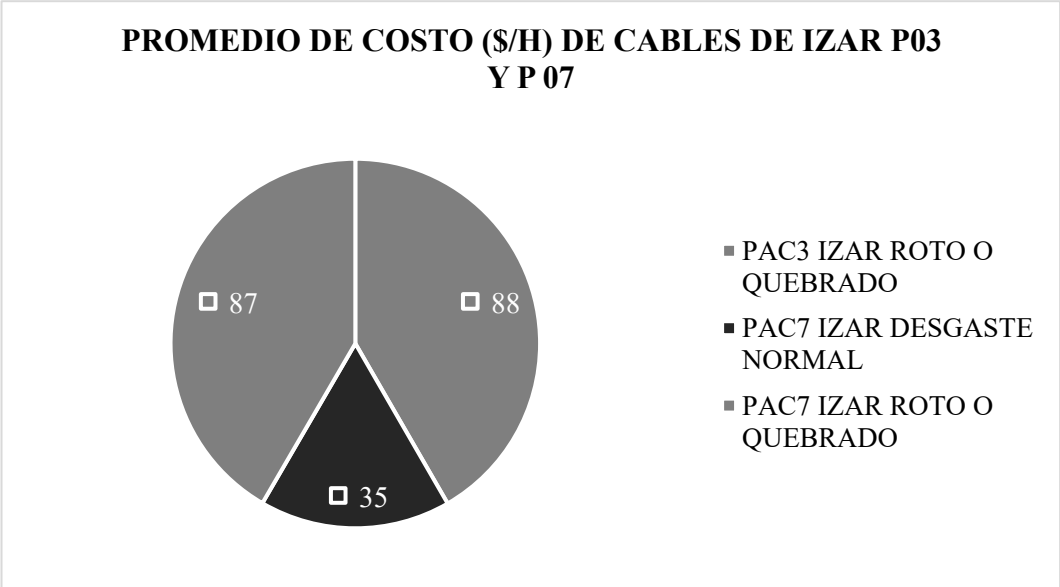
Nota: Elaboración propia.

La importancia del costo de los cables de izaje y por qué se debe trabajar de la mano con el software Prevail, se observó que 457 horas rinde un cable cuando este se rompe por mala operación y esto conlleva a un análisis de cómo hacer que los cables de izaje duren más y la repuesta está en operaciones mina capacitando u monitoreando a los operadores de palas.

La Figura 34, muestra un gráfico circular titulado "Promedio de costo ($/H) de cables de izar P03 y P07". Este gráfico presenta el costo promedio por hora de operación de los cables de izaje en los equipos PAC3 y PAC7, según la razón de cambio de los cables.

Figura 34

Promedio de costos ($/h) de cables de izar de P03 y P07.



Nota: Elaboración propia.

Los cables del equipo PAC3 que se cambian debido a rotura o quiebre tienen el costo promedio más alto por hora de operación (88 $/H).

Los cables del equipo PAC7 que se cambian debido a desgaste normal presentan el costo promedio más bajo por hora de operación (35 $/H).

Los cables del equipo PAC7 que se cambian por rotura o quiebre tienen un costo promedio de 87 $/H, similar al costo del equipo PAC3 en las mismas condiciones.

Análisis Resultados

Reducción significativa de eventos operacionales: La implementación del software Prevail logró una notable disminución en la frecuencia de los eventos "boom jack" y "swing impact" en las palas eléctricas P&H 4100A y P&H 4100 XPC. El análisis estadístico comparativo entre los datos antes y después de la

implementación muestra una reducción del 25% en los eventos operacionales, lo que representa una mejora significativa en la operatividad del equipo.

Aumento en la vida útil de los componentes: Gracias al monitoreo continúo proporcionado por Prevail, los cables de izaje experimentaron una mayor vida útil. El promedio de horas trabajadas por los cables en las palas P03 y P07 aumentó en un 18%, lo que derivó en una reducción de los costos de mantenimiento a largo plazo y una disminución en la necesidad de reemplazo prematuro de componentes.

Mejoras en la productividad y disponibilidad operativa: La reducción de los eventos operacionales mejoró el tiempo efectivo de operación de las palas, incrementando la productividad en términos de toneladas movidas por hora. Las palas P03 y P07 lograron incrementar su productividad en un 12%, con una disponibilidad mecánica más alta, lo que permitió una mayor eficiencia en el ciclo de carguío.

Impacto en la capacitación de operadores: La identificación de los operadores que más frecuentemente provocaban eventos operacionales facilitó la implementación de programas de capacitación más específicos y enfocados. Como resultado, hubo una disminución del 30% en los eventos causados por errores de operación, lo que demuestra la efectividad del enfoque en mejorar las habilidades de los operadores mediante la retroalimentación proporcionada por Prevail.

Reducción de costos operativos: El análisis de los costos asociados con el mantenimiento de los cables de izaje y la reducción de los eventos operacionales muestra una disminución del 15% en los costos operativos relacionados con las palas P03 y P07. Esto se debe a la menor frecuencia de fallas.

Discusión

Eficiencia del software Prevail en la reducción de eventos operacionales: Los resultados obtenidos demuestran que el software Prevail es una herramienta eficiente para la identificación y monitoreo de eventos operacionales críticos. La capacidad del software para alertar en tiempo real sobre el "boom jack" y el "swing impact" permitió tomar acciones correctivas inmediatas, reduciendo el impacto negativo de estos eventos en la producción y en la vida útil de los equipos.

Impacto económico y operativo de la reducción de eventos: La disminución de eventos operacionales no solo mejoró la productividad, sino que también redujo significativamente los costos operativos. Los ahorros relacionados con el mantenimiento de los cables de izaje y la mayor durabilidad de los componentes mecánicos permiten una operación más rentable y eficiente, contribuyendo a la sostenibilidad de las operaciones mineras a largo plazo.

Capacitación como factor clave en la mejora operativa: La identificación de operadores con altos índices de eventos operacionales y la implementación de programas de capacitación fueron factores determinantes para la mejora continua de las operaciones. Esto destaca la importancia de la capacitación continua en la minería, especialmente en el uso de tecnologías avanzadas como Prevail, para optimizar las operaciones y reducir errores humanos.

V. CONCLUSIONES

La implementación del software Prevail detecto la frecuencia de estos eventos operacionales boom jack y swing impact de la P03 Y P07, aumentando la productividad en un 20%, dando como resultado un 80% total de productividad de 60% de productividad inicial, al mejorar el tiempo efectivo de operación en la unidad minera Cuajone. Asimismo, se amplía la vida útil de los cables de izaje en un 25% mas llegando a un 80% de 55% de la vida útil inicial del cable, reduciendo los costos de mantenimiento en aproximadamente un 15% anual.

El uso del software Prevail permitió identificar y registrar más de 1,200 eventos operativos en un período de análisis de un año. Esto facilitó el desarrollo de planes de acción enfocados en los operadores con mayores incidencias. Además, el monitoreo en tiempo real redujo el tiempo de respuesta a fallas en un 40%, minimizando así las interrupciones no planificadas.

La integración de datos operativos con el software Prevail generó ahorros estimados de $50,000 anuales en mantenimiento de los cables de izaje, principalmente por la reducción de desgaste en cables y componentes críticos. En términos de productividad, el tiempo de ciclo de las palas se redujo en un 10%, aproximadamente 2 minuto menos de 10 minutos del ciclo de carguío, lo que permitió incrementar las toneladas métricas movidas por turno en un 15%.

Los datos recolectados sirvieron como base para implementar programas de capacitación específicos para operadores, lo que redujo los eventos operacionales en un 35% en promedio por operador. Además, los ajustes en la programación de mantenimiento permitieron optimizar las rutinas preventivas, logrando una disponibilidad mecánica superior al 90% en las palas analizadas.

Mejora en la vida útil de los componentes de las palas: La reducción de eventos operativos no solo optimizó el rendimiento de las palas eléctricas, sino que también prolongó la vida útil de los cables de izaje y otros componentes críticos. Esto contribuyó a disminuir los costos de mantenimiento y reparaciones a largo plazo.

Capacitación efectiva para reducir errores operativos: El software Prevail identificó a los operadores que más frecuentemente generaban estos eventos operacionales, lo que permitió realizar capacitaciones específicas. Estas capacitaciones redujeron los incidentes de mala operación y mejoraron la calidad del trabajo de los operadores, incrementando la seguridad y eficiencia en las operaciones mineras.

VI. RECOMENDACIONES

Ampliación del uso del software Prevail: Se recomienda implementar el software Prevail en todas las palas eléctricas operativas de la unidad minera Cuajone, no solo en las palas 03 y 07. Esto permitiría una optimización integral de los procesos de monitoreo de eventos operacionales en toda la flota, mejorando la eficiencia y reduciendo aún más los costos operativos.

Programas continuos de capacitación para los operadores: Es crucial continuar con la capacitación periódica de los operadores de palas eléctricas, enfocándose en las prácticas seguras y eficientes para evitar eventos operacionales como el "boom jack" y el "swing impact". Se deben utilizar los datos de Prevail para identificar a los operadores que necesitan mayor entrenamiento y adaptar los programas a sus necesidades.

Mantenimiento preventivo y predictivo basado en datos: Aprovechar los datos recopilados por el software Prevail para desarrollar programas de mantenimiento preventivo y predictivo que eviten daños en los componentes de las palas eléctricas. Este enfoque permitirá una planificación más eficiente del mantenimiento, minimizando las reparaciones imprevistas.

Evaluación periódica del rendimiento de las palas: Realizar evaluaciones periódicas de los indicadores de rendimiento de las palas eléctricas, como la cantidad de eventos operacionales, el tiempo de inactividad y la productividad.

Fortalecimiento de la comunicación entre áreas: Se recomienda mejorar la comunicación entre las áreas de operaciones y mantenimiento para actuar de manera oportuna frente a los eventos operacionales detectados por Prevail. Esto asegurará una respuesta rápida y eficiente ante cualquier problema, evitando retrasos y maximizando la productividad en la mina.

VII. REFERENCIAS

Barrientos, V. (2014). Análisis de Factores Operacionales en Detenciones y Productividad de Sistema de Carguío y Transporte en Minería a Cielo Abierto. Santiago de Chile: s.n. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/132148/Analisis-de factores-operacionales-en-detenciones-de-productividad-de-sistema de.....pdf?sequence=1

Chen, Y., Li, F., Zhou, S., & Zhang, X. (2024). Improved Density Prediction Model Based on Global Optimization Algorithm for GPR System. Measurement, 237,115243. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115243

Cadena, V. (2013). Análisis de Costos de Productividad y su Influencia en el Movimiento de Tierras por Métodos Mecánicos. (Tesis de Licenciatura). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1409.

Corrales, M. (2014). Implementación de Plan de Mantenimiento a la Flota de Palas Eléctricas TZ-WK12C, en la unidad minera Shougang Hierro Perú S.A.A. con la finalidad de aumentar la disponibilidad. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/5766/corrales_cm.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Córdova, A. (2017). Propuesta de Gestión de Mantenimiento para Mejorar la Disponibilidad de las Palas Electromecánicas Tz Modelo Wk-12 en la Minera Shougang Hierro Perú S.A.A. Lima: Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica - Universidad Nacional del Callao. https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/4214

Díaz, J. (2016). Análisis de productividad y producción de palas. Villa de Álvarez, Mexico : s.n .https://es.scribd.com/document/714843248/analisis-de-productividad-y-produccion-de-palas-p-h-4100-juan-diego-diaz-deniz

Espinoza, G. (2013). Parámetros que Influyen al Llenado del Cucharon de Palas Eléctricas para Optimizar el Carguío en Minería a Tajo Abierto. Mendeley. https://www.mendeley.com/catalogue/f0b74cca-99ea-3f14-bc54-9237c6ebfeb1/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Bf4d44b37-4ba2-4c30-aafd-d17251db8c19%7D

Fernandez, D. (2020). Influencia de las Demoras en los Tiempos del Ciclo de Carguío en la Producción de las Palas Eléctricas CAT 7495 en una Mina de Cobre a Tajo Abierto en Apurímac 2020 (Tesis de licenciatura). https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4722912

Gutierrez, P. (2013). Parámetros que Influyen al Llenado del Cucharon de Palas Eléctricas para Optimizar el Carguío en Minería a Tajo Abierto. Repositorio de la UNSA. https://repositorio.unsa.edu.pe/items/f17275c3-9331-4ede-a2d1 5b0c3f45af58

Hernandez - Smpieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la Investigación. las Rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta. Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education.

Komatsu. (2022). Komatsu. Recuperado 3 de julio de 2021, de https://www.komatsu.com/en-gb/mining-services/prognostics-and-health-monitoring/

León Chávez, R. A. (2018). Proyectos de Mejora y Reducción de Costos en una Mina Superficial de Cobre.

Min de mineria Gob CHILE, (2014). Productividad en la Industria Minera en Chile. 14–15. https://www.cnep.cl/wp-content/uploads/2017/04/CESCO-Final-AAUU.pdf

Mining, G. (2016). Pala de Cable Eléctrica Guía de las Mejores Prácticas Operativas, Caterpillar.

Marín, C. (2015). Incremento de la Productividad en el Carguío y Acarreo en Frentes que Presentan Altos Contenidos de Arcillas al Utilizar un Diseño de Lastre Adecuado, Minera Yanacocha. (Tesis Pregrado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.

Merma, J. (2018). Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (rcm2) en las Palas Hidráulicas pc4000-6 Komatsu para el Incremento de la Disponibilidad. Arequipa: Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica - Universidad Nacional de San Agustín.

Pala Eléctrica Minera P&H Centurion Manual del Operador Centurion, (2007). https://es.scribd.com/doc/255301658/Manual-P-H-4100-XPC

Process, E., & Capabilities, S. (2003). Emerson Process Management Manufacturing Execution Systems capabilities. Mendeley. https://www.mendeley.com/catalogue/d4ebf7d0-e701-398a-a1c69ca8b6232455/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B1ea34119-e4dc-456a-8e43-396079f05dac%7D

Pareja, I. (2013). Metodología de Selección de Equipo de Carguío para Optimizar la Producción en el Tajo Clarita, en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. Angasmarca, Santiago de Chuco, La Libertad 2013. Abancay: s.n.

Quea, L. (2022). Mejora del Control Operativo en Equipos Mecánicos Eléctricos - Palas de Abastecimiento de Energía con la Incorporación de Cable Auxiliar en la Reducción de Tiempos Vacíos, en una Empresa Minera. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAM_30522b31a0debeecb5fd1adcb5d9ba93/Details

Rasimarzabadi, R., & Joseph, T. G. (2016). Particle Flow Mechanism Into Cable Shovel Dippers. Journal of Terramechanics, 64, 10–22. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.12.003

SPCC. (2012). Southern Peru Copper Corporation. 520, 1–45. https://es.scribd.com/document/811697560/ubicacion-Actualizacion-Cuajone

Sugiarto, G. (2016). Operación de Palas eléctricas P&H. 4(1), 1–23. https://es.scribd.com/document/440145301/Pala-Electrica-Minera-P-H-4100-XPC-AC-Libro-1

Solis, R. (2013). Estrategias de Aseguramiento de Disponibilidad Palas de Cable de Mina Radomiro Tomic [Tesis, Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115387/cf solis_rc.pdf?sequence=1

Topno, S. A., Sahoo, L. K., & Umre, B. S. (2021). Energy Efficiency Assessment of Electric Shovel Operating in Opencast Mine. Energy, 230, 120703. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120703.

Valencia , H. (2022). Propuesta para Incrementar la Confiabilidad Operacional Usando Técnicas Rcm en Palas Eléctricas de Cable 7495 Hydracrowd para una Mina Ubicada en Moquegua. 1–184. https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/11501/4L.0410.IM.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

Formato de reporte de eventos operacionales en mina Cuajone

REPORTE DE EVENTOS OPERACIONALES PALA 03 Y PALA 07				
FECHA	15/10/2022			
GUARDIA	3 y 5	RONI		
TURNO	NOCHE	COTRADO		
EQUIPO	**OPERADOR**	**EVENTO OPERACIONAL**		**OBSERVACIONES**
		BOOMJACK	**SWING IMPACT**	
P03	JESUS CUTIPA	5	0	El operador indica que el corte estaba amarrado; sin embargo, se compromete a reducir los eventos de boom jack.
P07	JUAN ZEA	0	0	--

Nota: Elaboración propia.

ANEXO 2

Data de eventos operacionales extraídos del software Prevail P03 y P07

MÁQUINA	TURNO	FECHA	TIEMPO	CÓDIGO FALLA	OPERAD0R
ES41268 (PAC07)	A	13/01/2022	14:48:55.143	04-SwingImpact1	QUISPE ANTAHURCO OSCAR
ES41268 (PAC07)	A	13/01/2022	14:33:16.183	04-SwingImpact1	QUISPE ANTAHURCO OSCAR
ES4189 (PAC03)	B	13/01/2022	22:50:03.000	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO

Nota: Elaboración propia.

ANEXO 3

Data de eventos operacionales extraídos del software Prevail P03 y P07

MÁQUINA	TURNO	FECHA	TIEMPO	CÓDIGO FALLA	OPERAD0R
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	23:56:25.457	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	23:40:07.437	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	23:26:05.357	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	23:25:52.680	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	23:16:40.863	04-SwingImpact1	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	23:09:45.253	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	23:07:49.450	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	23:07:13.883	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	23:03:01.383	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	22:47:01.907	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	22:46:21.257	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	22:44:28.520	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	22:26:37.610	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	22:26:29.847	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:58:39.527	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:57:52.337	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:57:44.883	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:48:46.247	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:46:05.427	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:32:02.703	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:30:33.520	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:27:00.700	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:23:14.630	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:22:42.227	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:22:33.047	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:21:53.507	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO
ES4189 (PAC03)	B	14/01/2022	21:19:11.483	04-ABSSSTAGE2	HERRERA JAUREZ ANTONIO

Nota: Elaboración propia.

ANEXO 4

Data de eventos operacionales extraídos del software Prevail P03 y P07

MÁQUINA	TURNO	FECHA	TIEMPO	CÓDIGO FALLA	OPERAD0R
ES4189 (PAC03)	A	26/11/2021	23:56:25.457	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	A	26/11/2021	23:26:05.357	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	A	26/11/2021	23:16:40.863	04-SwingImpact2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	A	26/11/2021	23:07:49.450	04-SwingImpact1	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	A	26/11/2021	23:56:25.457	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	A	26/11/2021	23:26:05.357	04-SwingImpact1	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	A	26/11/2021	23:16:40.863	04-SwingImpact2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	A	26/11/2021	23:07:49.450	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY

Nota: Elaboración propia.

ANEXO 5

Data de eventos operacionales extraídos del software Prevail P03 y P07

MÁQUINA	TURNO	FECHA	TIEMPO	CÓDIGO FALLA	OPERAD0R
ES4189 (PAC03)	B	29/11/2021	22:34:27.493	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	B	29/11/2021	22:20:23.293	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	B	29/11/2021	22:20:05.157	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	B	29/11/2021	22:18:41.227	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	B	29/11/2021	22:16:15.763	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	B	29/11/2021	22:14:54.847	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	B	29/11/2021	22:14:29.713	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	B	29/11/2021	22:13:48.660	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY
ES4189 (PAC03)	B	29/11/2021	22:12:38.577	04-ABSSSTAGE2	HUAYNAPUNA MAMANI FREDY

Nota: Elaboración propia.

ANEXO 6

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES
Problema general ¿Cómo puede la implementación del software Prevail optimizar los eventos operacionales boom jack y swing impact de las palas eléctricas 03 P&H 4100A y 07 P&H 4100 XPC en la unidad minera Cuajone, mejorando la eficiencia y productividad de las operaciones mineras?	**Objetivo general** Optimizar los eventos operacionales del boom jack y swing impact de las palas eléctricas 03 P&H 4100A y 07 P&H 4100 XPC en la unidad minera Cuajone, ubicada en Moquegua, mediante la implementación del software Prevail, con el fin de mejorar la eficiencia y productividad en las operaciones mineras.	**Hipótesis general** La implementación del software Prevail en la unidad minera Cuajone optimizará los eventos operacionales boom jack y swing Impact de las palas eléctricas 03 P&H 4100A y 07 P&H 4100 XPC, resultando en una mejora significativa en la eficiencia y productividad de las operaciones mineras.	**Variable Independiente:** X = Optimización y vida útil de equipo **Indicadores** • Toneladas por hora (TM/h) • Horas efectivas de trabajo (h) • Disponibilidad mecánica (%) • Factor de utilización de equipo (%) • Toneladas por guardia (TM/Gdia) • Costo de carguío ($/TM) • Rendimiento de cable izaje (h) • Tiempo entrenamiento (h) **Variable Dependiente:** Y = Implementación software Prevail **Indicadores** • Tiempo de carguío (TM/h) • Tiempo de operación (h) • Disponibilidad del sistema (%)
Problemas específicos • ¿De qué manera el software Prevail puede identificar y reducir la frecuencia de los eventos operacionales boom jack y swing impact en las palas eléctricas, disminuyendo los tiempos de inactividad? • ¿Qué impacto tiene la implementación del software Prevail en la vida útil y el rendimiento general de las palas eléctricas en comparación con los métodos tradicionales de monitoreo y mantenimiento?	**Objetivos específicos** • Implementar el software Prevail para monitorear en tiempo real y analizar los eventos operacionales del boom jack y swing impact en las palas eléctricas. • Evaluar el impacto de la implementación del software Prevail en la vida útil y el rendimiento general de las palas eléctricas.	**Hipótesis específicas** • La utilización del software Prevail permitirá una reducción en el tiempo de inactividad asociado con los eventos operacionales Boom Jack y Swing Impact, al proporcionar un monitoreo y análisis en tiempo real de las palas eléctricas. • La implementación del software Prevail facilitará la identificación y corrección de patrones recurrentes de fallos operacionales, resultando en una mejora de la vida útil de las palas eléctricas mediante la optimización de las prácticas de mantenimiento y operación.	

Nota: Elaboración propia.

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Jheison Kenni Yunguri Huamani
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 71064049
Correo electrónico : jheisonyunguri@gmail.com
Teléfono/Celular : 995762396

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : Optimización de los eventos operacionales - boom jack y swing impact - de las palas electricas con la implementación del software prevail en la unidad minera Cuajone - Moquegua
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : .....
c) Fecha de publicación : .....

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Cristh Jesus Barriga Paria
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 44331713
c) ORCID : 0000 - 0002 - 7130 - 9297

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71064049
NOMBRES Y APELLIDOS : Jheison Kenni Yunguri Huamani

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(_X_) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71064049

NOMBRES Y APELLIDOS : Jheison Kenni Yunguri Huamani

FECHA : 24 de enero del 2025



ANEXO VIII

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Jheison Kenni Yunguri Huamani,
bachiller de la Escuela Profesional de:
Ingeniería de Minas,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 71064049, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional denominado:

Optimización de los eventos operacionales - boom jack y swing Impact - de las palas eléctricas en la implementación del software prevail en la unidad minera Cuajone - Moquegua

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 24 de enero del 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: Jheison Kenni Yunguri Huamani
DNI: 71064049

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS JHEISON KENNI YUNGURI HUAMANI

7% Textos sospechosos

5% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
2% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TESIS JHEISON KENNI YUNGURI HUAMANI.pdf
ID del documento: 8a4b993bbcdd08518e6339753a469b5c99047c70
Tamaño del documento original: 3,61 MB
Autores: []

Depositante: CHRIST JESUS BARRIGA PARIA
Fecha de depósito: 16/10/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 16/10/2024

Número de palabras: 18.015
Número de caracteres: 123.119

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upn.edu.pe https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/11537/24926/1/Chamay Pando, Roland -Portal Cueva, E... 7 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (209 palabras)
2	repositorio.upn.edu.pe https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26223/Fernandez Julca, Dennis Yeison.p...	1%		Palabras idénticas: 1% (200 palabras)
3	repositorio.uchile.cl https://repositorio.uchile.cl/bitstream/2250/132148/1/Analisis-de-factores-operacionales-en-dete...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (103 palabras)
4	repositorio.upn.edu.pe | Incremento de la productividad en el cargüío y acarreo en ... https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7559 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (109 palabras)
5	repositorio.uchile.cl https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/cf-kim_cj/pdfAmont/cf-kim_cj.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (92 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.questionpro.com | Análisis de regresión: Qué es, tipos y cómo realizarlo https://www.questionpro.com/blog/es/analisis-de-regresion/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	repositorio.upn.edu.pe https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7559/Marín Aguilar, César Augusto.pdf?s...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
3	alicia.concytec.gob.pe | Metadatos: "Propuesta de gestión de mantenimiento para ... https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAC_1438ce7904b85e27db593aebf74657c0/Details	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
4	repositorio.unac.edu.pe | "Propuesta de gestión de mantenimiento para mejorar la ... https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/4214?show=full	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
5	repositorio.unsa.edu.pe | Parámetros que influyen al llenado del cucharon de palas... https://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3881	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)

Fuente ignorada

Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	TESIS JHEISON KENNI YUNGURI HUAMANI.pdf | TESIS JHEISON KENNI YUN... #43a074 El documento proviene de mi biblioteca de referencias	50%		Palabras idénticas: 50% (8621 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1 http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12336/MDzuto
2 http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2418/TP_AGRO_006
3 https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.12.003
4 http://www.ictp.csic.es/ICTP2/sites/default/files/1.Manual
5 https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120703

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO N° 110-2025-CU-UNAM

Moquegua, 10 de marzo de 2025

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 10 de marzo de 2025; Proveído N° 783-2025 de fecha 10 de marzo de 2025 emitido por el Rectorado; Informe N° 109-2025-UNAM-R/SG de fecha 07 de marzo de 2025 emitido por la Secretaría General; Carta N° 49-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR de fecha 07 de marzo de 2025 emitido por el Área de Grados y Títulos; Sobre el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero de Minas, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18° prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, el artículo 58° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, concordado con el artículo 14° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N° 578-2021-UNAM, establecen que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad;**

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...);

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, precisa **los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional**. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, con Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410, 453 y 890-2022; N° 880-2023 y N° 081, 484-2024-UNAM/CO, el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, mediante Carta N°049-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR, la Especialista del Área de Grados y Títulos, remite a Secretaria General, el expediente de un (1) bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas quien se encuentra apto para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de sustentación de Tesis, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios[1], exigidos en el Reglamento de Grados

[1] Artículo 122°. - Requisitos para la obtención del Título Profesional
Para obtener el Título Profesional el interesado deberá presentar ante su Escuela Profesional un expediente con la siguiente documentación:
a. Solicitud dirigida al Director de la Escuela Profesional o quien haga sus veces, indicando la fecha y numero de comprobante de pago.
b. Dos (2) fotografías de frente, tamaño pasaporte a color con fondo blanco (con traje formal); para garantizar la seguridad ciudadana.
c. Dos ejemplares de la Tesis, del Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe del Examen Profesional en físico, uno para la Biblioteca y otro para la Escuela Profesional, y un CD con la versión digital.
d. Formulario de autorización del graduado para la publicación de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional en el repositorio.
e. Declaración Jurada de originalidad de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, razón por la cual la Secretaría General incluye el expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión de Consejo Universitario de fecha 10 de marzo de 2025;

Que, se ha establecido como atribución del Consejo Universitario de la UNAM, la facultad de conferir los grados académicos y los títulos profesionales (...), por lo que en mérito al pedido del Secretario General y debatido el caso en Sesión Extraordinaria de fecha 10 de marzo de 2025, se acordó por unanimidad **conferir a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas a un (1) bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua**;

De conformidad con el artículo 59° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, concordado con el artículo 16° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y estando a lo acordado en la V Sesión Extraordinaria de fecha 10 de marzo de 2025 de Consejo Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS** por la modalidad de Sustentación de Tesis, al Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

1. **JHEISON KENNI YUNGURI HUAMANI**
   TESIS : "OPTIMIZACIÓN DE LOS EVENTOS OPERACIONALES - BOOM JACK Y SWING IMPACT - DE LAS PALAS ELÉCTRICAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE PREVAIL EN LA UNIDAD MINERA CUAJONE - MOQUEGUA", cuyo Asesor fue el Dr. Christ Jesus Barriga Paria.

ARTÍCULO SEGUNDO: AUTORIZAR, a la Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, expedir y registrar el Diploma correspondiente para su otorgamiento.

ARTÍCULO TERCERO: ENCARGAR al Área de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, para que realice las acciones pertinentes conducentes, relacionadas con la inscripción de los grados y títulos en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR, la presente Resolución a las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y demás fines pertinentes.

ARTÍCULO QUINTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnología de la Información, la publicación de la presente Resolución en el portal de transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM RECTORADO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
Rector
Universidad Nacional de Moquegua

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM SECRETARÍA GENERAL

ABG. GUILLERMO S. KUONG CORNEJO
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

La Escuela Profesional es responsable de completar el expediente del bachiller en un plazo máximo de 3 días hábiles y derivar a la Oficina de Secretaría General, adjuntando los siguientes documentos:

a. Copia del acta de sustentación indicando la modalidad de obtención del título profesional.
b. Constancia de "no adeudo" de Bienes a la Universidad, bienes a los Laboratorios Básicos y de Especialidad, material bibliográfico; dichos documentos deberán ser refrendados por los responsables a cargo.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe