

Universidad Católica de Santa María
Escuela de Posgrado
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento



**Análisis y propuesta de mejora del desempeño de las fajas transportadoras
de molienda en una unidad minera de Moquegua, 2024**

Tesis presentada por el Bachiller:

Begazo Valdez, Mauricio Leandro

ORCID: 0009-0007-3097-0090

Para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento

Asesor:

Dr. Collado Oporto, Christiam Guillermo

ORCID: 0000-0002-0529-738X

Arequipa – Perú

2025

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA DE POSTGRADO
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 29 de Abril del 2025

Dictamen: 013022-C-EPG-2025

Visto el borrador del expediente 013022, presentado por:

2023003351 - BEGAZO VALDEZ MAURICIO LEANDRO

Titulado:

**ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL DESEMPEÑO DE LAS FAJAS TRANSPORTADORAS DE
MOLIENDA EN UNA UNIDAD MINERA DE MOQUEGUA, 2024.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29388008 - TICSE VILLANUEVA EDWING JESUS
DICTAMINADOR**



**29278441 - PACHECO OVIEDO ABRAHAM ARTURO
DICTAMINADOR**



**29440909 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR**



Análisis y propuesta de mejora del desempeño de las fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	12%	7%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.coursehero.com	2%
	Fuente de Internet	
2	ouci.dntb.gov.ua	1%
	Fuente de Internet	
3	iieta.org	<1%
	Fuente de Internet	
4	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	<1%
	Trabajo del estudiante	
5	Submitted to University of Huddersfield	<1%
	Trabajo del estudiante	
6	Submitted to Central Queensland University	<1%
	Trabajo del estudiante	
7	repositorio.uct.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.continental.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
9	www.mdpi.com	<1%
	Fuente de Internet	
10	repositorio.bausate.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
11	issuu.com	<1%
	Fuente de Internet	
12	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
13	repository.kaust.edu.sa	<1%
	Fuente de Internet	
14	repositorio.unap.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de mi vida académica. Su aliento y confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar este logro.

A mi hijo, por ser mi fuente constante de inspiración y alegría. Tu sonrisa y amor han sido mi mayor motivación para alcanzar este logro. Espero que este esfuerzo te muestre el valor de la perseverancia y la dedicación.

A mi esposa, por su comprensión y apoyo durante las largas noches de estudio y el proceso de investigación. Tu paciencia y ánimo han sido mi mayor fortaleza.

A mi tutor, por su guía experta y valiosos consejos durante todo el desarrollo de esta tesis. Su apoyo ha sido crucial para completar este proyecto.

A mis amigos y colegas, por sus palabras de aliento y apoyo constante. Gracias por estar siempre allí y por compartir este viaje académico.

Con sincero agradecimiento,

Mauricio Begazo Valdez.

EPÍGRAFE

La innovación es el motor para optimizar procesos y garantizar la sostenibilidad en las operaciones industriales.

Peter Drucker



RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la propuesta de mejora del desempeño de las fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua, 2024. La metodología empleada es de tipo aplicada, nivel descriptivo, método hipotético deductivo, enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de corte transversal, debido a que se estudian variables que ya están presentes en el contexto sin manipulación. La población y muestra del estudio está compuesta por 20 fajas transportadoras de molienda de la unidad minera. Los resultados obtenidos mostraron que las principales causas de desgaste de las fajas transportadoras están relacionadas con la fricción excesiva (70%) y las condiciones operativas inadecuadas (65%), lo que incrementa los costos de mantenimiento en un 25%. Se identificaron beneficios significativos al implementar camas de impacto, que lograron reducir las fallas en un 30% y extender la vida útil de los equipos en un 20%. Además, la mejora de los planes de mantenimiento preventivo contribuyó a la reducción de costos de intervención en un 18% y aumentó la eficiencia operativa de las fajas en un 15%. En conclusión, la implementación de mejoras en el desempeño de las fajas transportadoras de molienda redujo en un 30% las fallas operativas y en un 18% los costos de mantenimiento, mientras que extendió la vida útil de los equipos en un 20%. Esto generó una mejora del 15% en la eficiencia operativa, confirmando que las acciones implementadas optimizaron significativamente los costos operativos y aumentaron la eficiencia global de la unidad minera.

Palabra clave: Mantenimiento predictivo, desempeño operativo, fajas transportadoras.

ABSTRACT

This study aims to analyse the proposal for improving the performance of Grinding Conveyor Belts in a mining unit in Moquegua, 2024. The methodology used is applied, descriptive level, hypothetical-deductive method, quantitative approach, with a non-experimental cross-sectional design, as the variables under study are already present in the context without manipulation. The population and sample of the study consist of 20 grinding conveyor belts from the mining unit. The results showed that the main causes of wear on the conveyor belts were excessive friction (70%) and inadequate operational conditions (65%), which increased maintenance costs by 25%. Significant benefits were identified from implementing impact beds, which reduced failures by 30% and extended the equipment's lifespan by 20%. Additionally, the improvement of preventive maintenance plans contributed to an 18% reduction in intervention costs and a 15% increase in conveyor belt operational efficiency. In conclusion, the implementation of performance improvements in the grinding conveyor belts reduced operational failures by 30% and maintenance costs by 18%, while extending equipment lifespan by 20%. This resulted in a 15% improvement in operational efficiency, confirming that the implemented actions significantly optimised operational costs and increased the overall efficiency of the mining unit.

Keywords: Predictive maintenance, operational performance, conveyor belts.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
EPÍGRAFE	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Identificación Del Problema y Oportunidad	1
1.1.1. Descripción Del Problema	2
1.1.2. Justificación.....	4
1.2. Hipótesis.....	5
1.2.1. Hipótesis general.....	5
1.2.2. Hipótesis específicas.....	5
1.3. Objetivos del estudio.....	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivo específico.....	6
1.4. Variable.....	6
1.4.1. Variable Independiente del Estudio	7
1.4.2. Variables Dependientes.....	7
1.4.3. Indicadores	7
1.4.4. Operacionalización de Variables.....	8
1.5. Método.....	9
1.6. Alcance.....	9
1.7. Limitaciones	10
CAPÍTULO II	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la Investigación	11
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Fajas transportadoras.....	15
2.2.1.1. Mantenimiento preventivo.....	16
2.2.1.1.1. Actividades preventivas mensuales realizadas.....	17
2.2.1.1.2. Reducción del tiempo de inactividad.....	17

2.2.1.1.3. Fallas detectadas preventivamente.....	18
2.2.1.2. Camas de impacto.....	18
2.2.1.2.1. Reducción del daño por impacto.....	19
2.2.1.2.2. Roturas tras implementación.....	19
2.2.1.2.3. Incremento en vida útil.....	20
2.2.2. Reducción de Fallas	21
2.2.2.1. Desgaste y Deformación.....	21
2.2.2.1.1. Superficie Desgastada.....	22
2.2.2.1.2. Frecuencia de Deformaciones Detectadas.....	23
2.2.2.1.3. Vida Útil Promedio.....	23
2.2.2.2. Deslizamiento de Empalmes.....	24
2.2.2.2.1. Incidentes de Deslizamiento Mensuales.....	25
2.2.2.2.2. Resistencia Mecánica de Empalmes.....	25
2.2.2.2.3. Tiempo de Reparación por Deslizamientos.....	26
2.2.3. Eficiencia en operaciones.....	26
2.2.3.1. Productividad Operativa.....	27
2.2.3.1.1. Volumen Transportado sin Interrupciones.....	28
2.2.3.1.2. Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF).....	28
2.2.3.1.3. Cumplimiento de Metas Productivas.....	29
2.2.4. Disminución de Costos.....	30
2.2.4.1. Costo Beneficio.....	31
2.2.4.1.1. Relación Costo-Beneficio Implementado.....	31
2.2.4.1.2. Ahorro en Costos Operativos	31
2.3. Normativa legal.....	32
2.3.1. Ley General de Minería (Ley N° 28804)	32
2.3.2. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en Minería (D.S. N° 024-2016-EM).....	32
2.3.3. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (Ley N° 28611)	33
2.3.4. Reglamento de Inspecciones Técnicas de Maquinaria (D.S. N° 024-2016-EM).....	33
2.3.5. Ley N° 29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo	33
2.3.6. Reglamento de Protección de la Salud en el Trabajo (D.S. N° 005-2012-TR).....	34
2.4. Definición de términos básicos	34
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	36
3.1. Tipo de investigación	36

3.1.1. Nivel de Investigación.....	36
3.1.2. Enfoque de Investigación.....	36
3.2. Métodos de investigación.....	36
3.3. Diseño de investigación	37
3.4. Población, muestra y muestreo.....	37
3.4.1. Población.....	37
3.4.2. Muestra.....	38
3.4.3. Muestreo.....	38
3.5. Técnicas e instrumentos de recojo de datos	38
3.5.1. Técnicas.....	38
3.5.2. Instrumento.....	38
3.5.3. Justificación técnica de los instrumentos utilizados.....	39
3.6. Técnicas de procedimiento y análisis de datos.....	40
CAPITULO IV	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1. Resultados	42
4.1.1. Descripción de las Fajas Transportadoras.....	42
4.1.2. Resultados para el Objetivo Específico 1	43
4.1.3. Resultados para el Objetivo Específico 2.....	48
4.1.4. Resultados para el Objetivo Específico 3.....	70
4.1.4.1. Condiciones Operativas Adversas.....	70
4.1.4.2. Problemas de Alineación y Tensión.....	71
4.1.4.3. Condiciones Ambientales Desfavorables.....	73
4.1.4.4. Calidad de Materiales y Componentes.....	74
4.1.5. Resultados para el objetivo específico 4	76
4.1.5.1. Alertas y criterios de evaluación	83
4.1.5.2. Planificar y coordinar las inspecciones en campo.....	84
4.1.6. Resultados para el objetivo específico 5	87
4.1.6.1. Análisis de Costos	87
4.2. Discusión.....	91
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de las variables</i>	8
Tabla 2 <i>Fajas transportadoras de Molienda</i>	37
Tabla 3 <i>Características de las fajas transportadoras de molienda</i>	42
Tabla 4 <i>Inspecciones de Faja en Molienda</i>	44
Tabla 5 <i>Herramientas</i>	45
Tabla 6 <i>Materiales</i>	46
Tabla 7 <i>Resumen descripción de los costos</i>	46
Tabla 8 <i>Registro de atenciones correctivas a equipos</i>	48
Tabla 9 <i>Resumen de condiciones y registro- marzo</i>	53
Tabla 10 <i>Resumen de condiciones y riesgos - abril</i>	55
Tabla 11 <i>Resumen de condiciones y riesgos - mayo</i>	57
Tabla 12 <i>Resumen de condiciones y riesgos - junio</i>	60
Tabla 13 <i>Resumen de condiciones y riesgos - julio</i>	63
Tabla 14 <i>Resumen de condiciones y riesgos por área - agosto</i>	65
Tabla 15 <i>Generación de avisos</i>	68
Tabla 16 <i>Factores y soluciones en fajas transportadoras</i>	75
Tabla 17 <i>Tabla de atenciones correctivas a equipos</i>	77
Tabla 18 <i>Tipos de Riesgo.</i>	83
Tabla 19 <i>Tipos de aviso.</i>	84
Tabla 20 <i>Comparación de Avisos Generados y Planeados para Fajas Transportadoras</i>	85
Tabla 21 <i>Mejoras en las camas de impacto</i>	89
Tabla 22 <i>Mantenimiento preventivo y predictivo de camas de impacto</i>	90
Tabla 23 <i>Impacto del mantenimiento optimizado en la confiabilidad</i>	91

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 <i>Diagrama de Pareto de las principales causas de deterioro en las fajas transportadoras de molienda</i>	47
Figura 2 <i>Generación de avisos</i>	69
Figura 3 <i>Caída de material abrasivo</i>	70
Figura 4 <i>Daño encontrados por desgarre</i>	71
Figura 5 <i>Mala alineación</i>	72
Figura 6 <i>Faja Tensionada</i>	72
Figura 7 <i>Acumulación de material</i>	73
Figura 8 <i>Faldera desgastada</i>	74
Figura 9 <i>Comparación de Avisos Generados y Planeados para Fajas Transportadoras</i>	86
Figura 10 <i>Cama de impacto</i>	87
Figura 11 <i>Instalación de camas de impacto</i>	88
Figura 12 <i>Cama de impacto operativa</i>	88



INTRODUCCIÓN

Las fajas transportadoras de molienda constituyen un componente crítico en las operaciones mineras, ya que facilitan el traslado continuo y eficiente de materiales hacia las etapas posteriores del proceso de producción. En la unidad minera de Moquegua, estas infraestructuras son esenciales para garantizar el cumplimiento de los objetivos productivos, asegurando la sostenibilidad de las actividades mineras. Este estudio se enfoca en analizar y proponer mejoras en el desempeño de estas fajas transportadoras, considerando sus condiciones operativas actuales y las estrategias técnicas necesarias para optimizar su funcionamiento en el año 2024.

La presente investigación adquiere una importancia significativa debido al impacto que las fajas transportadoras de molienda tienen en las operaciones mineras y su papel esencial en garantizar la continuidad y eficiencia de la producción. Estas infraestructuras no solo representan un elemento crítico en el transporte de materiales, sino que también son un indicador clave de la productividad y sostenibilidad operativa de una unidad minera. En este contexto, abordar los problemas relacionados con su desgaste, fallos recurrentes y mantenimiento insuficiente es fundamental para asegurar el éxito de las actividades mineras.

El Capítulo I: Problema de Investigación aborda de manera integral la problemática central del estudio, comenzando con la identificación del problema y oportunidad, donde se describen las limitaciones operativas de las fajas transportadoras de molienda y se resaltan las oportunidades de mejora en su desempeño. La descripción del problema detalla las causas específicas de los fallos, mientras que la justificación destaca la importancia técnica y económica del estudio para las operaciones mineras. En la sección de hipótesis, se plantean tanto la general como las específicas, orientando la investigación hacia la validación de propuestas concretas. Los objetivos del estudio, divididos en general y específicos, definen las metas del análisis, como la identificación de causas de desgaste, evaluación de tecnologías y diseño de planes de mantenimiento. Además, se establece la variable principal, desglosada en dimensiones e indicadores en un cuadro de variables, que asegura un enfoque estructurado para su medición. Finalmente, se describe el método de investigación, garantizando un análisis riguroso y confiable que respalde las conclusiones y recomendaciones del trabajo. Este capítulo sienta las bases conceptuales y metodológicas para desarrollar el estudio de manera sólida y efectiva.

El Capítulo II: Marco Teórico está diseñado para proporcionar el sustento conceptual y contextual que respalda la investigación. Comienza con los antecedentes de la investigación, donde se presentan estudios previos relacionados con las fajas transportadoras y su impacto en la productividad minera, analizando enfoques, resultados y vacíos de conocimiento que justifican la importancia del presente trabajo. Seguidamente, en las bases teóricas, se abordan los conceptos clave y teorías fundamentales que explican el desempeño, mantenimiento y mejoramiento de las fajas transportadoras de molienda, incorporando aspectos técnicos y operativos específicos de la industria minera. La sección de normativa legal analiza las leyes, reglamentos y estándares técnicos aplicables al sector minero, con un enfoque particular en las regulaciones relacionadas con los sistemas de transporte de materiales y los requisitos de seguridad laboral. Asimismo, la definición de términos básicos ofrece claridad conceptual sobre los principales términos técnicos y operativos empleados a lo largo de la investigación, garantizando una comprensión precisa y uniforme de los aspectos tratados. Este capítulo constituye una base sólida para contextualizar y sustentar las propuestas y resultados del estudio.

El Capítulo III aborda los aspectos metodológicos que sustentan la investigación, enfocándose en un análisis riguroso para alcanzar los objetivos propuestos. Clasificada como aplicada, la investigación busca proponer mejoras concretas en el desempeño de las fajas transportadoras de molienda en la unidad minera de Moquegua. Se emplea el método hipotético-deductivo, que parte de hipótesis para someterlas a prueba mediante el análisis de datos. El diseño es transversal y no experimental, recolectando información en un único momento, sin manipular variables. La población y muestra incluye las 20 fajas transportadoras de la unidad minera, asegurando un análisis exhaustivo. Las técnicas e instrumentos comprenden observación directa, análisis de registros históricos, inspección de desgaste, pruebas de tensión y evaluación del impacto de las camas de transferencia, utilizando herramientas como calibradores, dinamómetros y software especializado. Para el procesamiento y análisis de datos, se emplearán programas como Microsoft Excel y SPSS o Minitab, aplicando estadística descriptiva e inferencial. Esto permitirá evaluar indicadores clave, como el porcentaje de desgaste y el costo-beneficio, para validar las hipótesis y plantear estrategias de mejora efectivas.

El Capítulo IV: Resultados y Discusión presenta los hallazgos obtenidos a partir de la aplicación de las técnicas e instrumentos de recolección de datos, así como su análisis e interpretación. En esta sección, se exponen de manera clara y detallada los resultados relacionados con los indicadores clave, como el desempeño de las fajas transportadoras, las

causas principales de desgaste, el impacto de los empalmes y la efectividad de las camas de impacto. Estos resultados son comparados con antecedentes y teorías relevantes, discutiendo su congruencia con las hipótesis planteadas y las implicaciones prácticas para la mejora del sistema de transporte en la unidad minera.

La discusión se enfoca en interpretar los datos obtenidos en función de los objetivos de la investigación, proporcionando un análisis crítico que permita evaluar la viabilidad y efectividad de las estrategias propuestas. Además, se destacan las contribuciones del estudio al conocimiento técnico y operativo de las fajas transportadoras en el contexto minero, señalando las posibles limitaciones y áreas para futuras investigaciones. Este capítulo sintetiza la relación entre los resultados obtenidos y la propuesta de mejora, estableciendo una base sólida para las conclusiones y recomendaciones finales.

En las conclusiones, se sintetizan los hallazgos más relevantes obtenidos durante la investigación, alineándolos con los objetivos y las hipótesis planteadas. Este apartado destaca cómo los resultados validan o refutan las hipótesis, subrayando la importancia de las mejoras propuestas en el desempeño de las fajas transportadoras de molienda. Además, se proporciona una visión general del impacto que las estrategias implementadas tienen sobre la productividad y la sostenibilidad operativa de la unidad minera.

Las recomendaciones ofrecen una serie de acciones concretas basadas en los resultados obtenidos. Estas están orientadas a la implementación efectiva de las propuestas de mejora, como el uso de tecnologías específicas, ajustes en los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, y la capacitación del personal técnico. También se incluyen sugerencias para futuras investigaciones, especialmente en áreas relacionadas con el uso de nuevas tecnologías y el análisis de materiales más resistentes.

Finalmente, las referencias bibliográficas reúnen todas las fuentes consultadas, siguiendo un formato normativo, garantizando la transparencia y la validez académica del trabajo. Este apartado proporciona a los lectores la posibilidad de profundizar en los temas tratados y refuerza la credibilidad de la investigación.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación Del Problema y Oportunidad

El sector minero constituye una de las principales actividades económicas, siendo esencial para el desarrollo industrial y la competitividad. En este contexto, las fajas transportadoras de molienda desempeñan un rol clave en las operaciones mineras, ya que aseguran el transporte eficiente y continuo de materiales hacia las etapas posteriores del procesamiento. No obstante, estas fajas están expuestas a condiciones operativas extremas, como el manejo de materiales abrasivos, impactos repetitivos y esfuerzos mecánicos intensos, lo que incrementa el riesgo de fallos mecánicos, deformaciones y desgaste prematuro (Akin et al., 2022). Este problema no solo afecta la operatividad de las fajas, sino que genera altos costos en reparaciones, interrupciones en la producción y pérdidas económicas significativas para la unidad minera (Duncan, 2023).

Las fajas transportadoras de molienda en la unidad minera de Moquegua no están exentas de esta problemática, ya que enfrentan un desgaste acelerado ocasionado por la exposición continua a materiales altamente abrasivos y los impactos repetitivos generados por la caída de cargas pesadas (Sha y Diao, 2023). Estas condiciones provocan deformaciones estructurales y fallos mecánicos que afectan directamente la continuidad operativa del sistema de transporte. Como resultado, se generan interrupciones en la producción, pérdidas económicas y un incremento en los costos de mantenimiento correctivo (Bałaga et al., 2023).

Otro problema recurrente es el deslizamiento de los empalmes en las fajas transportadoras, considerado uno de los puntos más críticos en su operatividad. Estos deslizamientos, causados por técnicas inadecuadas de empalme, materiales de baja calidad y falta de inspecciones regulares, incrementan la probabilidad de roturas. Este tipo de fallas afecta negativamente el rendimiento del sistema, generando tiempos muertos que comprometen la productividad general de la unidad minera (Xue y Zeng, 2023).

Asimismo, las estrategias actuales de mantenimiento presentan limitaciones en su capacidad para prever fallas (Marasova et al., 2022). La carencia de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo bien estructurado dificulta la identificación temprana de posibles defectos, lo que conlleva reparaciones tardías y costosas. Esta situación incrementa la vulnerabilidad del sistema y limita su eficiencia operativa (Qiao et al., 2022).

Un aspecto adicional que agrava el problema es la falta de implementación de tecnologías como las camas de impacto en los puntos críticos de carga. La ausencia de estos sistemas incrementa el deterioro de las fajas debido a la acumulación de tensiones y daños por impacto, lo que reduce considerablemente su vida útil. Esta deficiencia técnica limita la capacidad de la unidad minera para mitigar los efectos negativos de las condiciones adversas, generando un ciclo constante de desgaste y reparación (Solomon et al., 2023).

Además, los empalmes, que constituyen zonas vulnerables en las fajas transportadoras, suelen presentar fallas recurrentes. Estas incidencias pueden atribuirse a deficiencias en el diseño, técnicas inadecuadas de empalme y falta de un mantenimiento eficiente. Estas fallas impactan directamente en la productividad operativa, afectando los tiempos de procesamiento y el cumplimiento de metas productivas (Yang et al., 2023).

Por otro lado, las camas de impacto han sido reconocidas como una tecnología efectiva para mitigar los daños causados por la caída de materiales pesados en las fajas. Sin embargo, su aplicación no ha sido ampliamente adoptada debido a la falta de estudios que demuestren su rentabilidad en condiciones operativas reales. Esto representa una oportunidad para evaluar cómo estas soluciones pueden mejorar el desempeño del sistema de transporte, optimizando la vida útil de los componentes y reduciendo los costos asociados a paradas no planificadas (Zhou, Gong et al., 2022).

En este contexto, la falta de planes de mantenimiento adecuados resalta una oportunidad importante de mejora. La adopción de un enfoque sistemático, basado en datos, para la detección temprana de fallas permitiría reducir sustancialmente los impactos negativos, garantizando la continuidad operativa y elevando la productividad del sistema (Yang et al., 2023). Por tanto, esta investigación aborda dichos desafíos mediante un análisis integral del desempeño de las fajas transportadoras de molienda, identificando las principales causas de los problemas y proponiendo soluciones técnicas (Milewski y Madej, 2022). Esto contribuirá al fortalecimiento del desarrollo operativo en la unidad minera y servirá como referencia para la optimización de equipos críticos en el sector minero.

1.1.1. Descripción Del Problema

La unidad minera ubicada en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, es una entidad privada dedicada a la producción de cobre que promueve el desarrollo integral y sostenido de la región, fortaleciendo el diálogo entre las autoridades, la empresa y la sociedad. Asimismo, genera oportunidades de empleo, impulsa el progreso y contribuye a mejorar la calidad de vida de la población.

En esta unidad minera, el proceso de acarreo de material se realiza mediante fajas transportadoras, las cuales son esenciales para garantizar un traslado eficiente de materiales desde su punto de origen hacia las siguientes etapas del proceso productivo. No obstante, uno de los principales problemas identificados es que los empalmes de estas fajas, componentes fundamentales para su correcto funcionamiento, no han sido diseñados ni seleccionados considerando las características específicas del material transportado. Esto genera una serie de inconvenientes operativos que afectan la continuidad y eficiencia del proceso de producción.

Los empalmes presentan daños prematuros debido a un diseño y materiales inadecuados frente a las condiciones reales de operación, lo cual genera preocupación y desconfianza en el personal de mantenimiento mecánico. Esta situación incrementa el riesgo de fallas inesperadas que provocan paradas no programadas en la operación, con el consiguiente impacto negativo en la producción. Además, las condiciones de trabajo de las fajas transportadoras, junto con el tipo de equipo y materiales utilizados, no cumplen con los parámetros técnicos óptimos, lo que conlleva a un desgaste acelerado y, eventualmente, a roturas completas que afectan no solo el sistema de transporte, sino también estructuras cercanas y equipos de instrumentación.

Un problema crítico adicional es el manejo inadecuado de la caída de materiales desde el stock pile o desde los chutes de transferencia. Estas condiciones generan impactos directos sobre los empalmes, provocando desgaste excesivo, derrames y contaminación del área de trabajo. Estos eventos disminuyen la eficiencia del sistema y elevan los costos de mantenimiento correctivo, generando preocupación tanto en el personal técnico como en la gestión de la unidad, quienes buscan soluciones viables para mitigar estos efectos.

Se ha evidenciado también que las fajas transportadoras utilizadas actualmente no son las más adecuadas para las condiciones específicas de operación de esta unidad minera. Esta situación ha motivado la búsqueda de alternativas más confiables, ofrecidas por marcas reconocidas que desarrollan productos para ambientes exigentes. Sin embargo, estas mejoras no han sido suficientes, ya que los empalmes continúan siendo el punto más vulnerable del sistema.

A partir de esta problemática, surge la necesidad de realizar una investigación que permita identificar las principales causas de los daños en los empalmes y evaluar su desempeño conjunto con las fajas transportadoras de molienda. Este análisis resulta esencial para preservar la integridad de los componentes críticos del sistema, garantizar la continuidad operativa, reducir la carga operativa del personal de mantenimiento mecánico y alcanzar un rendimiento óptimo en el transporte de material. De este modo, el problema general es: ¿Cuál es la propuesta de mejora del desempeño de las fajas transportadoras de molienda, enfocándose en la

optimización del desempeño operativo, la reducción de fallas recurrentes y la mejora en la eficiencia operativa, así como en la disminución de los costos de mantenimiento en una unidad minera de Moquegua, 2024?.

1.1.2. Justificación

La investigación desarrollada ha permitido analizar y comprender las relaciones entre las variables clave, particularmente las causas subyacentes de los daños en los empalmes de las fajas transportadoras de molienda. Los estudios previos sobre estas variables sirvieron como fundamento para identificar que la principal causa de estos daños radica en la fricción excesiva y las condiciones operativas inadecuadas. Los resultados obtenidos proporcionan un conocimiento valioso que contribuye al desarrollo de futuras investigaciones, al mismo tiempo que se establece un marco teórico sobre el impacto de estas causas en el rendimiento de las fajas transportadoras.

El estudio ha sido esencial para la unidad minera, ya que permitió reconocer las causas de los daños en los empalmes de las fajas transportadoras y el impacto directo que estos tienen en su desempeño. Los hallazgos fueron compartidos con todo el personal involucrado, lo que facilitó la implementación de medidas correctivas y preventivas. Estas acciones no solo han mejorado la eficiencia operativa, sino que también han optimizado los costos asociados al mantenimiento de los equipos, reduciendo significativamente los tiempos de inactividad.

La implementación de medidas basadas en la identificación de las causas de los daños en los empalmes ha tenido un impacto positivo en las condiciones laborales dentro de la unidad minera. Al mejorar la seguridad en el área de trabajo, se ha logrado reducir el riesgo de accidentes laborales y, por ende, aumentar la satisfacción de los trabajadores. Esto ha mejorado su calidad de vida, al reducir la fatiga y el estrés asociados con las operaciones, creando un entorno de trabajo más saludable.

Este estudio también ha sido valioso desde una perspectiva metodológica, pues ha proporcionado un marco para futuras investigaciones sobre las fajas transportadoras y su desempeño. Se utilizaron métodos e instrumentos válidos y confiables, los cuales fueron validados por expertos, lo que asegura la solidez de la metodología y puede servir de guía para otros estudios relacionados con el mismo campo.

1.2. Hipótesis

1.2.1. *Hipótesis general.*

Hi: El análisis de la propuesta de mejora en las fajas transportadoras de molienda optimizará el desempeño operativo y reducirá las fallas recurrentes, contribuyendo a una mayor eficiencia en la operación y a una disminución progresiva de los costos de mantenimiento en una unidad minera de Moquegua, 2024.

Ho: El análisis de la propuesta de mejora en las fajas transportadoras de molienda no optimizará el desempeño operativo ni reducirá las fallas recurrentes, ni contribuirá a una mayor eficiencia en la operación ni a una disminución progresiva de los costos de mantenimiento en una unidad minera de Moquegua, 2024.

1.2.2. *Hipótesis específicas.*

La implementación de las camas de impacto generará un beneficio económico favorable, con un retorno de inversión en el corto plazo, y mejorará la productividad al reducir las fallas y extender la vida útil de los equipos en una unidad minera de Moquegua, 2024.

Las principales causas de desgaste y deformación en las fajas transportadoras de molienda están asociadas a condiciones operativas exigentes y a la utilización de materiales inadecuados, lo que ocasiona un incremento significativo en los costos de mantenimiento y una disminución en la eficiencia operativa en una unidad minera de Moquegua, 2024.

Los factores de deslizamiento de los empalmes de las fajas transportadoras de molienda están relacionados con deficiencias en el diseño y la instalación, lo cual contribuye al aumento de los costos de mantenimiento y la recurrencia de fallas operativas en una unidad minera de Moquegua, 2024.

El mejoramiento del plan de mantenimiento preventivo permitirá detectar y prevenir oportunamente las fallas en las roturas de las fajas transportadoras de molienda, disminuyendo la necesidad de intervenciones correctivas y promoviendo una mayor eficiencia operativa en una unidad minera de Moquegua, 2024.

La implementación de las camas de impacto mitigará los daños estructurales en las fajas transportadoras de molienda, reduciendo la incidencia de fallas y optimizando los costos de mantenimiento en una unidad minera de Moquegua, 2024.

1.3. Objetivos del estudio

1.3.1. *Objetivo general*

Analizar la propuesta de mejora del desempeño de las fajas transportadoras de molienda, enfocándose en la optimización del desempeño operativo, la reducción de fallas recurrentes y la mejora en la eficiencia operativa, así como en la disminución de los costos de mantenimiento en una unidad minera de Moquegua, 2024.

1.3.2. *Objetivo específico*

Determinar el costo-beneficio de la implementación de las camas de impacto en las fajas transportadoras de molienda, evaluando el retorno de inversión y su impacto en la productividad, mediante la reducción de fallas y la extensión de la vida útil de los equipos en una unidad minera de Moquegua, 2024.

Identificar las principales causas de desgaste y deformación en las fajas transportadoras de molienda, asociadas a condiciones operativas exigentes y al uso de materiales inadecuados, que ocasionan un incremento en los costos de mantenimiento y una disminución de la eficiencia operativa en una unidad minera de Moquegua, 2024.

Analizar los factores de deslizamiento en los empalmes de las fajas transportadoras de molienda, relacionados con deficiencias en el diseño y en los procesos de instalación, los cuales inciden negativamente en los costos de mantenimiento y en la continuidad operativa en una unidad minera de Moquegua, 2024.

Mejorar el plan de mantenimiento preventivo con el fin de detectar y prevenir oportunamente las fallas en las roturas de las fajas transportadoras de molienda, optimizando así las intervenciones de mantenimiento y fortaleciendo la eficiencia del sistema en una unidad minera de Moquegua, 2024.

Evaluar la implementación de las camas de impacto como una solución técnica para mitigar los daños en las fajas transportadoras de molienda, con el propósito de preservar la integridad de los componentes y disminuir la frecuencia de reparaciones en una unidad minera de Moquegua, 2024.

1.4. Variable

En el contexto de la investigación, una variable es definida como un atributo o característica que puede ser medida u observada con el fin de explicar, predecir o controlar fenómenos relacionados con el problema de estudio (Chamorro et al., 2022). Las variables

permiten estructurar el diseño metodológico, facilitar la recolección de datos y validar hipótesis mediante el análisis de relaciones, diferencias o efectos entre ellas.

En este estudio se plantea una variable independiente y tres variables dependientes, conforme a los objetivos propuestos y al enfoque cuantitativo adoptado.

1.4.1. Variable Independiente del Estudio

Propuesta de mejora de fajas transportadoras: Representa el conjunto de acciones técnicas implementadas con el fin de optimizar el desempeño de las fajas transportadoras de molienda, incluyendo el rediseño de empalmes, instalación de camas de impacto y fortalecimiento del mantenimiento preventivo.

1.4.2. Variables Dependientes

Reducción de fallas: Evalúa la disminución de eventos críticos relacionados con el desgaste, roturas y deslizamiento de empalmes tras la implementación de mejoras técnicas.

Eficiencia en operaciones: Mide el rendimiento del sistema de transporte en función de la continuidad operativa, la productividad y el cumplimiento de metas programadas.

Disminución de costos: Determina la reducción de gastos asociados a mantenimiento correctivo, sustitución de componentes y pérdidas operativas.

1.4.3. Indicadores

Tipos de mejora aplicados

Presencia de camas de impacto

Cumplimiento del plan técnico operativo

Número de fallas antes/después

Incidentes de deslizamiento

Frecuencia de roturas

Volumen transportado sin interrupciones

Tiempo promedio entre fallas (MTBF)

Cumplimiento de metas operativas (%)

Ahorro en costos de mantenimiento (%)

Relación costo-beneficio

Incremento en vida útil de las fajas (%)

1.4.4. Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Tipo de Variable	Variable	Definición Conceptual	Definición Operativa	Dimensiones	Indicadores	Herramienta
Independiente	Propuesta de mejora de fajas transportadoras	Intervención técnica orientada a optimizar el desempeño, reducir fallas y maximizar la vida útil de las fajas transportadoras mediante acciones estructuradas de mantenimiento y tecnología.	Se refiere a la implementación de mejoras como el uso de camas de impacto, rediseño de empalmes y planes de mantenimiento, aplicadas en la unidad minera evaluada.	Estrategias de mejora técnica	Tipos de mejora implementada	Registro de acciones técnicas
				Implementación tecnológica	Presencia de camas de impacto	Informe técnico y registros fotográficos
				Optimización de mantenimiento	Cumplimiento del nuevo plan de mantenimiento	Check list técnico validado
Dependientes	Reducción de fallas	Disminución de interrupciones en el sistema de transporte por defectos estructurales, desgaste o errores operativos.	Evaluada mediante el número de fallas registradas antes y después de las mejoras implementadas.	Fallas estructurales	Número de fallas antes/después	Registro de mantenimiento
				Daños en empalmes	Incidentes de deslizamiento	Dinamómetro de empalmes
				Fallas por impacto	Roturas por caída de material	Sensor de carga dinámica portátil
	Eficiencia en operaciones	Grado en que el sistema logra cumplir con sus metas operativas con el menor uso de recursos y menor tiempo de inactividad.	Se mide mediante indicadores de productividad, tiempo medio entre fallas y cumplimiento de metas operativas.	Productividad operativa	Volumen transportado sin interrupciones	Monitoreo de flujo de transporte
				Continuidad operativa	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	Software de control y reportes técnicos
		Disminución de costos	Reducción de los gastos relacionados con mantenimiento correctivo, reemplazo de componentes y paradas no planificadas.	Se evalúa comparando los costos de mantenimiento antes y después de la propuesta de mejora.	Nivel de cumplimiento	Cumplimiento de metas productivas (%)
Costos operativos					Ahorro en costos operativos (%)	Hoja de cálculo con análisis financiero
Eficiencia económica					Relación costo-beneficio	Matriz costo-beneficio comparativa
				Durabilidad de componentes	Incremento en vida útil de fajas (%)	Registro histórico de reemplazos

Nota: Elaborado por el autor

1.5. Método

El presente estudio adoptó un enfoque sistemático orientado a diagnosticar, analizar y optimizar el desempeño de las fajas transportadoras de molienda en la unidad minera de Moquegua. Este enfoque permitió abordar las diversas dimensiones del problema de manera integral, identificando factores críticos que afectan el funcionamiento y la eficiencia de las fajas.

Para ello, se implementaron estrategias y procedimientos específicos que abarcaron desde la definición de objetivos claros hasta la evaluación y monitoreo continuo de los resultados obtenidos, garantizando así un análisis técnico y operativo que respalde las propuestas de mejora formuladas en el estudio. Las estrategias y procedimientos realizados fueron los siguientes:

Definición de objetivos.

Encuestas al área de operaciones y mantenimiento.

Definición de responsabilidades del mantenimiento preventivo.

Jerarquización de equipos y componentes críticos.

Análisis de puntos débiles.

Diseño de planes de mantenimiento preventivo.

Capacitación del personal.

Evaluación del costo-beneficio.

Implementación de herramientas tecnológicas.

Evaluación y monitoreo continuo.

1.6. Alcance

El presente estudio se centró en analizar la propuesta de mejora del desempeño de las fajas transportadoras de molienda, con énfasis en tres aspectos fundamentales: la reducción de fallas, la eficiencia en las operaciones y la disminución de costos operativos. Para ello, se evaluaron intervenciones técnicas como la instalación de camas de impacto, el rediseño de empalmes y el fortalecimiento del mantenimiento preventivo. Estas acciones permitieron realizar un diagnóstico integral del sistema de transporte, identificar puntos críticos y aplicar soluciones orientadas a optimizar su funcionamiento y prolongar la vida útil de los componentes.

El análisis se desarrolló durante el año 2024 y comprendió un total de 20 fajas transportadoras pertenecientes a una unidad minera ubicada en la región de Moquegua. Esta delimitación permitió abordar el problema de manera focalizada, tomando en cuenta la

relevancia operativa de los equipos seleccionados. El estudio no contempló otras unidades operativas ni periodos distintos al definido, por lo que sus conclusiones se circunscriben al entorno técnico y temporal establecido.

1.7. Limitaciones

El presente estudio se enfocó únicamente en 20 fajas transportadoras de una unidad minera específica, lo que limitó la posibilidad de extrapolar los resultados a otras operaciones con diferentes condiciones técnicas y geográficas. Asimismo, no se contó con registros históricos completos de mantenimiento y fallas, lo que obligó a basar el análisis en observaciones directas durante el periodo de evaluación. Por último, no se realizaron ensayos prolongados ni simulaciones que permitan proyectar con precisión el comportamiento de los empalmes y las camas de impacto a mediano o largo plazo, lo que restringe las conclusiones respecto a su durabilidad en escenarios operativos futuros.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Chamorro et al. (2022) Esta investigación desarrolló un sistema de monitoreo avanzado para cintas transportadoras basado en visión artificial y datos de sensores en tiempo real. El estudio se centró en el uso de cámaras de alta resolución y algoritmos de aprendizaje automático para identificar patrones de desgaste y anomalías en componentes clave como empalmes, rodillos y estructuras de soporte. Los resultados permitieron implementar estrategias de mantenimiento predictivo, logrando reducir significativamente el tiempo de inactividad del sistema. Además, se destacó la capacidad de este enfoque para identificar puntos críticos antes de que ocurrieran fallas, optimizando la continuidad operativa en sectores como la minería y la industria pesada.

Barros-Daza et al. (2022) El estudio abordó la clasificación de incendios en cintas transportadoras utilizadas en operaciones mineras, un riesgo significativo que compromete tanto la seguridad como la operatividad de las instalaciones. A través de experimentos controlados, se identificaron las principales causas de los incendios, como el sobrecalentamiento de componentes y la acumulación de material inflamable. Los autores propusieron la implementación de sistemas de detección temprana basados en sensores de temperatura y humo, así como el uso de materiales resistentes al fuego en los recubrimientos de las cintas. Este enfoque no solo mejoró la seguridad, sino que también redujo el impacto económico asociado a paradas imprevistas.

Akin Sahbaz et al. (2022) Esta investigación exploró la utilización de desechos industriales de boro como material de relleno en la producción de cintas transportadoras, con un enfoque en la sostenibilidad y la reducción de costos. Los resultados mostraron que este material incrementó la resistencia al desgaste y la durabilidad de las cintas, especialmente en aplicaciones industriales exigentes. Además, se destacó el impacto positivo en la economía circular, ya que el uso de residuos industriales como materia prima redujo significativamente el desperdicio y la necesidad de materiales vírgenes. Este estudio es particularmente relevante para sectores como la minería, donde las cintas transportadoras están sometidas a condiciones extremas.

Dąbek et al. (2022) Los autores presentaron un método innovador para medir la velocidad de rotación de rodillos en cintas transportadoras mediante el análisis de imágenes. Este enfoque permitió identificar irregularidades en la rotación, un indicador clave de desgaste y mal funcionamiento. El estudio incluyó pruebas en entornos industriales, demostrando que este sistema no invasivo es eficaz para diagnosticar problemas antes de que se conviertan en fallas críticas. Además, se subrayó la importancia de integrar este tipo de soluciones con sistemas de mantenimiento predictivo, mejorando la eficiencia y reduciendo los costos asociados a reparaciones imprevistas.

Mendes et al. (2023) Enfocándose en la mejora del rendimiento de cintas transportadoras, este estudio combinó la filosofía Lean con tecnologías de Industria 4.0 para optimizar procesos. Se integraron sensores inteligentes y plataformas de análisis de datos para monitorear en tiempo real variables críticas como la tensión de los empalmes, el desgaste de los rodillos y las vibraciones en las estructuras. Los resultados mostraron una reducción significativa en los tiempos de inactividad y un aumento en la vida útil de los componentes. Además, el estudio destacó la importancia de capacitar al personal técnico para maximizar los beneficios de estas tecnologías avanzadas, ofreciendo una solución integral aplicable a la minería y otros sectores industriales.

Bałaga et al. (2023) Este estudio evaluó el desempeño de boquillas de supresión instaladas en accionamientos de cintas transportadoras, enfocándose en su capacidad para mitigar incendios y controlar el polvo generado durante la operación. Se realizaron pruebas en condiciones controladas, analizando parámetros como el alcance del rocío y la efectividad en la reducción de partículas suspendidas. Los resultados mostraron que un diseño adecuado de estas boquillas no solo mejora la seguridad operativa, sino que también reduce el desgaste de las cintas en puntos críticos, prolongando su vida útil y disminuyendo los costos de mantenimiento.

Liu et al. (2022) Este trabajo introdujo un método basado en aprendizaje profundo para la detección automatizada de daños en cintas transportadoras utilizadas en minería. El modelo analizó imágenes capturadas en tiempo real, identificando grietas, desgastes y deformaciones en los empalmes y otras áreas críticas. La investigación destacó cómo esta tecnología puede integrarse en sistemas de monitoreo continuo, permitiendo una detección temprana de fallas y mejorando la planificación del mantenimiento preventivo. La precisión del modelo superó el 90%, convirtiéndolo en una herramienta eficaz para optimizar la operación de las cintas transportadoras en entornos industriales.

Wang et al. (2022) Este estudio presentó un enfoque innovador basado en señales acústicas para la detección de desgarros longitudinales en cintas transportadoras. Utilizando micrófonos estratégicamente ubicados, se monitorearon frecuencias generadas por la interacción entre la cinta y los rodillos, lo que permitió identificar de manera temprana zonas con potencial de ruptura. Los resultados demostraron que este método es especialmente útil en operaciones mineras, donde las condiciones extremas aceleran el deterioro de las cintas. La tecnología no solo mejoró la seguridad, sino que también redujo el tiempo de inactividad asociado a fallas inesperadas.

Guo et al. (2023) El estudio desarrolló un sistema de visión artificial para la detección de daños en la superficie de cintas transportadoras, utilizando una combinación de algoritmos de aprendizaje profundo y cámaras de alta resolución. Este enfoque permitió identificar problemas como cortes, deformaciones y desgastes en tiempo real, proporcionando información clave para la planificación de mantenimiento. Los autores destacaron la aplicabilidad de esta tecnología en operaciones mineras, donde la integridad de las cintas transportadoras es esencial para garantizar la continuidad de los procesos productivos.

Bortnowski et al. (2023) La investigación propuso un sistema de detección de bloqueos en puntos de transferencia de cintas transportadoras mediante el uso de cámaras RGB y autoencoders basados en redes neuronales convolucionales (CNN). Se realizaron pruebas en instalaciones industriales, demostrando que este sistema puede identificar bloqueos de manera eficiente y con alta precisión. Además, los resultados resaltaron cómo la implementación de esta tecnología puede reducir significativamente los tiempos muertos y optimizar la productividad, especialmente en operaciones donde las interrupciones afectan directamente los costos operativos.

Zhu et al. (2023) Este estudio desarrolló un método en tiempo real para detectar daños en cintas transportadoras basado en un modelo mejorado de YoloX. La investigación se centró en mejorar la precisión y velocidad del sistema de detección, identificando cortes, desgarros y objetos extraños con una alta tasa de acierto. Este enfoque fue probado en operaciones de alta demanda, demostrando su eficacia para prevenir fallas críticas y optimizar las estrategias de mantenimiento. La implementación de esta tecnología contribuyó significativamente a la reducción de interrupciones operativas y al aumento de la vida útil de las cintas.

Abaea et al. (2023) Este trabajo analizó el modelado del calentamiento por radiofrecuencia en alimentos líquidos transportados en cintas. Si bien el contexto no es industrial minero, el estudio aporta un enfoque interesante sobre la interacción térmica y mecánica en las cintas transportadoras. Los resultados destacan la importancia de optimizar los

parámetros operativos para reducir tensiones mecánicas, lo que puede extrapolarse a aplicaciones donde el manejo eficiente de materiales es crítico para la durabilidad de las cintas.

Dabek et al. (2022) En esta investigación se diseñó un procedimiento automatizado para detectar rodillos sobrecalentados en cintas transportadoras mediante la fusión de imágenes infrarrojas y RGB capturadas durante inspecciones robóticas. Los autores demostraron que este sistema puede identificar anomalías térmicas que indican desgaste o fallas inminentes en los componentes. Este enfoque no solo mejora la seguridad operativa, sino que también permite planificar mantenimientos específicos, reduciendo tiempos de inactividad y costos asociados.

Chen y Liu (2023) El estudio estableció un modelo constitutivo para analizar los parámetros dinámicos de cintas transportadoras de caucho. Los resultados permitieron identificar cómo diferentes factores, como las cargas aplicadas y la velocidad de operación, afectan la resistencia y el desgaste del material. Este modelo es especialmente útil para optimizar el diseño y seleccionar materiales más resistentes, lo que prolonga la vida útil de las cintas y mejora su desempeño en condiciones operativas extremas.

Cao et al. (2022) Esta investigación realizó un estudio numérico sobre los mecanismos de fractura en caminos de cintas transportadoras utilizados en minas a cielo abierto. Los resultados identificaron los factores clave que contribuyen al deterioro, como las tensiones generadas por cargas pesadas y condiciones climáticas adversas. Con base en estos hallazgos, los autores propusieron medidas de control para minimizar los daños estructurales, asegurando una operación continua y eficiente del sistema de transporte.

Marasova et al. (2022) Este estudio propuso un modelo dinámico para analizar la absorción de energía de impacto en cintas transportadoras, considerando su interacción con los sistemas de soporte. Los resultados mostraron que una mejor distribución de la energía de impacto puede reducir el desgaste en los empalmes y prolongar la vida útil de las cintas. La investigación es particularmente relevante para operaciones mineras, donde las cintas están sometidas a impactos constantes debido al transporte de materiales pesados.

Selvam y Mukhopadhyay (2022) En esta investigación se presentó un análisis numérico de cintas transportadoras para mejorar las decisiones relacionadas con el mantenimiento. Los autores desarrollaron un modelo que permite evaluar el desgaste de los componentes clave, como rodillos y empalmes, en diferentes condiciones operativas. Este enfoque apoyó la planificación de estrategias de mantenimiento preventivo, optimizando el rendimiento del sistema y reduciendo costos asociados a reparaciones imprevistas.

Fu y Aldrich (2023) Este trabajo implementó redes neuronales convolucionales densas para el análisis en tiempo real del tamaño de partículas transportadas en cintas. Aunque su

contexto es más industrial, los resultados son aplicables al sector minero, ya que optimizan el control de calidad y minimizan el desgaste en los empalmes al reducir irregularidades en el flujo de materiales. Además, el estudio destacó la importancia de integrar sistemas de monitoreo inteligentes para mejorar la productividad operativa.

Luo et al. (2023) Este estudio propuso un método de detección de objetos extraños en cintas transportadoras en minas de carbón, utilizando algoritmos mejorados de visión artificial. La investigación se centró en identificar elementos que podrían dañar la cinta o interrumpir la operación. Los resultados mostraron que este sistema es rápido, preciso y eficiente, lo que contribuye a la prevención de fallas y garantiza la continuidad operativa, aspectos críticos en ambientes mineros.

Barros-Daza et al. (2023) La investigación analizó la resistencia al desgaste en puntos críticos de cintas transportadoras, como empalmes y áreas de contacto continuo con rodillos. Se propusieron soluciones basadas en materiales mejorados y estrategias de diseño que prolongaron la vida útil de las cintas y redujeron los costos de mantenimiento. Este estudio es relevante para operaciones donde las condiciones extremas aceleran el deterioro de las cintas y afectan la productividad.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fajas transportadoras

Son sistemas mecánicos que constituyen una solución eficiente para el transporte continuo de materiales en procesos mineros, como la molienda. Estas estructuras están diseñadas para soportar condiciones extremas, incluyendo la abrasión constante y las cargas dinámicas, lo que garantiza su funcionalidad en operaciones críticas. Según Guo et al. (2022), su capacidad de mover grandes volúmenes de material reduce significativamente los tiempos de inactividad y optimiza la productividad en entornos industriales.

En el ámbito minero, las fajas transportadoras de molienda cumplen un rol esencial al conectar las etapas del proceso, asegurando que los materiales sean transportados de manera uniforme y segura. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los costos asociados a la manipulación manual y los equipos de transporte alternativos (Mendes et al., 2023).

El diseño de las fajas transportadoras contempla factores como el tipo de material transportado, la velocidad de operación y las condiciones ambientales. Estos aspectos influyen

directamente en su durabilidad y en la necesidad de implementar planes de mantenimiento preventivo para mitigar el desgaste y prolongar su vida útil (Cao et al., 2022).

De acuerdo con Zhang et al. (2023), las fajas transportadoras representan una inversión estratégica para las operaciones mineras, ya que su uso adecuado y mantenimiento efectivo pueden incrementar significativamente la productividad operativa. Además, estudios recientes destacan la importancia de incorporar tecnologías avanzadas, como sensores y sistemas de monitoreo, para garantizar un desempeño óptimo a lo largo de su ciclo de vida.

Las fajas transportadoras de molienda también presentan desafíos relacionados con el desgaste de sus componentes, como los empalmes y las camas de impacto. Estas áreas críticas requieren una atención constante para evitar interrupciones en el flujo de materiales y pérdidas económicas derivadas de fallas operativas (Farhat et al., 2023). En este sentido, su análisis y mantenimiento constituyen un pilar fundamental para la sostenibilidad de las operaciones mineras modernas.

2.2.1.1. Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo es fundamental para garantizar la operación continua y eficiente de las fajas transportadoras de molienda. Este enfoque se basa en la programación y ejecución de actividades periódicas que permitan identificar y corregir posibles fallas antes de que ocurran interrupciones críticas. Según Liu et al. (2022), las estrategias de mantenimiento preventivo aumentan la vida útil de los componentes clave al reducir la probabilidad de fallas inesperadas y los costos asociados con el tiempo de inactividad.

Además, Bortnowski et al. (2022) resaltan que la implementación de sistemas de monitoreo predictivo en tiempo real mejora significativamente los resultados del mantenimiento preventivo, ya que permite una detección más precisa de anomalías en las fajas transportadoras. Este enfoque tecnológico minimiza los riesgos operativos y optimiza el uso de los recursos disponibles.

Marasova et al. (2022) subrayan que la planificación adecuada del mantenimiento preventivo, junto con la capacitación continua del personal técnico, resulta esencial para mantener la eficiencia operativa y reducir los costos generales del sistema de transporte (Liu et al., 2022; Bortnowski et al., 2022; Marasova et al., 2022).

2.2.1.1.1. Actividades preventivas mensuales realizadas.

Las actividades preventivas mensuales realizadas son procedimientos programados para inspeccionar, mantener y asegurar el correcto funcionamiento de las fajas transportadoras. Estas actividades incluyen la lubricación de componentes, ajuste de tensiones, limpieza de rodillos y verificación del estado de empalmes, entre otras tareas clave. Según Dabek et al. (2022), la realización constante de estas actividades reduce significativamente la probabilidad de fallas críticas y prolonga la vida útil de los equipos.

Además, Guo et al. (2022) destacan que un enfoque preventivo estructurado permite identificar patrones recurrentes de desgaste y deterioro, proporcionando una base sólida para la planificación del mantenimiento predictivo. Esto contribuye a la optimización de recursos y la disminución de costos operativos.

Por último, Durek et al. (2023) enfatizan que la documentación sistemática de las actividades mensuales es esencial para evaluar su eficacia y realizar ajustes en el plan de mantenimiento cuando sea necesario (Dabek et al., 2022; Guo et al., 2022; Durek et al., 2023).

2.2.1.1.2. Reducción del tiempo de inactividad.

Es un aspecto crítico en la gestión del mantenimiento preventivo. Según Liu et al. (2022), minimizar las interrupciones operativas permite mantener un flujo constante de materiales, lo que contribuye directamente a la productividad de la unidad minera. Este proceso se logra a través de inspecciones regulares, ajustes mecánicos y la implementación de sistemas de monitoreo predictivo que detectan posibles fallas antes de que se conviertan en problemas mayores.

Por otro lado, el análisis detallado de los patrones de inactividad permite identificar las causas raíz de las interrupciones recurrentes y establecer estrategias efectivas para su mitigación. Chamorro et al. (2022) destacan que el uso de tecnologías avanzadas, como sensores de vibración y análisis de datos en tiempo real, es esencial para garantizar que las fajas operen con la mayor eficiencia posible, reduciendo significativamente los tiempos muertos.

Marasova et al. (2022) enfatizan que la planificación adecuada del mantenimiento preventivo y la capacitación del personal en el uso de herramientas de diagnóstico avanzado son claves para alcanzar niveles óptimos de operatividad en las fajas transportadoras. Estas estrategias no solo aseguran la continuidad del proceso de molienda, sino que también contribuyen a prolongar la vida útil de los equipos y reducir costos asociados a paradas imprevistas.

2.2.1.1.3. Fallas detectadas preventivamente.

La identificación de fallas mediante estrategias preventivas es fundamental para asegurar la operación continua de las fajas transportadoras en ambientes mineros. Este enfoque permite intervenir antes de que ocurra un daño crítico, reduciendo tiempos de inactividad y optimizando los recursos de mantenimiento (Bortnowski et al., 2023).

La implementación de sensores avanzados para monitorear el estado de los componentes estructurales y mecánicos de las fajas mejora la capacidad de predecir fallas inminentes. Este monitoreo incluye parámetros como vibraciones anómalas y resistencia mecánica, factores clave en la prevención de daños mayores (Zhang et al., 2022).

Por último, los sistemas de diagnóstico automatizados basados en tecnologías de la Industria 4.0 han mostrado una eficacia significativa en la planificación de intervenciones preventivas. Esto contribuye directamente a incrementar la productividad operativa y la longevidad del equipo (Mendes et al., 2023).

2.2.1.2. Camas de impacto.

Las camas de impacto son dispositivos esenciales en sistemas de transporte como las fajas transportadoras, diseñados específicamente para reducir el daño causado por la caída de materiales pesados. Estas estructuras funcionan distribuyendo de manera uniforme las fuerzas generadas durante el impacto, evitando concentraciones de estrés que puedan provocar desgaste o deformaciones en las fajas y sus componentes. Según Marasova et al. (2022), el uso de camas de impacto permite una protección eficiente contra el deterioro prematuro, especialmente en entornos operativos de alta exigencia, como las minas.

Adicionalmente, la instalación de camas de impacto tiene un impacto directo en la mejora de la seguridad operativa, ya que disminuye los riesgos asociados al desgaste excesivo y las fallas inesperadas. Mendes et al. (2023) resaltan que, combinadas con tecnologías de monitoreo avanzado, estas estructuras no solo optimizan el mantenimiento predictivo, sino que también reducen los costos derivados de interrupciones no planificadas y reparaciones mayores.

Por otra parte, Hrabovský et al. (2023) enfatizan que las camas de impacto deben ser diseñadas y posicionadas estratégicamente en zonas críticas de carga. Este enfoque permite no solo prevenir daños en las fajas transportadoras, sino también garantizar una mayor estabilidad estructural y prolongar la vida útil de todo el sistema. Además, estas mejoras estructurales contribuyen a un transporte continuo y eficiente de materiales, reduciendo tiempos de inactividad y asegurando un flujo de trabajo más constante.

Bortnowski et al. (2023) destacan la importancia de evaluar regularmente el rendimiento de las camas de impacto para detectar posibles desgastes en sus componentes. Este monitoreo asegura que las medidas implementadas sean efectivas y puedan ajustarse según las necesidades cambiantes del sistema, maximizando su efectividad y manteniendo altos estándares de desempeño en el transporte de materiales.

2.2.1.2.1. Reducción del daño por impacto.

La reducción del daño por impacto es uno de los beneficios clave proporcionados por las camas de impacto en sistemas de transporte como las fajas transportadoras. Estas estructuras están diseñadas para disipar las fuerzas generadas durante la caída de materiales, minimizando así el estrés mecánico sobre las fajas y otros componentes críticos. Según Marasova et al. (2022), el uso de camas de impacto puede reducir significativamente el desgaste superficial y estructural, lo que resulta en un aumento de la durabilidad y el rendimiento operativo.

Además, la implementación de camas de impacto no solo protege las fajas transportadoras, sino que también mejora la eficiencia general del sistema al disminuir las interrupciones causadas por fallas mecánicas. Mendes et al. (2023) señalan que la distribución uniforme de la energía de impacto permite evitar concentraciones de estrés en puntos específicos, reduciendo la necesidad de reparaciones frecuentes y costosas.

Por otra parte, Hrabovský et al. (2023) indican que la integración de estas camas con sistemas de monitoreo en tiempo real permite una evaluación constante de su efectividad. Esto garantiza que las soluciones implementadas continúen proporcionando niveles óptimos de protección y que puedan ajustarse en función de las condiciones operativas cambiantes.

Zhou et al. (2023) enfatizan que las camas de impacto contribuyen a la sostenibilidad operativa al reducir tanto el desgaste como la generación de residuos asociados a la reposición de componentes dañados. Esto no solo prolonga la vida útil de las fajas transportadoras, sino que también refuerza las prácticas de mantenimiento proactivo dentro de las operaciones mineras

2.2.1.2.2. Roturas tras implementación.

La implementación de camas de impacto en las fajas transportadoras tiene un impacto directo en la reducción de roturas, especialmente en áreas donde el material cae desde grandes alturas. Estas camas actúan como amortiguadores que absorben la energía del impacto, distribuyéndola de manera más uniforme a lo largo de la faja. Según Błażej et al. (2022), la

efectividad de estas estructuras en la prevención de daños depende de su capacidad para desacelerar el flujo de material sin comprometer la integridad de las fajas. Esto disminuye considerablemente las roturas, especialmente en zonas críticas del sistema.

Además, las roturas a menudo se asocian con la acumulación de tensiones en puntos débiles de las fajas, lo que puede llevar a fallas catastróficas si no se controla adecuadamente. La instalación de camas de impacto, como señalan Bortnowski et al. (2023), permite distribuir el impacto de manera eficiente, lo que resulta en una disminución de la concentración de esfuerzos en puntos vulnerables. Este enfoque reduce las roturas prematuras y extiende la vida útil de las fajas, lo que reduce tanto los costos de mantenimiento como las paradas operativas no planificadas.

Chen y Liu (2023) destacan que las camas de impacto también ayudan a evitar que el desgaste excesivo de las fajas ocurra en las mismas zonas, lo que previene la formación de grietas y fisuras que pueden derivar en roturas. Las estrategias de monitoreo continuo de estos sistemas, combinadas con las camas de impacto, permiten detectar y abordar cualquier signo de desgaste o daño antes de que se convierta en un problema grave.

2.2.1.2.3. Incremento en vida útil.

El incremento en la vida útil de las fajas transportadoras tras la implementación de camas de impacto es uno de los beneficios más significativos que se observa en la operación de los sistemas de transporte. La función principal de estas camas es amortiguar el impacto de los materiales que caen sobre las fajas, reduciendo el daño directo a los componentes, como los empalmes y la superficie de la correa. Según Wang et al. (2022), el uso adecuado de las camas de impacto puede prolongar la vida útil de las fajas en un porcentaje considerable, al disminuir el desgaste prematuro y las rupturas asociadas con el impacto directo.

Además, estudios de Błażej et al. (2022) destacan que el uso de estas camas mejora la absorción de energía del impacto, lo que reduce la propagación de daños en el sistema de transmisión y otros componentes críticos. Esto permite a las fajas operar de manera más eficiente durante más tiempo, lo que tiene un impacto positivo tanto en la reducción de costos operativos como en la mejora de la productividad general.

La implementación de camas de impacto también facilita la optimización del plan de mantenimiento preventivo, al disminuir la frecuencia de reparaciones y alargar los intervalos entre reemplazos de piezas. Como menciona Cao et al. (2022), este enfoque preventivo no solo aumenta la vida útil de las fajas, sino que también contribuye a una mayor rentabilidad en las

operaciones mineras, al reducir la necesidad de mantenimiento correctivo y minimizar el tiempo de inactividad.

De este modo, la mejora en la vida útil de las fajas también se traduce en una mayor confiabilidad operativa. Al mantener las fajas en condiciones óptimas durante más tiempo, las operaciones de transporte se realizan de manera más continua y estable, reduciendo las pérdidas por fallas no planificadas (Zhang et al., 2023).

2.2.2. Reducción de Fallas

La reducción de fallas en sistemas de transporte por fajas constituye un eje fundamental en la gestión del mantenimiento industrial, especialmente en contextos mineros donde la continuidad operativa es crítica. Las fallas en las fajas transportadoras pueden originarse por desgaste mecánico, desalineación, roturas por impacto, deslizamiento de empalmes, entre otros factores que afectan la confiabilidad del sistema (Bortnowski et al., 2022; Barros-Daza et al., 2022). La implementación de estrategias de monitoreo y diagnóstico, como el análisis de vibraciones (Bortnowski, Król & Ozdoba, 2022) o el uso de sensores inteligentes, permite identificar con anticipación los puntos críticos, reduciendo la probabilidad de paradas no programadas y sus efectos colaterales sobre la producción.

Diversos autores coinciden en que una reducción efectiva de fallas requiere un enfoque integral que combine tanto mejoras estructurales como tecnológicas. Esto incluye el uso de materiales con mayor resistencia al desgaste (Akin Sahbaz et al., 2022), ajustes en la tensión del sistema (Bortnowski et al., 2022) y la implementación de sistemas automatizados de inspección para detectar anomalías en tiempo real (Guo et al., 2022; Guo et al., 2023). Por tanto, la reducción de fallas no solo mejora el rendimiento mecánico de las fajas, sino que incide directamente en la seguridad operativa, en la optimización del mantenimiento y en la prolongación de la vida útil del sistema.

2.2.2.1. Desgaste y Deformación.

Son fenómenos inevitables en las fajas transportadoras, especialmente en entornos mineros donde los materiales abrasivos y las condiciones operativas extremas aceleran estos procesos. Según Zhang et al. (2023), el desgaste se define como la pérdida progresiva de material en las superficies de contacto debido al movimiento relativo, mientras que la deformación implica cambios estructurales o geométricos en los componentes debido a la aplicación de cargas repetitivas o impactos.

En las fajas transportadoras de molienda, el desgaste se manifiesta en la superficie de la faja debido al roce constante con materiales transportados, lo que reduce su espesor y, eventualmente, compromete su funcionalidad. Por otro lado, la deformación puede presentarse en componentes clave, como empalmes y rodillos, lo que afecta negativamente la alineación y la estabilidad del sistema (Mendes et al., 2023).

Cao et al. (2022) destacan que la monitorización continua y la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo son esenciales para identificar los primeros signos de desgaste y deformación. Estas estrategias permiten extender la vida útil de los componentes y optimizar los costos asociados al mantenimiento.

Además, estudios recientes subrayan la importancia de las tecnologías avanzadas, como sensores de desgaste y cámaras de alta resolución, para evaluar de manera precisa el estado de las fajas transportadoras. Estas herramientas facilitan la toma de decisiones informadas sobre la necesidad de reparaciones o reemplazos, reduciendo significativamente los tiempos de inactividad y garantizando la eficiencia operativa (Guo et al., 2022).

2.2.2.1.1. Superficie Desgastada.

Representa un problema crítico dentro de los procesos mineros debido a su impacto directo en la durabilidad y eficiencia del sistema. Según Akin Sahbaz et al. (2022), este desgaste se produce principalmente por el contacto constante de la faja con materiales abrasivos y las condiciones operativas adversas, lo que genera una disminución en su vida útil y aumenta los costos de mantenimiento.

Además, Balaga et al. (2023) explican que el desgaste acumulado en las superficies de las fajas transportadoras puede provocar fallos funcionales, como deslizamientos o roturas, que afectan la continuidad del proceso de molienda. Esto subraya la importancia de implementar sistemas de monitoreo que permitan detectar y medir el nivel de desgaste de manera temprana.

Por otro lado, Chen y Liu (2023) destacan que el análisis de los patrones de desgaste en las fajas transportadoras puede ser optimizado mediante herramientas tecnológicas avanzadas, como sensores de alta precisión y modelos matemáticos predictivos. Estas tecnologías facilitan el diseño de estrategias de mantenimiento preventivo que reducen significativamente los riesgos operativos.

Finalmente, Banerjee et al. (2023) sostienen que el mantenimiento regular y la inspección de las superficies desgastadas contribuyen a mantener la eficiencia operativa de las fajas transportadoras, asegurando la continuidad en el transporte de materiales y optimizando los recursos en las operaciones mineras.

2.2.2.1.2. Frecuencia de Deformaciones Detectadas.

Constituye un indicador clave para evaluar el estado estructural del sistema y prevenir fallas críticas. Según Dabek et al. (2022), las deformaciones recurrentes pueden atribuirse a tensiones mecánicas irregulares y a la exposición constante a materiales pesados, lo que afecta la estabilidad y el desempeño del equipo.

Marasova et al. (2022) enfatizan que estas deformaciones pueden originarse por impactos repetitivos en zonas específicas de la faja, lo que incrementa la probabilidad de desgaste localizado y daños estructurales. La identificación temprana de estas deformaciones es esencial para evitar interrupciones en el flujo de trabajo y reducir los costos asociados al reemplazo o reparación.

Además, Mendes et al. (2023) subrayan que el monitoreo continuo de las deformaciones a través de sensores y análisis de datos permite no solo cuantificar la frecuencia con la que ocurren, sino también establecer patrones que faciliten la toma de decisiones preventivas. Este enfoque es especialmente relevante en entornos mineros donde la durabilidad del equipo es crucial para la productividad.

Por su parte, Hu et al. (2023) destacan la relevancia de evaluar la resistencia estructural de las fajas transportadoras bajo condiciones operativas extremas, señalando que las deformaciones detectadas con alta frecuencia pueden ser mitigadas mediante ajustes en el diseño de los soportes y sistemas de tracción, mejorando así la estabilidad y la vida útil del equipo.

Según Farhat et al. (2023), la implementación de inspecciones regulares y herramientas tecnológicas avanzadas para el monitoreo de deformaciones ayuda a optimizar los planes de mantenimiento y garantiza un rendimiento constante en las operaciones mineras.

2.2.2.1.3. Vida Útil Promedio.

Es un indicador clave que refleja su capacidad para operar de manera eficiente antes de requerir reemplazo o reparaciones mayores. Este parámetro está influenciado por factores como la calidad del material, las condiciones de operación y la implementación de planes de mantenimiento adecuados. Las investigaciones destacan que el monitoreo constante y la evaluación de la vida útil permiten optimizar los costos operativos y reducir tiempos de inactividad (Bałaga et al., 2023).

El desgaste continuo causado por el transporte de materiales abrasivos y el estrés mecánico pueden acortar significativamente la vida útil de las fajas. Esto requiere un diseño robusto y una selección adecuada de materiales resistentes al impacto y a la fricción, aspectos que han sido ampliamente abordados en estudios recientes (Bortnowski et al., 2022).

Además, el establecimiento de protocolos de inspección y mantenimiento preventivo, como la detección de daños superficiales y la identificación de tensiones irregulares, es fundamental para alargar la vida útil de las fajas. Estos procedimientos contribuyen a mantener el equipo en condiciones óptimas y minimizan las interrupciones en el flujo de trabajo (Chen y Liu, 2023).

Herramientas tecnológicas avanzadas, como sensores integrados y sistemas de monitoreo en tiempo real, facilitan la predicción de la vida útil restante de las fajas transportadoras. Estas tecnologías permiten implementar estrategias de mantenimiento predictivo que maximizan la eficiencia operativa (Chamorro et al., 2022).

2.2.2.2. Deslizamiento de Empalmes.

Representa un desafío crítico que afecta la eficiencia operativa y la seguridad en los procesos de transporte continuo. Este fenómeno ocurre cuando las uniones entre secciones de la faja no logran mantener una conexión adecuada bajo condiciones de carga y tensión, generando pérdidas de energía y daños estructurales. Estudios recientes han señalado que este problema puede derivarse de un mantenimiento insuficiente o de defectos en el diseño de los empalmes (Błażej et al., 2022).

La resistencia mecánica de los empalmes y su capacidad para soportar cargas dinámicas son esenciales para evitar el deslizamiento. La implementación de técnicas de reparación avanzadas, junto con el uso de adhesivos de alta calidad y sistemas de prensado optimizados, ha demostrado ser eficaz para minimizar este problema. Estas medidas, además, prolongan la vida útil de las fajas y reducen el riesgo de fallos imprevistos (Bogacz et al., 2022).

Los sistemas de monitoreo en tiempo real permiten detectar el deslizamiento de empalmes a medida que ocurre, facilitando una respuesta inmediata. Herramientas como sensores de tensión y cámaras de inspección han mostrado resultados prometedores en la identificación temprana de este tipo de fallos, lo que permite implementar soluciones correctivas antes de que se conviertan en problemas mayores (Bortnowski et al., 2023).

Adicionalmente, se ha destacado la importancia de las capacitaciones técnicas para el personal encargado del mantenimiento de las fajas. Estas capacitaciones aseguran que los

procedimientos de inspección y reparación sean llevados a cabo de manera eficiente, reduciendo significativamente la recurrencia de deslizamientos (Cao et al., 2022).

2.2.2.2.1. Incidentes de Deslizamiento Mensuales.

Los incidentes de deslizamiento mensuales en las fajas transportadoras reflejan problemas en la resistencia y la adherencia de los empalmes. Según Błażej et al. (2022), estos eventos ocurren principalmente debido al desgaste natural, condiciones operativas extremas y prácticas inadecuadas de mantenimiento. Este fenómeno afecta negativamente la continuidad del flujo de materiales y aumenta los costos operativos, lo que pone en evidencia la necesidad de un monitoreo constante.

En línea con lo mencionado, Bogacz et al. (2022) afirman que la inspección periódica de los empalmes y la implementación de sensores de deslizamiento en tiempo real pueden reducir significativamente la frecuencia de estos incidentes. Dichos sistemas permiten detectar irregularidades a tiempo, minimizando el impacto en la productividad.

Adicionalmente, Bortnowski et al. (2023) sostienen que las técnicas de análisis predictivo, basadas en datos históricos de operación, ayudan a identificar patrones recurrentes de deslizamiento. Estas herramientas son esenciales para establecer planes de acción preventiva y asegurar un funcionamiento continuo y seguro de las fajas transportadoras. Esto demuestra que el análisis y monitoreo son elementos clave para reducir la incidencia de deslizamientos.

2.2.2.2.2. Resistencia Mecánica de Empalmes.

La resistencia mecánica de los empalmes es un factor crucial para garantizar la integridad y eficiencia de las fajas transportadoras. Según Barros-Daza et al. (2022), la durabilidad y capacidad de los empalmes para soportar tensiones constantes dependen del diseño, los materiales utilizados y la calidad de la instalación. Este aspecto es determinante para evitar fallos estructurales que puedan interrumpir el flujo de materiales.

Por su parte, Dabek et al. (2022) destacan que las técnicas modernas, como el uso de compuestos avanzados y adhesivos especializados, incrementan significativamente la resistencia de los empalmes. Estas soluciones tecnológicas no solo aumentan la vida útil de las uniones, sino que también reducen la necesidad de reparaciones frecuentes.

Asimismo, Guo et al. (2022) afirman que los métodos de monitoreo basados en sensores mecánicos y ópticos permiten evaluar continuamente el estado de los empalmes, identificando puntos débiles antes de que se conviertan en fallas críticas. Esto enfatiza la importancia de

implementar estrategias de mantenimiento predictivo para maximizar el rendimiento de las fajas transportadoras y minimizar los riesgos asociados.

2.2.2.2.3. Tiempo de Reparación por Deslizamientos.

El tiempo de reparación por deslizamientos en las fajas transportadoras es un indicador clave para evaluar la eficiencia operativa en los procesos mineros. Según Dabek et al. (2022), la identificación temprana de los puntos de deslizamiento reduce significativamente los tiempos de parada, permitiendo una intervención rápida y precisa. Esto es posible mediante la implementación de sistemas automatizados de monitoreo y diagnóstico.

Además, Chamorro et al. (2022) señalan que el uso de tecnologías como sensores en tiempo real y algoritmos de predicción permite optimizar los procesos de reparación, disminuyendo el impacto negativo en la productividad. Estas herramientas mejoran la planificación de las actividades de mantenimiento y garantizan la continuidad operativa.

Por otro lado, Guedri y Gharbi (2023) destacan que la capacitación del personal en procedimientos específicos de reparación y el acceso a herramientas avanzadas contribuyen a reducir los tiempos de intervención. Esto demuestra la importancia de integrar tecnología y formación en los planes de mantenimiento para maximizar la eficiencia del sistema de transporte.

2.2.3. Eficiencia en operaciones

La eficiencia en operaciones de transporte por faja está relacionada con la capacidad del sistema para cumplir con los volúmenes de carga planificados, sin interrupciones y con el menor consumo de recursos posibles. Un sistema eficiente garantiza un flujo continuo de materiales, reduce el tiempo medio entre fallas (MTBF) y contribuye al cumplimiento de los objetivos productivos. Para ello, se requiere no solo una buena condición física de las fajas, sino también una planificación adecuada de las operaciones, una supervisión constante del desempeño y un control preciso de los parámetros de funcionamiento (Bogacz et al., 2022; Bortnowski et al., 2023).

Estudios recientes destacan el uso de algoritmos de visión artificial, cámaras RGB, sensores de vibración y monitoreo energético como herramientas para incrementar la eficiencia del sistema transportador (Chen et al., 2022; Guo et al., 2023). Estos sistemas permiten tomar decisiones informadas y actuar de manera preventiva ante cualquier desviación del comportamiento esperado. De esta manera, se fortalece el control del flujo de materiales y se

mejora la coordinación operativa, lo que resulta en un mayor aprovechamiento del tiempo disponible, menos paradas y una reducción en los costos indirectos asociados a la ineficiencia.

2.2.3.1. Productividad Operativa.

La productividad operativa en el contexto de las fajas transportadoras de molienda es un indicador clave que refleja la eficiencia del sistema de transporte en las operaciones mineras. Esta productividad está directamente influenciada por la capacidad de las fajas para transportar materiales sin interrupciones, lo cual es fundamental para mantener un flujo de trabajo constante en la planta. Según Guo et al. (2022), un sistema de fajas transportadoras eficiente y bien mantenido permite una mayor cantidad de material procesado, lo que resulta en un aumento en la productividad de la planta minera.

Un aspecto relevante de la productividad operativa es el volumen transportado sin interrupciones, que es un indicador del rendimiento continuo de las fajas sin paradas inesperadas debido a fallas o mantenimientos no programados. En este sentido, el diseño adecuado de las fajas y el mantenimiento preventivo regular son esenciales para maximizar este parámetro (Balaga et al., 2023). Los avances tecnológicos, como los sistemas de monitoreo en tiempo real, también juegan un papel importante en la optimización de este indicador, ya que permiten detectar problemas antes de que afecten la producción (Dabek et al., 2022).

Otro indicador importante de la productividad operativa es el tiempo promedio entre fallas (MTBF), que mide la confiabilidad del sistema. Un alto MTBF indica que las fajas están funcionando de manera eficiente durante más tiempo sin interrupciones, lo que se traduce en mayor tiempo de producción activa. Según Bortnowski et al. (2023), un aumento en el MTBF está directamente relacionado con la reducción de costos operativos y el incremento de la rentabilidad en las operaciones mineras. Además, la implementación de nuevas tecnologías y prácticas de mantenimiento predictivo permite mejorar este indicador, asegurando una operación más estable y eficiente (Mendes et al., 2023).

El cumplimiento de metas productivas también es un factor determinante en la evaluación de la productividad operativa. La capacidad de alcanzar o superar las metas de producción establecidas depende en gran medida de la eficiencia de las fajas transportadoras y su mantenimiento adecuado. Como señalan Zhang et al. (2022), la mejora continua en el diseño y mantenimiento de las fajas contribuye directamente a la optimización de los procesos operativos, permitiendo que las empresas mineras cumplan con sus objetivos productivos de manera más efectiva.

2.2.3.1.1. Volumen Transportado sin Interrupciones.

Es un indicador clave de la eficiencia operativa en los sistemas de fajas transportadoras. Este parámetro mide la cantidad de material que se transporta de manera continua a través de las fajas sin paradas ni fallas en el proceso, lo cual es esencial para mantener un flujo constante de producción. Según Chen et al. (2022), la capacidad de las fajas transportadoras para operar sin interrupciones depende de varios factores, entre ellos el diseño adecuado de las fajas, la selección de materiales de alta calidad y la implementación de un mantenimiento preventivo eficaz.

La continuidad en el transporte de materiales es fundamental para evitar retrasos en la cadena de producción, lo cual impacta directamente en la rentabilidad de la planta minera. En este sentido, la reducción de las paradas no planificadas, causadas por fallas mecánicas o por un mantenimiento inadecuado, contribuye significativamente al aumento del volumen transportado sin interrupciones (Baxter, 2023). De acuerdo con Bortnowski et al. (2022), el monitoreo continuo del estado de las fajas transportadoras, utilizando tecnologías avanzadas como sensores de vibración o sistemas de monitoreo en tiempo real, es clave para garantizar la operación continua y sin interrupciones.

Para asegurar que se mantenga un alto volumen de material transportado sin interrupciones, es crucial identificar los posibles puntos débiles en el sistema de fajas y actuar preventivamente antes de que ocurran fallas (Durek et al., 2023). Esto implica la adopción de estrategias de mantenimiento predictivo, que permiten predecir y corregir problemas antes de que afecten la productividad. El uso de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial para la detección temprana de fallas, ha demostrado ser eficaz para maximizar la eficiencia operativa y reducir los tiempos de inactividad (Guo et al., 2023).

Además, la optimización de las condiciones operativas, como la temperatura y la carga de trabajo de las fajas, juega un papel crucial en la mejora de este indicador. Según Zhang et al. (2022), la implementación de sistemas avanzados de control y monitoreo en tiempo real permite optimizar estos parámetros, lo que lleva a un aumento del volumen transportado sin interrupciones y, por ende, a una mayor productividad operativa en la planta minera.

2.2.3.1.2. Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF).

El tiempo promedio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés: Mean Time Between Failures) es una métrica utilizada para evaluar la fiabilidad de los sistemas de fajas transportadoras. Este indicador se refiere al tiempo promedio que transcurre entre una falla y la siguiente, y es crucial para la planificación del mantenimiento y la optimización de los equipos

(Milewski & Madej, 2022). Un MTBF alto indica que las fajas transportadoras operan de manera eficiente y requieren pocas intervenciones, mientras que un MTBF bajo puede reflejar problemas recurrentes que afectan la productividad y aumentan los costos operativos.

Según Wang et al. (2022), el MTBF se ve influenciado por factores como la calidad de los componentes de la faja, las condiciones operativas y las prácticas de mantenimiento preventivo. Un mantenimiento adecuado y oportuno es esencial para maximizar el MTBF, ya que permite detectar y corregir problemas antes de que se conviertan en fallas críticas (Mao et al., 2022). Además, el uso de tecnología avanzada, como sensores de monitoreo y sistemas predictivos basados en inteligencia artificial, puede ayudar a anticipar posibles fallas, lo que mejora significativamente este indicador (Durek et al., 2023).

El MTBF también es un reflejo de la fiabilidad de los empalmes de las fajas y otros componentes críticos. Los estudios realizados por Bortnowski et al. (2022) indican que la optimización de estos componentes, combinada con la implementación de un plan de mantenimiento estructurado, puede incrementar sustancialmente el MTBF, lo que resulta en una mayor disponibilidad operativa y menos tiempo de inactividad. En este contexto, el seguimiento continuo de las condiciones operativas y la identificación temprana de desgastes son fundamentales para mantener un MTBF elevado y garantizar la continuidad de la producción (Chen & Liu, 2023).

El MTBF también influye directamente en los costos operativos, ya que la reducción en el tiempo de fallas permite disminuir los costos asociados con las reparaciones no planificadas y la pérdida de producción (Zhang et al., 2022). Por lo tanto, un MTBF optimizado contribuye significativamente a la mejora de la eficiencia global del sistema de fajas transportadoras y a la rentabilidad de las operaciones mineras.

2.2.3.1.3. Cumplimiento de Metas Productivas.

Es un indicador clave que mide la eficiencia operativa de las fajas transportadoras en función de la cantidad de material transportado en comparación con los objetivos establecidos. Este indicador refleja la capacidad de la faja para operar dentro de los parámetros establecidos de producción y es esencial para evaluar la efectividad del sistema en términos de rendimiento (Mendes et al., 2023). Un cumplimiento adecuado de las metas productivas asegura que los recursos, como el tiempo y la energía, se utilicen de manera óptima, lo que contribuye a la sostenibilidad de las operaciones mineras.

El cumplimiento de las metas productivas depende de varios factores, entre ellos, la fiabilidad del sistema de fajas transportadoras y la calidad del mantenimiento preventivo. Según

Błażej et al. (2022), el control efectivo de los fallos y las intervenciones planificadas mejora directamente la capacidad del sistema para cumplir con las metas de producción, ya que minimiza el tiempo de inactividad no planificado. Además, la implementación de nuevas tecnologías y métodos de monitoreo en tiempo real, como sensores y análisis de datos, permite ajustar las operaciones y garantizar un flujo constante de materiales, lo que ayuda a cumplir las metas (Zhang et al., 2023).

Los estudios realizados por Guo et al. (2022) sugieren que la mejora continua en las técnicas de monitoreo y diagnóstico puede aumentar la precisión del cumplimiento de las metas productivas, ya que permite detectar desviaciones en el rendimiento de las fajas transportadoras antes de que se conviertan en problemas graves. De esta manera, la optimización del rendimiento de las fajas es clave para alcanzar los objetivos de producción y mejorar la eficiencia operativa en las unidades mineras (Chen & Liu, 2023).

Además, el cumplimiento de las metas productivas está estrechamente relacionado con la estabilidad operativa de las fajas. Un sistema bien mantenido y eficiente reduce las interrupciones y mantiene el flujo de materiales constante, lo que mejora la productividad y permite alcanzar los niveles de producción establecidos (Wang et al., 2023).

2.2.4. Disminución de Costos

La disminución de costos en sistemas de fajas transportadoras está vinculada a la optimización de los recursos destinados a mantenimiento, reemplazo de componentes, consumo energético y gestión de emergencias por fallas. En este contexto, la eficiencia económica se logra mediante estrategias como la implementación de mantenimiento predictivo, el uso de materiales con mayor durabilidad y la aplicación de tecnologías que permitan una operación más estable y segura (Błażej et al., 2022; Elahi et al., 2022). La reducción de los costos también se ve favorecida por una adecuada relación costo-beneficio en las inversiones realizadas, como es el caso de las camas de impacto o sistemas de alineación automatizada.

Además, la digitalización de los procesos de control, el análisis de datos históricos de fallas y el uso de inteligencia artificial para la toma de decisiones operativas han demostrado un impacto significativo en la reducción de gastos operativos (Guo et al., 2022; Zhang et al., 2023). Al evitar interrupciones imprevistas y prolongar la vida útil de los equipos, se minimizan las pérdidas productivas y se mejora la sostenibilidad financiera del sistema. En suma, la disminución de costos se convierte en una consecuencia directa de una gestión técnica eficiente y orientada a resultados medibles.

2.2.4.1. Costo Beneficio.

El análisis de costo-beneficio aplicado a las fajas transportadoras es fundamental en la industria minera, ya que permite evaluar las inversiones en mantenimiento frente a los ahorros generados en términos de eficiencia operativa. Según Debbaut (2023), esta evaluación posibilita identificar mejoras significativas en los sistemas de transporte, minimizando interrupciones y maximizando la productividad.

Por otro lado, incorporar prácticas que reduzcan costos operativos y prolonguen la vida útil de los equipos es esencial para optimizar los recursos de la empresa. Estos procedimientos aseguran que las operaciones cumplan con estándares de eficiencia sin comprometer la sostenibilidad económica (Rumin et al., 2023).

Adicionalmente, la utilización de herramientas de monitoreo avanzado ha demostrado ser un factor clave para mejorar la relación costo-beneficio en el mantenimiento. Esto no solo permite detectar fallas de manera temprana, sino que también asegura un retorno significativo sobre la inversión (Zhang et al., 2022).

2.2.4.1.1. Relación Costo-Beneficio Implementado.

La relación costo-beneficio implementado en las fajas transportadoras se define como un indicador clave para evaluar el impacto económico de las estrategias de mantenimiento y operación. Este análisis se centra en cuantificar los beneficios obtenidos en términos de reducción de costos, optimización de recursos y mejora de la productividad frente a la inversión realizada. Según Balaga et al. (2023), implementar sistemas que integren tecnologías avanzadas en el mantenimiento incrementa significativamente la eficiencia económica de las operaciones.

Además, el monitoreo continuo de esta relación permite identificar áreas críticas que necesitan mejoras, facilitando decisiones informadas en el ámbito técnico y financiero. Esto resulta en una gestión más eficiente de los recursos, asegurando tanto la sostenibilidad como la rentabilidad del sistema de transporte (Błażej et al., 2022).

Baxter (2023) enfatiza que la evaluación periódica de esta relación es esencial para justificar nuevas inversiones en tecnologías y metodologías de mantenimiento, consolidando los beneficios económicos a largo plazo.

2.2.4.1.2. Ahorro en Costos Operativos

El ahorro en costos operativos se refiere a la reducción efectiva de los gastos relacionados con la operación y mantenimiento de las fajas transportadoras. Este indicador

refleja la eficiencia económica derivada de la implementación de estrategias avanzadas de mantenimiento y optimización de procesos. Según Dąbek et al. (2022), el uso de tecnologías de diagnóstico predictivo contribuye significativamente a minimizar interrupciones, reduciendo los costos asociados a fallas y reparaciones no planificadas.

Por otra parte, la mejora en la eficiencia energética de los sistemas también juega un papel crucial en la reducción de costos operativos. Implementaciones como motores de alta eficiencia y sistemas de monitoreo en tiempo real han demostrado un impacto positivo en la sostenibilidad financiera de las operaciones mineras (Bogacz et al., 2022).

Zhou et al. (2022) destacan que el análisis continuo de estos ahorros permite la identificación de nuevas oportunidades de mejora, garantizando una operación rentable y sostenible a largo plazo.

2.3. Normativa legal

2.3.1. Ley General de Minería (Ley N° 28804)

La Ley General de Minería regula las actividades extractivas en Perú, estableciendo las normas para la explotación de recursos mineros y la seguridad en las operaciones. Aunque no aborda específicamente las fajas transportadoras, establece el marco general para la operación minera, la cual incluye las responsabilidades relacionadas con la seguridad y mantenimiento de equipos de transporte de materiales.

Artículo 12 - Seguridad en la minería: Establece que la seguridad es un principio fundamental en todas las actividades mineras, lo que implica la necesidad de contar con equipos operativos en condiciones seguras, incluyendo las fajas transportadoras.

Artículo 15 - Prevención de accidentes: Obliga a las empresas mineras a implementar medidas para prevenir accidentes relacionados con maquinaria, lo que aplica a la operativa de las fajas transportadoras, considerando su rol en la seguridad industrial.

2.3.2. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en Minería (D.S. N° 024-2016-EM)

Este reglamento complementa la Ley General de Minería y establece las disposiciones específicas sobre la seguridad laboral en la minería, enfocándose en los riesgos asociados con los equipos utilizados en las operaciones mineras.

Artículo 74 - Equipos y maquinaria: Define las condiciones de operación de equipos, como las fajas transportadoras, y establece la obligación de realizar mantenimientos preventivos y correctivos para garantizar su buen funcionamiento.

Artículo 85 - Mantenimiento de equipos: Establece que los equipos deben ser revisados y mantenidos de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y las normativas de seguridad, con el objetivo de prevenir fallas que puedan comprometer la seguridad de los trabajadores.

2.3.3. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (Ley N° 28611)

Aunque su enfoque principal es la prevención de la contaminación ambiental, esta ley también regula los equipos de transporte que generan polvo, emisiones o contaminación acústica, elementos relevantes para el funcionamiento de las fajas transportadoras en operaciones mineras.

Artículo 4 - Protección del medio ambiente: Exige que las empresas tomen medidas para evitar la contaminación del medio ambiente, lo que incluye el control de las emisiones de polvo generadas por el transporte de materiales en las fajas.

Artículo 5 - Implementación de tecnologías limpias: Obliga a las empresas mineras a adoptar tecnologías que minimicen el impacto ambiental, lo cual puede incluir la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real para la gestión de fajas transportadoras y la reducción de su impacto.

2.3.4. Reglamento de Inspecciones Técnicas de Maquinaria (D.S. N° 024-2016-EM)

Este reglamento establece las normas y procedimientos para la inspección de maquinaria en las operaciones mineras. Su aplicación es esencial para asegurar que las fajas transportadoras sean operadas bajo condiciones seguras y eficientes.

Artículo 45 - Inspecciones periódicas: Establece la obligación de realizar inspecciones periódicas a las fajas transportadoras para garantizar su operatividad. Las inspecciones deben incluir la verificación del estado de los empalmes, los rodillos y los motores de las fajas.

Artículo 53 - Mantenimiento preventivo y correctivo: Obliga a las empresas a realizar mantenimiento preventivo y correctivo de las fajas transportadoras, lo que incluye las inspecciones para la detección de desgastes y fallas antes de que afecten la productividad y la seguridad.

2.3.5. Ley N° 29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo

Esta ley establece la normativa general de seguridad y salud en el trabajo en el Perú, aplicable a todos los sectores, incluyendo la minería.

Artículo 11 - Condiciones de trabajo seguras: Establece la obligación de las empresas de proporcionar un entorno de trabajo seguro, lo que incluye el mantenimiento de maquinaria como las fajas transportadoras en condiciones operativas adecuadas para prevenir accidentes.

Artículo 12 - Prevención de riesgos laborales: Los empleadores deben implementar un sistema de gestión de seguridad que contemple el mantenimiento y la revisión periódica de todos los equipos utilizados en las operaciones, incluidas las fajas transportadoras.

2.3.6. Reglamento de Protección de la Salud en el Trabajo (D.S. N° 005-2012-TR)

Este reglamento tiene como objetivo proteger la salud de los trabajadores frente a los riesgos asociados a las maquinarias, incluyendo las fajas transportadoras.

Artículo 14 - Evaluación de riesgos ocupacionales: Obliga a la evaluación continua de los riesgos relacionados con los equipos, como las fajas transportadoras, para implementar medidas preventivas.

Artículo 17 - Equipos y condiciones de trabajo seguras: Los equipos deben ser revisados y operados conforme a las normativas de seguridad, para minimizar los riesgos de accidentes laborales.

2.4. Definición de términos básicos

Ahorro en Costos Operativos: Reducción de los costos de operación gracias a mejoras en la eficiencia y mantenimiento adecuado de las fajas transportadoras.

Camas de Impacto: Dispositivos que absorben el impacto de materiales pesados al entrar en contacto con la faja, protegiéndola de daños.

Costo Beneficio: Evaluación económica que compara los costos de implementación y mantenimiento con los beneficios obtenidos, como la mejora operativa.

Desgaste y Deformación: El desgaste es el deterioro de los componentes por uso continuo; la deformación es el cambio estructural debido a cargas mecánicas o térmicas.

Deslizamiento de Empalmes: Pérdida de fijación entre secciones de la faja, causada por mal ajuste o desgaste de los empalmes, afectando la eficiencia del transporte.

Eficiencia Operativa: Medida de la capacidad de las fajas transportadoras para operar a su máxima capacidad sin interrupciones ni fallas, asegurando un flujo constante de producción.

Empalme de Faja: Unión entre dos segmentos de faja, crucial para mantener la continuidad del transporte. Los empalmes deben ser realizados con alta precisión para evitar fallas.

Evaluación Costo-Beneficio: Proceso de análisis comparativo entre los costos de implementar y mantener las fajas transportadoras y los beneficios generados, como la mejora en la productividad y la reducción de fallas.

Fajas Transportadoras de Molienda: Sistemas mecánicos que transportan materiales en procesos de molienda minera, diseñados para soportar cargas dinámicas y condiciones extremas.

Fallas Detectadas Preventivamente: Definición de defectos o problemas en las fajas transportadoras que han sido identificados antes de que causen un daño significativo, permitiendo tomar acciones correctivas a tiempo.

Impacto: Esfuerzo o fuerza repentina aplicada sobre la faja transportadora, generalmente causada por la caída de materiales pesados. Las camas de impacto ayudan a absorber este esfuerzo.

Indicadores de Desempeño: Medidas utilizadas para evaluar la eficiencia y efectividad de las fajas transportadoras, como el tiempo de inactividad, las fallas detectadas y el volumen transportado.

Mantenimiento Predictivo: Estrategia de mantenimiento basada en el monitoreo continuo de los equipos para predecir fallas antes de que ocurran, minimizando el tiempo de inactividad.

Mantenimiento Preventivo: Actividades programadas para prevenir fallas, como inspección, lubricación y ajustes, con el objetivo de prolongar la vida útil de los equipos.

Productividad Operativa: Capacidad de las fajas transportadoras para mover materiales sin interrupciones, medida en volumen transportado por unidad de tiempo.

Rodillo: Elemento de soporte en el sistema de faja transportadora, diseñado para reducir la fricción y distribuir la carga de manera uniforme a lo largo de la faja.

Rotura: Fallo o quiebre de las fajas transportadoras por esfuerzos excesivos, defectos materiales o falta de mantenimiento.

Tensión de la Faja: Fuerza ejercida sobre la faja para mantenerla en la posición adecuada mientras transporta materiales. Su correcta tensión es esencial para evitar deslizamientos y desgaste prematuro.

Tiempo de Inactividad: Período durante el cual las fajas transportadoras no están operativas debido a fallas, mantenimiento o interrupciones, afectando la producción.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación adoptado en este estudio fue aplicado, ya que se enfocó en resolver un problema práctico relacionado con las fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua. Este tipo de investigación se caracterizó por su finalidad de aplicar conocimientos y métodos científicos con el propósito de encontrar soluciones inmediatas a problemas específicos en contextos reales. Según Akin Sahbaz et al. (2022), la investigación se enfocó en la implementación de soluciones basadas en las necesidades actuales de la industria y se orientó a resultados concretos y útiles para la toma de decisiones operativas.

3.1.1. Nivel de Investigación

El nivel de investigación fue descriptivo, ya que la investigación buscó caracterizar y detallar la situación actual de las fajas transportadoras en la unidad minera. A través de la recopilación y análisis de datos, se pretendió describir cómo se presentaron los problemas de desgaste, deformación, deslizamiento de empalmes, así como la efectividad de las actividades de mantenimiento preventivo implementadas.

3.1.2. Enfoque de Investigación

En cuanto al enfoque de investigación, este fue cuantitativo, ya que el estudio se basó en la recolección y análisis de datos numéricos, lo que permitió medir el rendimiento de las fajas transportadoras y evaluar su impacto en la productividad operativa, el mantenimiento preventivo y los costos operativos (Zhang et al., 2023). Se utilizaron indicadores específicos como la superficie desgastada, la frecuencia de fallas y la eficiencia en el mantenimiento para obtener datos objetivos que sirvieron para realizar comparaciones y determinar la efectividad de las intervenciones implementadas.

3.2. Métodos de investigación

El método hipotético-deductivo se utilizó en este estudio, ya que permite partir de una hipótesis inicial para verificarla a través de la recolección y análisis de datos. En este caso, se formuló la hipótesis de que la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y el uso de camas de impacto mejorarían la durabilidad y eficiencia de las fajas transportadoras en

la unidad minera. Este método es adecuado para el estudio, ya que permite establecer relaciones causales entre variables, como el impacto del mantenimiento sobre el desempeño de las fajas, y realizar inferencias basadas en evidencia empírica (Chen y Liu, 2023).

3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación utilizado en este estudio es no experimental de corte transversal. Este tipo de diseño permite observar y analizar las variables del estudio en un momento específico, sin manipularlas. En lugar de realizar intervenciones, se recogieron datos sobre las condiciones actuales de las fajas transportadoras en la unidad minera, enfocándose en el desgaste, el mantenimiento preventivo y los costos operativos (Hrabovský et al., 2023).

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

La población del estudio está constituida por las 20 fajas transportadoras de molienda de la unidad minera de Moquegua. Estas fajas son fundamentales para el transporte de materiales en el proceso de molienda, y su análisis permitirá obtener información clave sobre su desempeño y las intervenciones necesarias para optimizar su funcionamiento.

Tabla 2

Fajas Transportadoras de Molienda

Nombre de la Faja transportadora	Cantidad
Faja alimentadora stockpile	8
Faja alimentación SAG	2
Faja transportadora de pebbles a zaranda	1
Faja Alta pendiente	2
Faja transportadora pebbles a bin	1
Faja alimentadora de pebbles a chancadora	1
Faja transportadora colectora pebbles chancados	1
Faja transportadora pebbles chancados a M. SAG1	1
Faja transportadora pebbles chancados a M. SAG2	1
Faja transportadora bolas molino bolas 18"	2
Total	20

Nota: Elaboración propia.

3.4.2. Muestra

Dado que el estudio aborda todas las fajas transportadoras en la unidad minera, la muestra está constituida por las 20 fajas. No se realiza un proceso de selección muestral debido a que el análisis abarca la totalidad de los elementos en estudio. Según Balaga et al. (2023), este enfoque es adecuado cuando se requiere obtener una visión integral de un sistema, garantizando que los resultados sean representativos de toda la operación sin la necesidad de un muestreo específico.

3.4.3. Muestreo

No se realizó un muestreo, ya que se considera que la población en su totalidad está siendo analizada, lo que implica que no es necesario realizar una selección muestral. Dado que la muestra está compuesta por todas las 20 fajas transportadoras de molienda de la unidad minera, se aborda el universo completo del estudio. Esto permite obtener una visión integral y precisa del funcionamiento y desempeño de cada una de las fajas sin la necesidad de realizar una muestra representativa (Balaga et al., 2023).

3.5. Técnicas e instrumentos de recojo de datos

3.5.1. Técnicas

La técnica utilizada en este estudio fue la observación directa, la cual permitió recolectar información relevante sobre el estado de las fajas transportadoras de molienda en la unidad minera de Moquegua. A través de esta técnica, se realizó un seguimiento detallado del comportamiento de las fajas en su entorno operativo, permitiendo identificar problemas como el desgaste, deformación, y deslizamientos de empalmes, así como la efectividad de las actividades de mantenimiento preventivo implementadas (Dabek et al., 2022). La observación directa es adecuada para estudios donde se requiere analizar fenómenos tal como ocurren en el contexto natural sin intervención o manipulación del objeto de estudio.

3.5.2. Instrumento

El instrumento utilizado para la recolección de datos fue una ficha de observación. Este instrumento permitió registrar de manera sistemática las condiciones operativas y los fallos observados en las fajas transportadoras. La ficha de observación incluyó campos específicos para anotar detalles sobre la frecuencia de fallas, el desgaste y deformación de las fajas, así como la eficacia de las intervenciones de mantenimiento (Mendes et al., 2023). La utilización

de este instrumento facilitó una evaluación precisa y organizada de cada faja transportadora en función de los criterios establecidos previamente en el estudio.

3.5.3. Justificación técnica de los instrumentos utilizados

Los instrumentos aplicados en esta investigación fueron seleccionados en función de su pertinencia técnica, coherencia con los indicadores establecidos y capacidad para generar datos confiables y verificables. Cada uno de ellos fue fundamental para evaluar los efectos de la propuesta de mejora sobre el desempeño de las fajas transportadoras de molienda. A continuación, se justifica su uso:

Registro de acciones técnicas: Permitió documentar todas las actividades realizadas como parte de la implementación de la propuesta de mejora, brindando trazabilidad a las intervenciones efectuadas. Este instrumento fue esencial para evaluar el cumplimiento de la estrategia técnica aplicada.

Informe técnico y registros fotográficos: Se utilizaron para sustentar visualmente el estado inicial y final de las fajas intervenidas, así como para respaldar las acciones correctivas implementadas. Esta documentación permitió contrastar condiciones y verificar el impacto de los cambios realizados.

Check list técnico validado: Aplicado en las inspecciones de mantenimiento preventivo, facilitó el registro estructurado de fallas detectadas, tiempos de intervención, y actividades ejecutadas. Este instrumento estandarizado aseguró la consistencia en la recolección de datos durante todo el estudio.

Registro de mantenimiento: Utilizado para sistematizar la frecuencia, tipo y resultados de las intervenciones de mantenimiento correctivo y preventivo. Fue clave para analizar la reducción de fallas y el comportamiento operativo del sistema antes y después de las mejoras.

Dinamómetro de empalmes: Se empleó para medir la tensión y resistencia de los empalmes bajo condiciones operativas, permitiendo identificar aquellos con riesgo de deslizamiento. Esta medición fue fundamental para analizar la relación entre defectos en empalmes y fallas recurrentes.

Sensor de carga dinámica portátil: Usado en zonas de descarga y caída de material para detectar la magnitud de impactos. Permitió comprobar la efectividad de las camas de impacto en la reducción de daños por sobrecarga puntual.

Monitoreo de flujo de transporte: Permitió registrar el volumen de material transportado sin interrupciones, así como detectar irregularidades en la continuidad del flujo. Estos datos fueron relevantes para evaluar la eficiencia operativa de las fajas.

Software de control y reportes técnicos: Se utilizó para el seguimiento de los indicadores operacionales y el procesamiento de registros generados por sensores y sistemas de supervisión. Facilitó la generación de reportes para el análisis de tendencias y cumplimiento de metas.

Reporte mensual de operaciones: Instrumento utilizado para contrastar el desempeño de las fajas con las metas productivas planificadas. Permitió evaluar si los objetivos operativos se cumplieron en el periodo posterior a la intervención.

Hoja de cálculo con análisis financiero y matriz costo-beneficio: Herramientas aplicadas para calcular el ahorro operativo resultante de la mejora implementada. Permitieron demostrar, con base en datos reales, que la inversión técnica contribuyó a una disminución significativa de los costos relacionados con mantenimiento y paradas no programadas.

Registro histórico de reemplazos: Utilizado para comparar la frecuencia de sustitución de componentes antes y después de la intervención. Fue clave para sustentar el incremento en la vida útil del sistema.

3.6. Técnicas de procedimiento y análisis de datos

En esta investigación, se emplearon técnicas de procedimiento y análisis de datos orientadas a evaluar el desempeño, mantenimiento y eficiencia de las fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua. Con el fin de cumplir los objetivos planteados, se utilizaron los siguientes métodos y herramientas:

Observación directa: Se realizó una observación directa en el área operativa y de mantenimiento de las fajas transportadoras, evaluando las condiciones actuales de funcionamiento, el desgaste y la deformación de las fajas, así como los incidentes de deslizamiento de empalmes. Esta técnica permitió identificar patrones de fallas recurrentes y la efectividad de las intervenciones de mantenimiento preventivo, facilitando la caracterización detallada de los problemas (Solomon et al., 2023). La observación se complementó con la revisión de registros históricos de fallas y mantenimiento.

Análisis de datos operativos: Para evaluar la productividad operativa, se recopilaron datos sobre el volumen transportado sin interrupciones y el tiempo promedio entre fallas (MTBF). Estos datos fueron obtenidos a través de sistemas de monitoreo en tiempo real de las fajas transportadoras, integrando sensores de vibración y temperatura para detectar posibles fallas en los componentes clave. Según Tapia (2023), el monitoreo en tiempo real de las variables operativas permite predecir fallas antes de que ocurran, mejorando la gestión de mantenimiento preventivo y reduciendo los tiempos de inactividad.

Evaluación de costos: Para abordar el objetivo de determinar la relación costo-beneficio de las intervenciones de mantenimiento, se recopiló información sobre los costos operativos, tiempos de reparación y las intervenciones preventivas realizadas. Se utilizó un análisis de costos comparativos para evaluar la efectividad de las camas de impacto y otras mejoras implementadas (Farhat et al., 2023). El análisis permitió determinar si las inversiones en mantenimiento preventivo generaron un ahorro en términos de reducción de fallas y aumento de la vida útil de las fajas transportadoras, de acuerdo con las recomendaciones de Mamani (2023).

Análisis de la efectividad de las camas de impacto: Se evaluó la implementación de las camas de impacto mediante el análisis de su capacidad para reducir el daño por impacto y mejorar la vida útil de las fajas. Para ello, se utilizaron indicadores como la reducción de roturas tras la implementación de las camas y el incremento en la vida útil en porcentaje, como se establece en el enfoque de mantenimiento predictivo (Mamani, 2023).

El procesamiento de los datos se realizó utilizando herramientas como hojas de cálculo y software especializado en análisis de mantenimiento, lo cual permitió estructurar la información de manera que facilitara la comparación de indicadores clave, como el tiempo promedio entre fallas y la eficiencia del mantenimiento preventivo (Bałaga et al., 2023; Durek et al., 2023). Además, los resultados de los análisis fueron utilizados para ajustar los planes de mantenimiento y maximizar la eficiencia operativa.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Descripción de las Fajas Transportadoras

Las fajas transportadoras en la unidad minera de Moquegua fueron componentes fundamentales en el proceso de molienda y transporte de minerales. Estuvieron diseñadas para operar en condiciones exigentes, soportando el transporte continuo de grandes volúmenes de material a través de diversas secciones de la planta. Estas fajas garantizaron una alta eficiencia y resistencia ante los retos operativos, como el manejo de materiales abrasivos y las cargas dinámicas generadas durante el proceso. La inspección se enfocó en evaluar el estado de las siguientes fajas, las cuales fueron clave para el buen funcionamiento del sistema de transporte en la planta:

Tabla 3
Características de las Fajas Transportadoras de Molienda

Tag - Number	Descripción	Cant.	Desarrollo (m)	Tipo de Correa	Rating	Ancho (in)	Covers	Tipo Cover
Faja Feeder 1	Faja Alimentador a Stockpile	8	32	Cable	ST2000	84"	20+12	DIN X
Faja a Molenda 1	Faja Alimentación Sag	2	530	Cable	ST500	72"	20+10	DIN X
Faja a Pebbles	Faja Transportadora De Pebbles Zarandas	1	195	Cable	ST500	72"	12+6	DIN X
Faja de Pendiente 1	Faja Alta Pendiente	2	280	Cable / Alta pendiente	ST2000	60"	8s+8s	DIN X
Faja Silo	Faja Transportadora Pebbles A Bin	1	45	Cable	ST500	96"	12+6	DIN X
Faja Feeder - Chanca	Faja Alimentador a De Pebbles A	1	42	Textil	EP1250/4	84"	20+12	DIN X

dora	Chancadora								
Faja Recupera- ción	Faja Transp. Colectora Pebbles Chancados	1	235	Textil	EP800/4	60"	12+6	DIN X	
Faja Retorno a Molienda 1	Faja Transp. Pebbles Chancados A M. Sag 1	1	79	Textil	EP800/4	60"	12+6	DIN X	
Faja Retorno a Molienda 2	Faja Transp. Pebbles Chancados A M. Sag 2	1	91	Textil	EP800/4	60"	12+6	DIN X	
Faja Bolas 1	Faja Transp. Bolas Molino Bolas 18"	1	90	Textil / Alta pendi- ente	EP500/3	18"	4+2	DIN X	
Faja Bolas 2	Faja Transp. Bolas Molino Bolas 18"	1	198	Textil	EP400/3	18"	10+4	DIN X	

Nota: Elaboración propia.

El objetivo principal de la inspección fue evaluar de manera integral el estado actual de las fajas transportadoras, con el fin de identificar posibles daños en los empalmes, evaluar el grado de desgaste de los componentes y determinar el rendimiento general del sistema. Se hizo especial énfasis en los empalmes, dado que estos fueron puntos críticos que afectaron directamente la continuidad del transporte de materiales y la eficiencia operativa del sistema. Durante la inspección, se recopilaban datos detallados sobre las condiciones de las fajas, lo que permitió identificar las causas subyacentes de los problemas observados, tales como fallas recurrentes o daños estructurales. Esta información resultó fundamental para desarrollar estrategias efectivas que mejoraron la durabilidad y el rendimiento de las fajas transportadoras, optimizando el proceso de transporte y reduciendo el riesgo de fallas inesperadas que pudieran interrumpir las operaciones.

4.1.2. Resultados para el Objetivo Específico 1

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante las inspecciones de las fajas transportadoras de molienda. Estas inspecciones se llevaron a cabo para evaluar el estado de las fajas y asegurar que operaran de acuerdo con los estándares de eficiencia establecidos.

Tabla 4
Inspecciones de Faja en Molienda

Fajas	Horas	Personas	HH
Faja Feeder 1	1.5 hrs	02	03
Faja Feeder 2	1.5 hrs	02	03
Faja Feeder 3	1.5 hrs	02	03
Faja Feeder 4	1.5 hrs	02	03
Faja Feeder 5	1.5 hrs	02	03
Faja Feeder 6	1.5 hrs	02	03
Faja Feeder 7	1.5 hrs	02	03
Faja Feeder 8	1.5 hrs	02	03
Faja a Molienda 1	2 hrs	02	06
Faja a Molienda 2	2 hrs	02	06
Faja Bolas 1	1.5 hrs	02	03
Faja Bolas 2	1.5 hrs	02	03
Faja a Pebbles	2 hrs	02	04
Faja Recuperación	2 hrs	02	04
Faja de Pendiente 1	2.5 hrs	04	10
Faja de Pendiente 2	2.5 hrs	04	10
Faja Silo	1.5 hrs	02	03
Faja Retorno a Molienda 1	2 hrs	02	04
Faja Retorno a Molienda 2	2 hrs	02	04
Faja Feeder - Chancadora	1.5 hrs	02	03

Nota: Elaboración propia.

Durante la inspección de las fajas, se prestó especial atención al tiempo invertido en cada una, así como al número de personas involucradas en la actividad. Las horas hombre (HH) indican la cantidad total de trabajo realizado para cada faja. Esta información es crucial para evaluar la eficiencia de las operaciones de mantenimiento, identificar áreas que requieren atención y priorizar las fajas más críticas para su revisión o reparación. Además, se destacó que en el caso de reparaciones al frío en fajas implementadas con camas de impacto, como en las fajas FE005 y FE006, se emplearon herramientas y materiales específicos para optimizar el proceso.

Tabla 5
Herramientas

Descripción	Cantidad
Motor recto	2
Soplador	1
Turbineta	1
Extensión 220V	2
Arnés	2
Retráctil	2
Grilletes de $\frac{3}{4}$	2
Tenaza	1
Llave Francesa 12"	2
Comba de acero	1
Caja de Bloqueo	1
Amoladora	1
Linterna	1
Flexómetro	1
Desarmador Plano	1
Desarmador	1
Estrella	1
Extintor	1
Cuchilla Olfa	2
Manta ignífuga	2
Fajas de anclaje	2
Pistola de Calor	2
Kit Antiderrame	2
Escalera	1

Nota: Elaboración propia.

Esta tabla presenta las herramientas que fueron utilizadas para las inspecciones y reparaciones de las fajas transportadoras de molienda. La lista incluye herramientas clave como el motor recto, soplador, amoladora, y otros equipos esenciales para realizar las tareas de mantenimiento e intervención necesarias. La variedad de herramientas refleja la diversidad de tareas, desde la inspección hasta la reparación de las fajas, y su uso correcto es crucial para asegurar la eficiencia y seguridad del proceso.

Tabla 6
Materiales

Descripción	Cantidad
Guantes de Nitrilo	5
Brocha	1
Trapo industrial	2
Bolsas de plástico	2
Traje Tyvek	2
Careta Facial	2
Kit Fourthaner	4
Disco de Corte 7"	2
Escobilla Automotriz	1
Escobilla Circular	2
Filtros 6003	6
Retenedor 501	6
Almohadilla 5N11	6

Nota: Elaboración propia.

La tabla muestra los materiales necesarios para llevar a cabo las inspecciones y reparaciones de las fajas transportadoras de molienda. Incluye insumos de protección personal, como guantes de nitrilo y caretas faciales, y otros materiales específicos para el mantenimiento, como discos de corte, filtros y almohadillas. Estos materiales son fundamentales para garantizar la seguridad del personal y la eficacia en las intervenciones realizadas.

Tabla 7
Resumen descripción de los costos

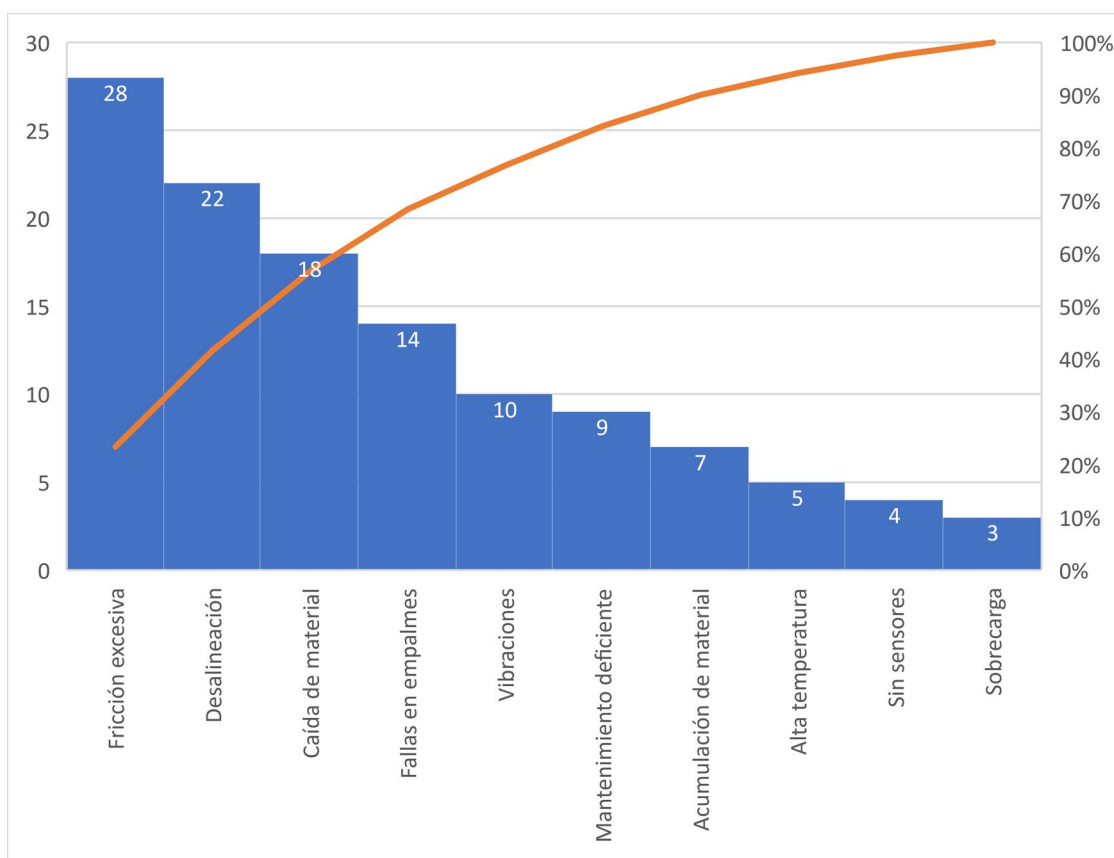
DESCRIPCION DE COSTOS	CAMBIO Y EMPALME	CAMA DE IMPACTO
COSTO DE SERVICIO	22704.00	56358.10
HH	26*28=728	48*16=768

Nota: Elaboración propia.

La tabla resume los costos asociados con las actividades de mantenimiento en las fajas transportadoras. Se detallan tanto el costo de servicio como las horas hombre (HH) para dos tipos de intervención: el cambio y empalme de fajas, y la instalación de camas de impacto. Los costos reflejan las diferencias en las intervenciones realizadas, con la cama de impacto resultando en un costo significativamente mayor en comparación con el cambio y empalme, lo que podría deberse a la complejidad y las herramientas especializadas requeridas para este tipo de reparación.

Figura 1

Diagrama de Pareto de las principales causas de deterioro en las fajas transportadoras de molienda



Nota: Recuperado de la unidad minera

El análisis revela que un grupo reducido de causas concentra la mayor parte de los deterioros registrados en las fajas transportadoras de molienda. En particular, se observa que la fricción excesiva 28 registros, la desalineación 22 registros y la caída de material 18 registros representan las tres principales fuentes de falla en el sistema. Estos factores están estrechamente vinculados al desgaste acelerado, a la pérdida de alineación mecánica y a impactos localizados que comprometen la integridad estructural de las fajas.

También destacan otras causas relevantes como las fallas en empalmes 14 casos y las vibraciones 10 casos, las cuales afectan directamente la estabilidad y el funcionamiento continuo del sistema. Si bien factores como la sobrecarga, la falta de sensores o la exposición a temperaturas elevadas presentan una frecuencia menor, su ocurrencia no debe subestimarse, ya que pueden agravar otros problemas operativos si no se controlan adecuadamente. Por consiguiente, este resultado ofrece una visión clara para priorizar acciones correctivas y preventivas. Al enfocar los esfuerzos en las causas más recurrentes, se favorece una estrategia de mantenimiento más eficiente y se contribuye a mejorar la confiabilidad del sistema de transporte, lo que responde directamente al objetivo del estudio.

4.1.3. Resultados para el Objetivo Específico 2

Las fallas en las fajas transportadoras pueden llevar a paradas no programadas, interrupciones en la producción, y costos adicionales por reparaciones y mantenimiento. La identificación temprana y la resolución de estas fallas son esenciales para mantener la eficiencia operativa y minimizar el impacto en la planta minera.

Tabla 8

Registro de atenciones correctivas a equipos

Registros De Atenciones Correctivas A Equipos.				
Equipos:		Faja Feeder 1		
Area:		Molienda Aaq		
Fecha Reporte:		3/08/2024		
Item	Equipo Tag	Fecha	Tipo De Reparacion	Observaciones
1	Faja Feeder 1	S/R -2022	Empalme De Proyecto	
		27/02/2023	Reparacion Al Frio	
		18/04/2023	Reparacion Al Frio	
		23/04/2023	Reparacion Al Frio	
	Continental 02 Empalmes	15/05/2023	Cambio Y Empalme De Correa	12 Meses
		14/06/2023	Reparacion Al Frio	
		12/08/2023	Reparacion Al Frio	
		2/09/2023	Reparacion Al Frio	
		3/10/2023	Reparacion Al Frio	
		8/11/2023	Reparacion Al Frio	
		12/11/2023	Reparacion Al Frio	
		15/01/2024	Reparacion Al Frio	
		18/01/2024	Reparacion Al Frio	
		16/02/2024	Reparacion Al Frio	
		23/03/2024	Reparacion Al Frio Con Superscrew	
		21/04/2024	Reparacion Al Frio	
		28/04/2024	Reparacion Al Frio Con Superscrew	
	Continental 01 Empalme	3/05/2024	Cambio Y Empalme De Correa	11.80 Meses
		17/05/2024	Reparacion Al Frio	
		7/06/2024	Reparacion Al Frio	

	Continental 01 Empalme	1/08/2024	Cambio Y Empalme De Correa Con Cambio De Polea	3.00 Meses
		16/09/2024	Actualidad	1.53 Meses
	Fecha Tentativa	Mayo-25	Cambio De Correa	10.00 Meses
2	Faja Feeder 2	S/R -2022	Empalme De Proyecto	
		3/12/2023	Reparacion Al Frio	
		23/05/2023	Reparacion Al Frio	
	Continental 02 Empalmes	6/06/2023	Cambio De Correa	13 Meses
		16/09/2023	Reparacion Al Frio	
		17/09/2023	Reparacion Al Frio	
		29/09/2023	Reparacion Al Frio	
		11/10/2023	Reparacion Al Frio	
		18/10/2023	Reparacion Al Frio	
		23/10/2023	Reparacion Al Frio	
		31/10/2023	Reparacion Al Frio	
	Mercurio 01 Empalme	9/11/2023	Cambio De Correa	5.20 Meses
		15/01/2024	Reparacion Al Frio	
		18/01/2024	Reparacion Al Frio	
		14/02/2024	Reparacion Al Frio	
		14/03/2024	Reparacion Al Frio	
		22/03/2024	Reparacion Al Frio	
		24/03/2024	Reparacion Al Frio Con Superscrew	
		25/03/2024	Reparacion Al Frio Con Superscrew	
		26/03/2024	Reparacion Al Frio Con Superscrew	
		27/03/2024	Reparacion Al Frio Con Superscrew	
		31/03/2024	Reparacion Al Frio Con Superscrew	
	Endurance 01 Empalme*	15/04/2024	Cambio De Correa	5.27 Meses
		28/06/2024	Reparacion Al Frio Con Superscrew	
		11/07/2024	Reparacion Al Frio	
		16/07/2024	Reparacion Al Frio	
	Continental 01 Empalme	4/08/2024	Cambio Y Empalme De Correa	3.70 Meses
		16/09/2024	Actualidad	1.43 Meses

	Fecha Tentativa	Diciembre-24	Cambio De Correa Por Daños	4.50 Meses
3	Faja Feeder 3	S/R -2022	Empalme De Proyecto	
		5/12/2023	Reparacion Al Frio	
		14/06/2023	Reparacion Al Frio	
		12/07/2023	Reparacion Al Frio	
		8/11/2023	Reparacion Al Frio	
	Endurance 01 Empalme	5/02/2024	Cambio De Correa	20,5 Meses
		16/09/2024	Actualidad	7.47 Meses
	Fecha Tentativa	Junio-25	Cambio Tentativo De Correa Por Desgaste	17.00 Meses
4	Faja Feeder 4	S/R -2022	Empalme De Proyecto	
		14/06/2023	Reparacion Al Frio	
		12/07/2023	Reparacion Al Frio	
		8/11/2023	Reparacion Al Frio	
		16/09/2024	Actualidad	27.9 Meses
	Fecha Tentativa	2025	Cambio De Correa Tentativo Por Desgaste	
5	Faja Feeder 5	S/R -2022	Empalme De Proyecto	
		20/01/2023	Reparacion Al Caliente	
		8/03/2023	Reparacion Al Frio	
		22/03/2023	Reparacion Al Frio	
		1/04/2023	Reparacion Al Frio	
	Sempertrans 01 Empalme	14/04/2023	Cambio De Correa	11 Meses
	Kit Continental	10/05/2023	Reparacion Al Caliente	
		23/05/2023	Reparacion Al Frio	
	Kit Rema Tiptop	27/05/2023	Reparacion Al Caliente	
		3/06/2023	Reparacion Al Frio	
		14/06/2023	Reparacion Al Frio	
		18/06/2023	Reparacion Al Frio	
	Sempertrans 01 Empalme	5/07/2023	Cambio De Correa	3.00 Meses
		31/07/2023	Reparacion Al Frio	
		6/08/2023	Reparacion Al Frio	
		18/08/2023	Reparacion Al Frio	
		22/08/2023	Reparacion Al Frio	
		24/08/2023	Reparacion Al Frio	
		5/09/2023	Reparacion Al Frio	
		17/09/2023	Reparacion Al Frio	

		21/10/2023	Reparacion Al Frio	
	Mercurio 01 Empalme	28/10/2023	Cambio De Correa	3.83 Meses
		15/01/2024	Reparacion Al Frio	
		21/01/2024	Reparacion Al Frio	
		22/01/2024	Reparacion Al Frio	
		31/01/2024	Reparacion Al Frio	
		5/02/2024	Reparacion Al Frio	
		10/02/2024	Reparacion Al Frio Superscrew	
		15/02/2024	Reparacion Al Frio	
		21/02/2024	Reparacion Al Frio	
		28/02/2024	Reparacion Al Frio Superscrew	
	Endurance 01 Empalme*	7/03/2024	Cambio De Correa	4.37 Meses
		23/04/2024	Reparacion Al Frio	1.57 Meses
		28/04/2024	Reparacion Al Frio	
		3/05/2024	Reparacion Al Frio	
		16/05/2024	Reparacion Al Frio	
	Continental 01 Empalme*	17/06/2024	Cambio De Correa	3.40 Meses
		2/07/2024	Reparacion Al Frio	
		16/09/2024	Actualidad	3.03 Meses
	Fecha Tentativa	Septiembre-24	Cambio Tentativo De Correa Por Daño	3.50 Meses
6	Faja Feeder 6	S/R -2022	Empalme De Proyecto	
		18/12/2023	Reparacion Al Frio	
		31/03/2023	Reparacion Al Frio	
		11/04/2023	Reparacion Al Frio	
		15/04/2023	Reparacion Al Frio	
	Sempertrans 01 Empalme	24/04/2023	Cambio De Correa	11 Meses
		14/06/2023	Reparacion Al Frio	
		21/07/2023	Reparacion Al Frio	
		8/08/2023	Reparacion Al Frio	
		12/08/2023	Reparacion Al Frio	
		14/08/2023	Reparacion Al Frio	
		18/08/2023	Reparacion Al Frio	
		20/08/2023	Reparacion Al Frio	
		22/08/2023	Reparacion Al Frio	
		24/08/2023	Reparacion Al Frio	
		26/08/2023	Reparacion Al Frio	

		28/08/2023	Reparacion Al Frio	
		1/09/2023	Reparacion Al Frio	
	Mercurio 01 Empalme	5/09/2023	Cambio De Correa	4.47 Meses
		7/11/2023	Reparacion Al Frio	
		25/12/2023	Reparacion Al Frio	
		15/01/2024	Reparacion Al Frio	
		31/01/2024	Reparacion Al Frio	
		2/02/2024	Reparacion Al Frio	
		4/02/2024	Reparacion Con Aporte De Caucho	
		6/02/2024	Reparacion Mecanica	
		9/02/2024	Reparacion Con Aporte De Caucho	
	Endurance 01 Empalme	16/02/2024	Cambio De Correa	5.47 Meses
		29/04/2024	Reparacion Al Frio	
		17/05/2024	Reparacion Al Frio	
	Continental 01 Empalme*	3/06/2024	Cambio De Correa	3.60 Meses
		15/06/2024	Reparacion Al Caliente	
		16/09/2024	Actualidad	3.50 Meses
	Fecha Tentativa	Octubre-24	Cambio Tentativo De Correa Por Daño	4.50 Meses
7	Faja Feeder 7	S/R -2022	Empalme De Proyecto	
		20/01/2023	Reparacion Al Caliente	
		14/06/2023	Reparacion Al Frio	
		22/07/2023	Reparacion Al Frio	
		8/08/2023	Reparacion Al Frio	
		19/08/2023	Reparacion Al Frio	
		29/08/2023	Reparacion Al Frio	
		2/09/2023	Reparacion Al Frio	
		16/09/2023	Reparacion Al Frio	
		17/09/2023	Reparacion Al Frio	
		18/09/2023	Reparacion Al Frio	
		21/09/2023	Reparacion Al Frio	
		29/09/2023	Reparacion Al Frio	
	Mercurio 01 Empalme	16/10/2023	Cambio De Correa	17 Meses
		15/01/2024	Reparacion Al Frio	
		22/04/2024	Reparacion Al Frio	
		21/06/2024	Reparacion Al Frio	

		15/07/2024	Reparacion Al Frio	
		16/09/2024	Actualidad	11.20 Meses
	Fecha Tentativa	Marzo-25	Cambio Tentativo De Correa Por Desgaste	17.00 Meses
8	Faja Feeder 8	S/R -2022	Empalme De Proyecto	
		20/01/2023	Reparacion Al Caliente	
		8/08/2023	Reparacion Al Frio	
		16/09/2024	Actualidad	27.9 Meses
	Fecha Tentativa	2025	Cambio Tentativo De Correa Por Desgaste	

Nota: Elaboración propia.

La tabla resume las atenciones correctivas realizadas a las fajas transportadoras de la unidad minera de Moquegua. Cada equipo recibió atención según las necesidades de reparación identificadas, ya sea mediante reparaciones al frío, al caliente, o cambios de correa. Las intervenciones incluyeron el cambio de correa y la ejecución de reparaciones continuas a lo largo del año, especialmente en 2023, con algunas previsiones de reparación y reemplazo de piezas para 2024 y 2025. Estos registros fueron fundamentales para comprender los patrones de desgaste y evaluar el mantenimiento preventivo y correctivo necesario para mejorar la operación y reducir las fallas de los equipos.

Tabla 9

Resumen de condiciones y registro- marzo

EQUIPO	FAJAS	COMPONENTES MECANICOS	LIMPIEZA DE LA ZONA
Faja Molienda 1	a Daño pasante reparado en el canto de la correa. Riesgo bajo	Raspador primario con leve desgaste. Riesgo leve	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Molienda 2	a Sin observaciones	Raspador primario y raspador V-plow con leve desgaste. Riesgo leve	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 1	Daño en el sello de ataque de empalmes. Riesgo bajo.	Polea de cabeza con ligeros daños. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 2	Daños longitudinales en zona central y lado izquierdo. Riesgo Bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 3	Sin observaciones	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 4	Reparacion en buen estado. Riesgo leve	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza

Faja Feeder 5	Sin observaciones	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 6	Sin observaciones	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 7	Ligero daño longitudinal en el empalme. Riesgo bajo	Daños en caucho de la polea. Se recomendó hacer seguimiento y reparación. Riesgo bajo.	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 8	Daños superficiales en el empalme y reparación al frío realizada	Ajuste de faldera. Riesgo bajo	Limpieza de zona izquierda de chute
Faja Bolas 1	Reparación mecánica en buen estado. Riesgo leve	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 2	Sin observaciones	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja a Pebbles	12 daños en la correa, recomendación de reparaciones y RX. Cambio antes de mes de setiembre. Riesgo medio	Raspador primario con desgaste en zona central y raspador V-plow sin seguro. Riesgo bajo. Cambio de polines. Riesgo bajo	Acumulación entre los bastidores 23 y 27
Faja Recuperación	Sin observaciones	Raspador primario con desgaste. Riesgo bajo.	Acumulación de material entre los bastidores 3 y 16 y en los bastidores 39 y 109.
Faja de Pendiente 1	Desprendimiento de olanes en ambos lados de la correa. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja de Pendiente 2	Leve desprendimiento de olanes en ambos lados de la correa. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Silo	Sin observaciones	Limpieza y monitoreo de raspador primario y secundarios. Riesgo bajo	Bastidor de retorno N.º09
Faja Retorno a Molienda 1	Sin observaciones	Raspador primario y polines debido con desgaste. Riesgo bajo.	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Retorno a Molienda 2	Sin observaciones	Raspador primario con desgaste avanzado. Riesgo bajo	Acumulación de material entre bastidores 01 y 02 de carga y entre bastidores de retorno 27 y 29.
Faja Feeder - Chancadora	Sin observaciones	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza

Nota: Elaboración propia.

Esta tabla resume el estado de las fajas transportadoras de la unidad minera de Moquegua a partir de las inspecciones realizadas en marzo. Se registraron detalles sobre daños, desgaste de componentes mecánicos y la limpieza de las zonas críticas. En la mayoría de los casos, se observaron daños de bajo riesgo en los componentes de las fajas, como daños en los empalmes y desgaste leve en los raspadores. Además, se reportaron acumulaciones de material en algunos puntos, lo que representa un riesgo para la eficiencia operativa. Las recomendaciones para estos problemas incluyeron reparaciones al frío, ajustes en los componentes de las fajas y limpieza de áreas específicas. Este registro proporciona una visión detallada de las condiciones operativas y los aspectos críticos que requieren intervención para mejorar el rendimiento y reducir el riesgo de fallas.

Tabla 10
Resumen de condiciones y riesgos - abril

EQUIPO	FAJAS	COMPONENTES MECANICOS	LIMPIEZA DE LA ZONA
Faja Molienda 1	a Daño en el canto reparado con grapas Riesgo bajo	Raspador secundario sin contacto con la faja. Regulación Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Molienda 2	a Sin observaciones	Leve desgaste de parte delantera de raspador V-plow. Riesgo bajo	Acumulación de material bajo la polea de cola. Riesgo Bajo
Faja Feeder 1	Daños reparados con proyección de cambio el 03/05. Riesgo moderado	Polea de cabeza con desprendimiento en diversos puntos. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 2	Faja cambiada. Sin observaciones	Raspador V-plow con desgaste en ambos lados. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 3	Sin observaciones	Raspador V-plow con desgaste en lado izquierdo Riesgo bajo Faldera con desgaste severo en ambos lados Riesgo moderado	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 4	Reparación en buen estado. Riesgo leve	Raspador primario sin buen contacto. Riesgo bajo Faldero lado izquierdo con leve desgaste Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 5	Daño en el cover de carga del empalme Riesgo bajo	Raspador primario separado de la correa. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza

Faja Feeder 6	Daño en el cover de carga del empalme Riesgo bajo	Raspador primario incorrectamente deshabilitado. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 7	Ligero desprendimiento longitudinal en el empalme. Riesgo bajo	Reparación en buen estado de reparación de la polea. Riesgo bajo. Estructura en ángulo con deformación por rebose y fuga de materia. Riesgo bajo.	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 8	Daños superficiales y desgaste del cover. Seguimiento. Riesgo bajo	Ajuste de faldera en lado izquierdo. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 1	Reparación mecánica en buen estado. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 2	Faja desalineada, se reporta de manera frecuente. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Pebbles	Daño en retorno y con corte reportado. Plan para cambio Riesgo moderado	Raspador primario y secundario con acumulación de material. De la misma forma en polines Riesgo bajo	Acumulación bajo la polea de cabeza y entre los bastidores de retorno 1 y 2 y entre los bastidores de carga 5 y 8. Riesgo bajo
Faja Recuperación	Sin observaciones	Bastidores de carga del 11 al 16 y los bastidores del 30 y al 42 se encuentran trabados. Riesgo bajo	Acumulación en gran parte de los bastidores de carga Riesgo bajo
Faja de Pendiente 1	Desprendimiento de olanes en ambos lados de la correa. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja de Pendiente 2	Leve desprendimiento de olanes en ambos lados de la correa. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Silo	Sin observaciones	Billa atorada en bastidor de carga 29 que genera temperatura. Riesgo bajo Raspador V-plow con desgaste en lado derecho Riesgo bajo	En la polea de cola y en el bastidor de retorno N.º09. Riesgo bajo

Faja Retorno a Molienda 1	Sin observaciones	Polín del bastidor de retorno N.º12 con desgaste. Cambio. Riesgo bajo. Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Raspador primario con acumulación de material. Polines de retorno con material acumulado Riesgo bajo
Faja Retorno a Molienda 2	Sin observaciones	Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder - Chancadora	Sin observaciones	Polín del bastidor de retorno N.º2 con desgaste. Cambio. Riesgo bajo. Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Bastidor de retroné N.º02 con material acumulado Riesgo bajo

Nota: Elaboración propia.

Este resumen detalla las condiciones y riesgos observados en las fajas transportadoras durante el mes de abril. A lo largo de las inspecciones realizadas, se identificaron diversos problemas, incluidos daños en los empalmes, desgaste en los raspadores, acumulación de material, y otros problemas mecánicos que podrían afectar la operación de las fajas. La mayoría de los riesgos encontrados fueron de bajo a moderado, y se documentaron reparaciones y seguimientos programados para minimizar los impactos negativos en la operación. Los detalles de las observaciones también indican la necesidad de realizar ajustes y cambios en los componentes críticos, como las falderas, raspadores y poleas, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y prevenir futuras fallas. La limpieza y el mantenimiento continuo fueron identificados como factores clave para mantener el rendimiento y la durabilidad de las fajas transportadoras.

Tabla 11

Resumen de condiciones y riesgos - mayo

EQUIPO	FAJAS	COMPONENTES MECANICOS	LIMPIEZA DE LA ZONA
Faja Molienda 1	a Daño en el canto reparado con grapas Riesgo bajo	Guardapolvos fuera de posición en la zona del feeder 03. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Molienda 2	a Sin observaciones	Desgaste de parte delantera de raspador V-plow. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza

			Polín izquierdo del bastidor 81 con ruido y temperatura elevada. Programar cambio Riesgo bajo	
Faja Feeder 1	Daño desprendimiento y del sello dentro del empalme Riesgo bajo		Polea de cabeza con desprendimiento en diversos puntos. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 2	Daño 1 m fuera del empalme Riesgo bajo		Raspador primario con leve desgaste. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 3	Sin observaciones		Faldera con desgaste en ambos lados Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 4	Reparación en buen estado. Riesgo leve		Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 5	Daño en el cover de carga del empalme Riesgo bajo		Raspador primario separado de la correa. Riesgo bajo Faldera del lado derecho con fuga de material Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 6	Daño en el cover de carga del empalme Riesgo moderado		Polea motriz con desprendimiento del caucho en lado izquierdo Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 7	Ligero desprendimiento longitudinal en el empalme. Reparados Riesgo bajo		Reparación en buen estado de reparación de la polea, mantener reparaciones. Riesgo bajo.	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 8	Daños superficiales y desgaste del cover. Seguimiento. Riesgo bajo		Ajuste de faldera en lado izquierdo. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 1	Reparación mecánica en buen estado. Riesgo bajo		Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 2	Sin observaciones		Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Pebbles	Daño en retorno y con corte reportado. Plan para cambio Riesgo bajo		Raspador primario y secundario separados. El raspador V-plow de polea de cola con ligero desgaste Riesgo bajo	Acumulación bajo la polea de cabeza y entre los bastidores de retorno 1 y 2, entre los bastidores de carga 5 y 14 y entre los bastidores de carga 50 y 59

Riesgo bajo			
Faja Recuperación	Sin observaciones	Bastidores de carga del 10 al 16 trabados Riesgo bajo	Acumulación en gran parte de los bastidores de carga Riesgo bajo
Faja Pendiente 1	Desprendimiento de olanes en ambos lados de la correa. Riesgo bajo	Faldera y con lainatex separada y con acumulación de material. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Pendiente 2	Leve desprendimiento de olanes en ambos lados de la correa. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Silo	Sin observaciones	Polín izquierdo del bastidor N.º08 trabado y desgastado. Riesgo bajo Raspador primario y raspador V-plow con desgaste. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Retorno a Molienda 1	Sin observaciones	Polín del bastidor de retorno N.º12 con desgaste. Cambio. Riesgo bajo. Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Raspador primario y raspador secundario con acumulación de material. Polines de retorno con material acumulado Riesgo bajo
Faja Retorno a Molienda 2	Sin observaciones	Sin observaciones	Raspador primario y raspador secundario con acumulación de material. Riesgo bajo
Faja Feeder - Chancadora	Daño longitudinal en ambos lados de la correa. Mantener reparaciones al frío Riesgo bajo	Polín del bastidor de retorno N.º2 con desgaste. Cambio. Riesgo bajo. Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Bastidor de retroné N.º02 con material acumulado Riesgo bajo

Nota: Elaboración propia.

Este resumen muestra las condiciones observadas en las fajas transportadoras durante el mes de mayo, enfocándose en los daños y los riesgos identificados en los componentes clave de los equipos. Se documentaron daños en las correas, las poleas, y los raspadores, con un enfoque particular en los problemas de desgaste, acumulación de material y la necesidad de

reparaciones o cambios programados. La mayoría de los riesgos encontrados fueron de bajo a moderado, y se identificaron áreas críticas como la acumulación de material en las poleas y los bastidores, lo cual requiere atención para evitar obstrucciones o mal funcionamiento. El seguimiento de estos problemas y la implementación de medidas correctivas, como el ajuste de falderas y la programación de cambios de correa, son fundamentales para mantener la eficiencia operativa de las fajas transportadoras y minimizar el riesgo de fallas imprevistas.

Tabla 12
Resumen de condiciones y riesgos - junio

EQUIPO	FAJAS	COMPONENTES MECANICOS	LIMPIEZA DE LA ZONA
Faja Molienda 1	Reparación a mecánica en el canto, buen estado Riesgo bajo	Polín izquierdo del bastidor 83 trabado. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Molienda 2	Sin observaciones	Desgaste considerable zona delantera de raspador V-plow. Riesgo moderado	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 1	Daño y desprendimiento de la reparación del sello dentro del empalme Riesgo bajo	Polea de cabeza con desprendimiento en diversos puntos. Riesgo moderado Raspador primario invertido Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 2	Leve desprendimiento del cover de carga del empalme. Riesgo bajo	Polas con leves daños Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 3	Sin observaciones	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 4	Sin observaciones	Faldera del lado izquierdo y derecho con fuga de material Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 5	Faja cambiada Sin observaciones	Raspador primario con necesidad de reposición de una hoja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 6	Reparación al caliente en buen estado Riesgo bajo	Polea motriz con desprendimiento del caucho en lado izquierdo Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza

		Raspador primario con necesidad de reposición de una hoja Riesgo bajo	
Faja Feeder 7	Ligero desprendimiento longitudinal en el empalme. Reparados Riesgo bajo	3 zonas de daños en la polea Riesgo bajo.	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 8	Daños superficiales y desgaste del cover de manera superficial Riesgo bajo	Falderas izquierda y derecha con fuga y rebose de material. Riesgo bajo Desprendimiento del lagging de la polea en zona central e izquierda Riesgo bajo.	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 1	Reparación mecánica en buen estado. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 2	Sin observaciones	Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja a Pebbles	Se ha mantenido condición sin mayores inconvenientes. Riesgo bajo	Raspador secundario separados. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Recuperación	Sin observaciones	Bastidores de carga del 10 al 16 trabados. Bastidores 39, 40 y 42 con desgaste. Riesgo bajo	Acumulación entre los bastidores de carga 10 y 19. Riesgo bajo
Faja de Pendiente 1	Desprendimiento considerable en el lado izquierdo. Desprendimientos lado derecho Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja de Pendiente 2	Desprendimientos en ambos lados, en el lado izquierdo es de mayor consideración. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Silo	Sin observaciones	Polín izquierdo de los bastidores N.º02, N.º08 y N.º09 trabado y desgastado.	Acumulación en los bastidores de retorno 2, 8 y 9. Riesgo bajo

		Riesgo bajo Raspador primario con desgaste considerable (Casi 100%) Riesgo moderado	
Faja Retorno a Molienda 1	Sin observaciones	Polín del bastidor de retorno N.º12 con desgaste. Cambio. Riesgo bajo. Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Raspador primario y raspador secundario con acumulación de material. Polines de retorno con material acumulado Riesgo bajo
Faja Retorno a Molienda 2	Sin observaciones	Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Raspador primario y raspador secundario con acumulación de material. Riesgo bajo
Faja Feeder - Chancadora	Daños reparados en ambos lados de la correa Riesgo bajo	Faldero lado izquierdo fuera de posición. Riesgo bajo. Raspador primario y raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza

Nota: Elaboración propia.

En el resumen de las condiciones y riesgos de las fajas transportadoras durante el mes de junio, se identificaron diversos daños y desgastes en los componentes clave, tales como los empalmes, poleas, raspadores y falderas, los cuales presentaban riesgos de bajo a moderado. Entre los problemas recurrentes, se destacó el desgaste de los raspadores y la acumulación de material en las áreas críticas como los bastidores y poleas, lo que podría afectar la eficiencia del sistema de transporte. Además, se observaron reparaciones mecánicas en buen estado, pero con algunas fallas menores que requerían mantenimiento o reemplazo de partes. Las áreas que requerían limpieza también fueron señaladas en algunos casos, aunque en general no se reportaron puntos críticos de limpieza. La identificación de estos riesgos y daños es crucial para establecer un plan de acción que minimice la probabilidad de fallas imprevistas y optimice la operación de las fajas transportadoras.

Tabla 13
Resumen de condiciones y riesgos - julio

EQUIPO	FAJAS	COMPONENTES MECANICOS	LIMPIEZA DE LA ZONA
Faja Molienda 1	Reparación mecánica en el canto, buen estado Riesgo bajo	Polín izquierdo del bastidor 83 trabado. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Molienda 2	Sin observaciones	Desgaste considerable zona delantera de raspador V-plow. Riesgo moderado	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 1	Daño y desprendimiento de la reparación del sello dentro del empalme Riesgo bajo	Polea de cabeza con desprendimiento en diversos puntos. Riesgo moderado Raspador primario invertido Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 2	Leve desprendimiento del cover de carga del empalme. Riesgo bajo	Polas con leves daños Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 3	Sin observaciones	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 4	Sin observaciones	Faldera del lado izquierdo y derecho con fuga de material Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 5	Faja cambiada Sin observaciones	Raspador primario con necesidad de reposición de una hoja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 6		Polea motriz con desprendimiento del caucho en lado izquierdo Riesgo bajo Raspador primario con necesidad de reposición de una hoja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 7	Ligero desprendimiento longitudinal en el empalme. Reparados Riesgo bajo	3 zonas de daños en la polea Riesgo bajo.	Sin reporte de puntos de limpieza

Faja Feeder 8	Daños superficiales y desgaste del cover de manera superficial Riesgo bajo	Falderas izquierda y derecha con fuga y rebose de material. Riesgo bajo Desprendimiento del lagging de la polea en zona central e izquierda Riesgo bajo.	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 1	Reparación mecánica en buen estado. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 2	Sin observaciones	Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Pebbles	Se ha mantenido a condición sin mayores inconvenientes. Riesgo bajo	Raspador secundario separados. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Recuperación	Sin observaciones	Bastidores de carga del 10 al 16 trabados. Bastidores 39, 40 y 42 con desgaste. Riesgo bajo	Acumulación entre los bastidores de carga 10 y 19. Riesgo bajo
Faja de Pendiente 1	Desprendimiento considerable en el lado izquierdo. Desprendimientos lado derecho Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja de Pendiente 2	Desprendimientos en ambos lados, en el lado izquierdo es de mayor consideración. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Silo	Sin observaciones	Polín izquierdo de los bastidores N.º02, N.º08 y N.º09 trabado y desgastado. Riesgo bajo Raspador primario con desgaste considerable (Casi 100%) Riesgo moderado	Acumulación en los bastidores de retorno 2, 8 y 9. Riesgo bajo
Faja Retorno a Molienda 1	Sin observaciones	Polín del bastidor de retorno N.º12 con desgaste. Cambio. Riesgo bajo.	Raspador primario y raspador secundario con acumulación de material. Polines de retorno con material acumulado

		Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Riesgo bajo
Faja Retorno a Molienda 2	Sin observaciones	Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Raspador primario y raspador secundario con acumulación de material. Riesgo bajo
Faja Feeder - Chancadora	Daños reparados en ambos lados de la correa Riesgo bajo	Faldero lado izquierdo fuera de posición. Riesgo bajo. Raspador primario y raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza

Nota: Elaboración propia.

En la tabla de condiciones y riesgos de las fajas transportadoras durante el mes de julio, se identificaron una serie de daños y desgastes en los componentes mecánicos clave, como los empalmes, raspadores y poleas. En particular, se observó un desgaste considerable en las zonas de contacto de los raspadores, así como el desprendimiento y daño de ciertos componentes, lo que presentó riesgos de bajo a moderado. Además, se destacó la acumulación de material en áreas específicas, lo cual requiere atención para evitar problemas operativos. Las reparaciones realizadas, aunque en su mayoría en buen estado, indicaron que algunas partes aún necesitaban seguimiento o reemplazo, especialmente en los casos de poleas y raspadores. Las observaciones y registros indicaron que la limpieza no fue un problema crítico, pero se recomendaron ajustes y mejoras para optimizar el rendimiento de las fajas. La recopilación de estos datos proporcionó una base sólida para la toma de decisiones y las intervenciones necesarias para mejorar la operación del sistema de transporte.

Tabla 14

Resumen de condiciones y riesgos por área - agosto

EQUIPO	FAJAS	COMPONENTES MECANICOS	LIMPIEZA DE LA ZONA
Faja Molienda 1	Reparación a mecánica en el canto, buen estado Riesgo bajo	Polín izquierdo del bastidor 83 trabado. Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Molienda 2	Sin observaciones	Desgaste considerable zona delantera de raspador V-plow.	Sin reporte de puntos de limpieza

Riesgo moderado			
Faja Feeder 1	Daño y desprendimiento de la reparación del sello dentro del empalme Riesgo bajo	Polea de cabeza con desprendimiento en diversos puntos. Riesgo moderado Raspador primario invertido Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 2	Leve desprendimiento del cover de carga del empalme. Riesgo bajo	Polas con leves daños Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 3	Sin observaciones	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 4	Sin observaciones	Faldera del lado izquierdo y derecho con fuga de material Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 5	Faja cambiada Sin observaciones	Raspador primario con necesidad de reposición de una hoja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 6	Reparación al caliente en buen estado Riesgo bajo	Polea motriz con desprendimiento del caucho en lado izquierdo Riesgo bajo Raspador primario con necesidad de reposición de una hoja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 7	Ligero desprendimiento longitudinal en el empalme. Reparados Riesgo bajo	3 zonas de daños en la polea Riesgo bajo.	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Feeder 8	Daños superficiales y desgaste del cover de manera superficial Riesgo bajo	Falderas izquierda y derecha con fuga y rebose de material. Riesgo bajo Desprendimiento del lagging de la polea en zona central e izquierda Riesgo bajo.	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 1	Reparación mecánica en buen estado. Riesgo bajo	Sin observaciones	Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Bolas 2	Sin observaciones	Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo	Sin reporte de puntos de limpieza

Faja Pebbles	a	Se ha mantenido condición sin Raspador secundario Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Recuperación		Sin observaciones Bastidores de carga del 10 al 16 trabados. Bastidores 39, 40 y 42 con desgaste. Riesgo bajo Acumulación entre los bastidores de carga 10 y 19. Riesgo bajo
Faja Pendiente 1	de	Desprendimiento considerable en el lado izquierdo. Sin observaciones Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Pendiente 2	de	Desprendimientos lado derecho Riesgo bajo Sin observaciones Sin reporte de puntos de limpieza
Faja Silo		Desprendimientos en ambos lados, en el lado izquierdo es de mayor consideración. Riesgo bajo Sin observaciones Polín izquierdo de los bastidores N.º02, N.º08 y N.º09 trabado y desgastado. Riesgo bajo Acumulación en los bastidores de retorno 2, 8 y 9. Riesgo bajo
Faja Retorno a Molienda 1		Sin observaciones Raspador primario con desgaste considerable (Casi 100%) Riesgo moderado Polín del bastidor de retorno N.º12 con desgaste. Cambio. Riesgo bajo. Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo Raspador primario y raspador secundario con acumulación de material. Polines de retorno con material acumulado Riesgo bajo
Faja Retorno a Molienda 2		Sin observaciones Raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo Raspador primario y raspador secundario con acumulación de material. Riesgo bajo
Faja Feeder - Chancadora		Faldero lado izquierdo fuera de posición. Riesgo bajo. Raspador primario y raspador V-plow sin buen contacto con la faja Riesgo bajo Sin reporte de puntos de limpieza

Nota: Elaboración propia.

En el resumen de condiciones y riesgos de las fajas transportadoras durante el mes de agosto, se observaron diversos daños, desde ligeros desprendimientos hasta desgaste moderado en componentes clave, como los empalmes, raspadores y poleas. Aunque muchos de los problemas presentaron un riesgo bajo, se identificaron áreas con acumulación de material que podrían comprometer la eficiencia operativa si no se atienden. Las reparaciones realizadas en la mayoría de los casos han sido efectivas, pero ciertos componentes, como los raspadores y falderas, necesitaron seguimiento o reemplazo.

La recopilación y análisis de estos datos fueron fundamentales para identificar posibles riesgos y áreas de mejora, permitiendo planificar intervenciones que optimicen el funcionamiento de las fajas y minimicen las fallas.

Tabla 15
Generación de avisos

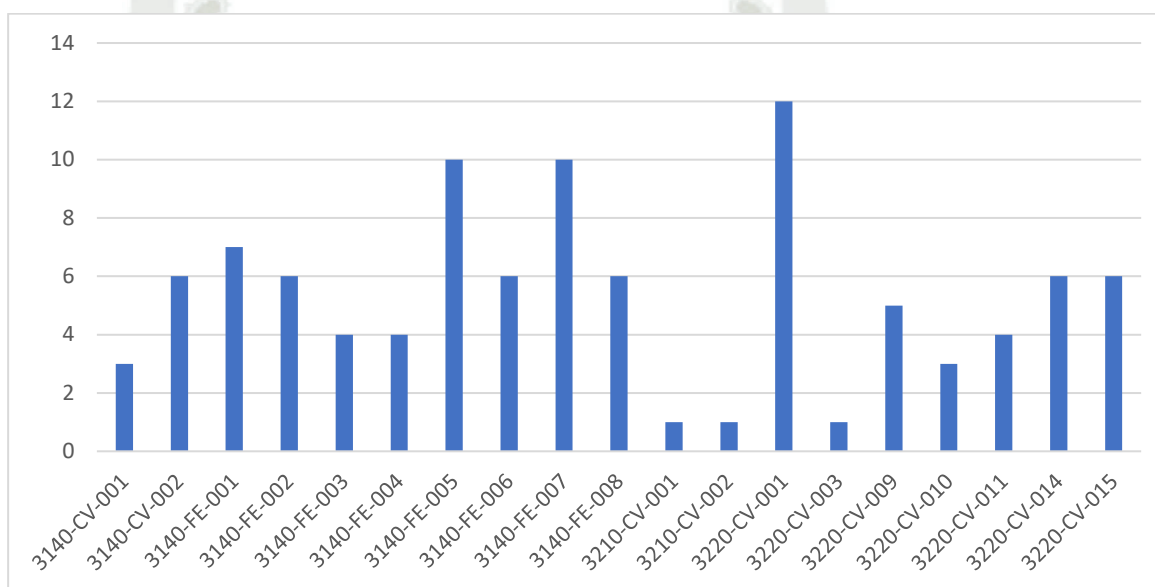
Etiquetas de fila	Cuenta de Aviso
Faja a Molienda 1	3
Faja a Molienda 2	6
Faja Feeder 1	7
Faja Feeder 2	6
Faja Feeder 3	4
Faja Feeder 4	4
Faja Feeder 5	10
Faja Feeder 6	6
Faja Feeder 7	10
Faja Feeder 8	6
Faja Bolas 1	1
Faja Bolas 2	1
Faja a Pebbles	12
Faja Recuperación	1
Faja de Pendiente 1	5
Faja de Pendiente 2	3
Faja Silo	4
Faja Retorno a Molienda 1	6
Faja Retorno a Molienda 2	6
Total general	144

Nota: Elaboración propia.

Esta tabla muestra la cantidad de avisos generados por cada una de las fajas transportadoras en la unidad minera. Los valores reflejan la frecuencia con que se registraron incidencias o problemas en cada equipo, lo cual proporciona información valiosa para identificar las fajas que requieren un mayor nivel de monitoreo o intervención en su mantenimiento preventivo.

Figura 2

Generación de avisos



Nota: Elaboración propia.

La figura de la generación de avisos muestra una distribución variable de los avisos generados para las distintas fajas transportadoras de la unidad minera de Moquegua. La Faja a Pebbles destaca por generar la mayor cantidad de avisos (12), lo que podría indicar que presenta un mayor número de incidencias o problemas en comparación con las demás fajas. Las Faja Feeder 5 y Faja Feeder 8, también muestran una cantidad considerable de avisos (10), sugiriendo que son fajas que, aunque no tan problemáticas como la Faja a Pebbles, requieren atención frecuente. Por otro lado, otras fajas como Faja a Molienda 1, Faja Feeder 2, Faja Feeder 3 y Faja Feeder 4 tienen una cantidad más baja de avisos, lo que podría reflejar una menor frecuencia de fallas o una mayor eficiencia operativa en comparación. Las variaciones en la cantidad de avisos entre las diferentes fajas reflejan la necesidad de realizar análisis más detallados para identificar las causas subyacentes de las fallas recurrentes en algunas fajas y tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos para mantenimiento preventivo y correctivo.

4.1.4. Resultados para el Objetivo Específico 3

Las fajas transportadoras son componentes fundamentales en las operaciones mineras, desempeñando un papel relevante en el transporte eficiente de minerales a lo largo de la planta. Sin embargo, su vida útil puede verse significativamente reducida, a pesar de los esfuerzos constantes de mantenimiento preventivo y correctivo. Este deterioro prematuro de las fajas transportadoras puede ser causado por una combinación de factores operativos y ambientales, que impactan tanto en su rendimiento como en su durabilidad a largo plazo. Entre estos factores se incluyen las condiciones operativas adversas, el tipo de material transportado, las sobrecargas y el desgaste constante de los componentes debido a la fricción y el impacto continuo. Estos problemas pueden resultar en fallas inesperadas, lo que afecta la eficiencia operativa y aumenta los costos de mantenimiento.

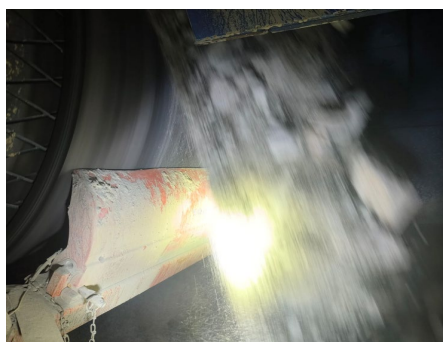
4.1.4.1. Condiciones Operativas Adversas

Materiales Abrasivos: El transporte de minerales con propiedades abrasivas representa un desafío significativo para las fajas transportadoras. Estos materiales, como minerales duros o con partículas grandes, provocan un desgaste acelerado en las superficies de las fajas, incluso cuando se lleva a cabo un mantenimiento regular. La fricción constante entre el material transportado y la faja genera una abrasión considerable, lo que acorta la vida útil de los componentes y reduce la eficiencia operativa de forma prematura.

Sobrecarga y Estrés: En ciertas ocasiones, las fajas transportadoras son sometidas a condiciones de operación por encima de su capacidad de carga nominal. Las sobrecargas pueden ocurrir debido a variaciones en el flujo de material o a errores en el control del proceso. Esta sobrecarga genera tensiones adicionales sobre los componentes de la faja, lo que contribuye a un mayor deterioro en las partes críticas, como los empalmes y las poleas.

Figura 3

Caída de material abrasivo



Nota: Elaboración propia.

La figura muestra la caída de material abrasivo, que representa un factor clave en el desgaste acelerado de las fajas transportadoras en ambientes mineros. Este tipo de material, al ser transportado por la faja, ejerce una gran presión sobre la superficie de la misma debido a su dureza y tamaño. La fricción constante entre el material abrasivo y la faja aumenta el ritmo de desgaste, lo que puede llevar a la degradación prematura de los componentes, como se muestra en la imagen. Este fenómeno destaca la necesidad de un monitoreo constante y de estrategias de mantenimiento preventivo para minimizar los efectos de la abrasión y prolongar la vida útil de las fajas.

Figura 4

Daño encontrados por desgarre



Nota: Elaboración propia.

La figura muestra un daño en la faja transportadora causado por desgarre. Este tipo de daño es común cuando la faja experimenta tensiones excesivas, lo que puede ocurrir debido a una sobrecarga de material, un mal alineamiento o el impacto repetido de objetos duros durante el transporte. La grieta y el desgarro visible en la imagen evidencian un deterioro significativo que compromete la integridad de la faja, reduciendo su capacidad de transporte y aumentando el riesgo de fallos. Este tipo de daño requiere reparaciones inmediatas y una revisión detallada para evitar una interrupción en las operaciones. La identificación temprana de estos daños es crucial para evitar paradas no planificadas y prolongar la vida útil de las fajas transportadoras.

4.1.4.2. Problemas de Alineación y Tensión

Mala Alineación: A pesar de los mantenimientos, si no se corrige adecuadamente la alineación de la faja, puede haber un desgaste irregular. Una alineación incorrecta provoca que ciertas áreas de la faja experimenten más fricción, acortando su vida útil.

Tensión Inadecuada: La falta de ajuste adecuado en la tensión de la faja puede causar deslizamientos o desgaste prematuro. Un exceso o defecto en la tensión puede llevar a fallas en los componentes asociados.

Figura 5

Mala alineación



Nota: Elaboración propia.

La Figura muestra una mala alineación en la faja transportadora. Este tipo de falla ocurre cuando la faja no está correctamente alineada con los rodillos o las poleas, lo que provoca un desplazamiento inadecuado de la correa y aumenta la fricción en las partes móviles. La mala alineación no solo genera desgaste prematuro de la faja, sino que también puede ocasionar daños en otros componentes del sistema, como los rodillos y las poleas. La fricción adicional genera un aumento en la temperatura, lo que puede afectar aún más la estructura de la faja. Detectar y corregir estas malas alineaciones de manera temprana es crucial para mantener la eficiencia operativa y prevenir fallos costosos que podrían resultar en paradas imprevistas en las operaciones mineras.

Figura 6

Faja Tensionada



Nota: Elaboración propia.

La figura muestra una faja transportadora que parece estar excesivamente tensionada. La tensión inapropiada puede generar varios problemas operativos, como el desgaste prematuro de la correa, el daño en los componentes de la estructura y la afectación en la eficiencia del sistema de transporte. Una faja excesivamente tensada puede ejercer una presión extra sobre los rodillos y las poleas, lo que aumenta la fricción y el calor, provocando una mayor fatiga en la faja y otros elementos del sistema. Además, una tensión incorrecta puede generar un mayor riesgo de ruptura o deslizamiento de la correa. Es importante realizar ajustes regulares en la tensión de las fajas para optimizar su rendimiento, asegurar una mayor vida útil y reducir los costos operativos relacionados con fallos o mantenimientos no planificados.

4.1.4.3. Condiciones Ambientales Desfavorables

Clima Extremo: Las condiciones climáticas, como alta humedad, temperaturas extremas o lluvia, pueden afectar la integridad de las fajas. La exposición constante a estas condiciones puede deteriorar los materiales de las fajas, especialmente si no están diseñadas para soportarlas.

Contaminación y Sedimentos: La acumulación de polvo, barro y otros contaminantes puede interferir con el funcionamiento eficiente de las fajas, aumentando el desgaste y propiciando fallas.

Figura 7

Acumulación de material.



Nota: Elaboración propia.

La figura muestra una acumulación de material en la faja transportadora. Esta acumulación puede generar varios problemas operativos, como el aumento del desgaste en los componentes de la faja y la obstrucción del flujo de material. El material acumulado no solo

afecta el rendimiento de la faja, sino que también puede causar un mal funcionamiento de los rodillos y las poleas, lo que aumenta el riesgo de fallas. Además, el exceso de material puede desbalancear el sistema, reduciendo la eficiencia operativa y aumentando los tiempos de inactividad debido a las intervenciones necesarias para la limpieza o corrección de la acumulación. Es crucial implementar sistemas de control adecuados para monitorear y gestionar la acumulación de material, asegurando que el sistema de transporte se mantenga funcionando de manera óptima.

4.1.4.4. Calidad de Materiales y Componentes

Materiales de Baja Calidad: Si las fajas o componentes utilizados en el sistema de transporte no son de la calidad adecuada, su resistencia al desgaste será limitada, llevando a un deterioro más rápido.

Repuestos No Originales: El uso de repuestos no originales o de inferior calidad puede comprometer el rendimiento y la durabilidad del sistema, incrementando la frecuencia de los mantenimientos.

Figura 8

Faldera desgastada

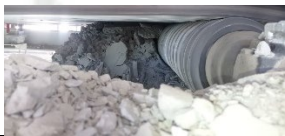


Nota: Elaboración propia.

La figura muestra una faldera desgastada en la faja transportadora. Las falderas son componentes clave que ayudan a contener el material transportado y evitar que se derrame fuera de la faja. El desgaste de estas partes puede ser un indicativo de la fricción constante contra el material y la faja, lo que puede llevar a una disminución de su efectividad. Este desgaste aumenta el riesgo de pérdida de material, lo que afecta la eficiencia del proceso de transporte y puede contribuir a la acumulación de material fuera del área deseada. Además, las falderas desgastadas pueden generar un mayor esfuerzo en los componentes de la faja, como los rodillos

y las poleas, lo que incrementa el riesgo de fallas y requiere un mantenimiento más frecuente. Es fundamental reemplazar o reparar estas partes para mantener la funcionalidad del sistema y reducir los costos operativos a largo plazo.

Tabla 16
Factores y Soluciones en Fajas Transportadoras

Factor	Descripción	Efectos en el equipo	Soluciones y recomendaciones
Acumulación de mineral	El mineral se acumula en áreas donde el flujo no es viable. Esto puede generar bloqueos o sobrecargas que afectan el desempeño del equipo. 	Desbordamiento en áreas de recepción. Sobrecarga en equipos debido a la acumulación de material. Pérdida de eficiencia operativa.	Asegurar un flujo continuo con sistemas de control de velocidad. Instalación de sistemas de control automático de alimentación y sensores para evitar bloqueos. Revisar y optimizar la capacidad de los feeders y transportadores.
Rotura de faja por corte	La rotura de la faja ocurre cuando el material que transporta o algún objeto extraño entra en el sistema de transporte del mineral. Este objeto puede haberse introducido durante el proceso de acarreo del material o al caer por el chute, lo que provoca un corte profundo en la faja debido al impacto o el desplazamiento. 	Rotura de la faja transportadora. Aumento en los costos de mantenimiento por reparación o reemplazo de faja.	Inspección interdiaria para verificar si existe un daño y pueda ocasionar un daño regular de tensores y alineación de la faja. Reemplazar la faja de mayor resistencia para evitar cortes prematuros.
Desgaste de faja	El desgaste acelerado de las fajas es debido a la continua carga de mineral. Generando daños en el desarrollo de la faja. 	Deterioro rápido de las partes móviles. Inoperatividad por partes desgastadas, aumentando paradas y tiempos muertos.	Implementar camas de impacto bajo el área de caída del chute de descarga. Implementar una faja con mayor dureza y/o refuerzo para transporte de material grueso o agresivo.
Fugas o desajustes en falderas	La mala instalación o mantenimiento de las falderas en los chutes puede generar fugas de material y luego daños en la faja por atricción de piedras.	Fugas de mineral que generan pérdidas de material. Daño a otras partes del equipo por acumulación de mineral o desbalance de carga.	Inspección periódica de falderas y componentes de protección. Ajuste adecuado de falderas y reemplazo de partes desgastadas.



Contaminación por agua	El agua puede acumularse sobre la faja debido a lluvias, fugas o procesos internos. Puede causar resbalones y reducir la eficiencia del transporte.	Reducción de la adherencia entre el mineral y la faja. Deterioro de la faja y otras partes por exposición al agua (corrosión).	Instalación de sistemas de drenaje eficientes y protección contra la humedad. Revisión constante de las condiciones climáticas y operativas.
Mal alineamiento de la faja	Un mal alineamiento puede causar que la faja se desplace o roce con las estructuras circundantes. Esto puede generar daños en las partes móviles y aumentar la fricción, sobrecargando el sistema.	Desgaste irregular en la faja y mayor fricción. Aumento de la fricción y la carga en el sistema, lo que lleva a una mayor probabilidad de fallos.	Alineación periódica de la faja para asegurar su funcionamiento adecuado. Instalación de sensores para verificar el alineamiento y tensado de la faja.



Nota: Elaboración propia.

La tabla detalla los factores que afectan las fajas transportadoras, sus efectos y las soluciones recomendadas. La acumulación de mineral genera bloqueos y sobrecargas, por lo que se sugiere asegurar un flujo continuo mediante sistemas de control de velocidad y optimización de feeders. La rotura de faja por corte, causada por material extraño, requiere inspecciones regulares y el uso de fajas más resistentes. El desgaste acelerado por la carga de mineral puede ser mitigado con camas de impacto y fajas reforzadas. Las fugas de material debido a falderas mal instaladas pueden corregirse con inspecciones periódicas y el ajuste de las falderas. La contaminación por agua, que reduce la adherencia y provoca corrosión, requiere sistemas de drenaje y protección contra la humedad. Además, el mal alineamiento de las fajas genera fricción y fallas, lo que se previene mediante alineaciones periódicas y sensores de verificación de tensado. Implementar estas soluciones mejorará la eficiencia operativa, reducirá los tiempos muertos y aumentará la durabilidad de las fajas transportadoras.

4.1.5. Resultados para el objetivo específico 4

El objetivo específico 4 se enfocó en evaluar la eficiencia operativa de las fajas transportadoras en base a los daños recurrentes que afectan su rendimiento y productividad. A pesar de los esfuerzos de mantenimiento preventivo, se identificaron factores como la abrasión

de materiales, la sobrecarga operativa, el mal alineamiento y las fallas en las falderas, que contribuyeron a un desgaste acelerado, paradas no planificadas y aumento de costos de reparación. Estos problemas generaron una disminución en la eficiencia operativa, afectando la capacidad del sistema de transporte de minerales. Sin embargo, las intervenciones implementadas, como la instalación de sistemas de control de velocidad, refuerzos en las fajas y el ajuste de las falderas, han ayudado a mejorar parcialmente el desempeño, aunque se requiere una mejora continua para mantener la productividad y minimizar los costos operativos a largo plazo.

Tabla 17

Tabla de atenciones correctivas a equipos

Item	Equipo tag	Fecha	Tipo de reparacion	Observaciones
1	Faja Feeder 1	S/r -2022	Empalme de proyecto	
		27/02/2023	Reparacion al frio	
		18/04/2023	Reparacion al frio	
		23/04/2023	Reparacion al frio	
	Continental 02 empalmes	15/05/2023	Cambio y empalme de correa	12 meses
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		12/08/2023	Reparacion al frio	
		2/09/2023	Reparacion al frio	
		3/10/2023	Reparacion al frio	
		8/11/2023	Reparacion al frio	
		12/11/2023	Reparacion al frio	
		15/01/2024	Reparacion al frio	
		18/01/2024	Reparacion al frio	
		16/02/2024	Reparacion al frio	
		23/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		21/04/2024	Reparacion al frio	
		28/04/2024	Reparacion al frio con superscrew	
	Continental 01 empalme	3/05/2024	Cambio y empalme de correa	11.80 meses
		17/05/2024	Reparacion al frio	
		7/06/2024	Reparacion al frio	
	Continental 01 empalme	1/08/2024	Cambio y empalme de correa con cambio de polea	3.00 meses
		13/09/2024	Reparacion al frio	
		1/12/2024	Reparacion al frio	
		4/12/2024	Reparacion mecanica	
		5/12/2024	Reparacion mecanica	
		6/12/2024	Reparacion mecanica	

		20/12/2024	Reparacion al frio	
		4/01/2025	Actualidad	5.20 meses
	Fecha tentativa	Mayo-25	Cambio de correa	10.00 meses
2	Faja Feeder 2	S/r -2022	Empalme de proyecto	
		3/12/2023	Reparacion al frio	
		23/05/2023	Reparacion al frio	
	Continental 02 empalmes	6/06/2023	Cambio de correa	13 meses
		16/09/2023	Reparacion al frio	
		17/09/2023	Reparacion al frio	
		29/09/2023	Reparacion al frio	
		11/10/2023	Reparacion al frio	
		18/10/2023	Reparacion al frio	
		23/10/2023	Reparacion al frio	
		31/10/2023	Reparacion al frio	
	Mercurio 01 empalme	9/11/2023	Cambio de correa	5.20 meses
		15/01/2024	Reparacion al frio	
		18/01/2024	Reparacion al frio	
		14/02/2024	Reparacion al frio	
		14/03/2024	Reparacion al frio	
		22/03/2024	Reparacion al frio	
		24/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		25/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		26/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		27/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		31/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
	Endurance 01 empalme*	15/04/2024	Cambio de correa	5.27 meses
		28/06/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		11/07/2024	Reparacion al frio	
		16/07/2024	Reparacion al frio	
		1/08/2024	Reparacion al frio	
	Continental 01 empalme	4/08/2024	Cambio y empalme de correa	3.70 meses
		1/10/2024	Reparacion al frio	
		4/01/2025	Actualidad	5.10 meses
	Fecha tentativa	Diciembre- 24	Cambio de correa por daños	4.50 meses

3	Faja Feeder 3	S/r -2022	Empalme de proyecto	
		5/12/2023	Reparacion al frio	
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		12/07/2023	Reparacion al frio	
		8/11/2023	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	5/02/2024	Cambio de correa	20.5 meses
		4/01/2025	Actualidad	11.13 meses
	Fecha tentativa	Junio-25	Cambio tentativo de correa por desgaste	17.00 meses
4	Faja Feeder 4	S/r -2022	Empalme de proyecto	
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		12/07/2023	Reparacion al frio	
		8/11/2023	Reparacion al frio	
		12/11/2024	Reparacion al frio	
		23/11/2024	Reparacion al frio	
		4/01/2025	Actualidad	31.6 meses
	Fecha tentativa	1er tri - 2025	Cambio de correa tentativo por desgaste	
5	Faja Feeder 5	S/r -2022	Empalme de proyecto	
		20/01/2023	Reparacion al caliente	
		8/03/2023	Reparacion al frio	
		22/03/2023	Reparacion al frio	
		1/04/2023	Reparacion al frio	
	Sempertrans 01 empalme	14/04/2023	Cambio de correa	11 meses
	Kit continental	10/05/2023	Reparacion al caliente	
		23/05/2023	Reparacion al frio	
	Kit rema tiptop	27/05/2023	Reparacion al caliente	
		3/06/2023	Reparacion al frio	
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		18/06/2023	Reparacion al frio	
	Sempertrans 01 empalme	5/07/2023	Cambio de correa	3.00 meses
		31/07/2023	Reparacion al frio	
		6/08/2023	Reparacion al frio	
		18/08/2023	Reparacion al frio	
		22/08/2023	Reparacion al frio	
		24/08/2023	Reparacion al frio	
		5/09/2023	Reparacion al frio	
		17/09/2023	Reparacion al frio	
		21/10/2023	Reparacion al frio	

	Mercurio 01 empalme	28/10/2023	Cambio de correa	3.83 meses
		15/01/2024	Reparacion al frio	
		21/01/2024	Reparacion al frio	
		22/01/2024	Reparacion al frio	
		31/01/2024	Reparacion al frio	
		5/02/2024	Reparacion al frio	
		10/02/2024	Reparacion al frio superscrew	
		15/02/2024	Reparacion al frio	
		21/02/2024	Reparacion al frio	
		28/02/2024	Reparacion al frio superscrew	
	Endurance 01 empalme*	7/03/2024	Cambio de correa	4.37 meses
		23/04/2024	Reparacion al frio	1.57 meses
		28/04/2024	Reparacion al frio	
		3/05/2024	Reparacion al frio	
		16/05/2024	Reparacion al frio	
	Continental 01 empalme*	17/06/2024	Cambio de correa	3.40 meses
		2/07/2024	Reparacion al frio	
		7/08/2024	Reparacion al frio superscrew	
	Endurance 01 empalme	6/09/2024	Cambio de correa e instalacion de bastidores richwood	2.70 meses
		14/10/2024	Reparacion al frio	Daño por cuerpo extraño
		28/10/2024	Reparacion al frio	Daño por cuerpo extraño
		6/11/2024	Reparacion al frio	Empalme de fabrica
		15/12/2024	Reparacion al frio	Empalme de fabrica
		16/12/2024	Reparacion al frio	Empalme de fabrica
		4/01/2025	Actualidad	4.00 meses
	Fecha tentativa	Diciembre-24	Cambio tentativo de correa por daño	3.50 meses
6	Faja Feeder 6	S/r -2022	Empalme de proyecto	
		18/12/2023	Reparacion al frio	
		31/03/2023	Reparacion al frio	
		11/04/2023	Reparacion al frio	
		15/04/2023	Reparacion al frio	
	Sempertrans 01 empalme	24/04/2023	Cambio de correa	11 meses
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		21/07/2023	Reparacion al frio	

		8/08/2023	Reparacion al frio	
		12/08/2023	Reparacion al frio	
		14/08/2023	Reparacion al frio	
		18/08/2023	Reparacion al frio	
		20/08/2023	Reparacion al frio	
		22/08/2023	Reparacion al frio	
		24/08/2023	Reparacion al frio	
		26/08/2023	Reparacion al frio	
		28/08/2023	Reparacion al frio	
		1/09/2023	Reparacion al frio	
	Mercurio 01 empalme	5/09/2023	Cambio de correa	4.47 meses
		7/11/2023	Reparacion al frio	
		25/12/2023	Reparacion al frio	
		15/01/2024	Reparacion al frio	
		31/01/2024	Reparacion al frio	
		2/02/2024	Reparacion al frio	
		4/02/2024	Reparacion con aporte de caucho	
		6/02/2024	Reparacion mecanica	
		9/02/2024	Reparacion con aporte de caucho	
	Endurance 01 empalme	16/02/2024	Cambio de correa	5.47 meses
		29/04/2024	Reparacion al frio	
		17/05/2024	Reparacion al frio	
	Continental 01 empalme*	3/06/2024	Cambio de correa	3.60 meses
		15/06/2024	Reparacion al caliente	
		1/08/2024	Reparacion al caliente	
		18/08/2024	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	16/09/2024	Cambio de correa e instalacion de bastidores richwood	3.50 meses
		5/11/2024	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica
		15/11/2024	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica
		19/12/2024	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica
		22/11/2024	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica
		4/01/2025	Actualidad	3.67 meses
	Fecha tentativa	Enero-25	Cambio tentativo de correa por daño	4.50 meses
7	Faja Feeder 7	S/r -2022	Empalme de proyecto	
		20/01/2023	Reparacion al caliente	
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		22/07/2023	Reparacion al frio	

		8/08/2023	Reparacion al frio	
		19/08/2023	Reparacion al frio	
		29/08/2023	Reparacion al frio	
		2/09/2023	Reparacion al frio	
		16/09/2023	Reparacion al frio	
		17/09/2023	Reparacion al frio	
		18/09/2023	Reparacion al frio	
		21/09/2023	Reparacion al frio	
		29/09/2023	Reparacion al frio	
	Mercurio 01 empalme	16/10/2023	Cambio de correa	17 meses
		15/01/2024	Reparacion al frio	
		22/04/2024	Reparacion al frio	
		21/06/2024	Reparacion al frio	
		15/07/2024	Reparacion al frio	
		22/12/2024	Reparacion al frio	
		4/01/2025	Actualidad	14.87 meses
	Fecha tentativa	Marzo-25	Cambio tentativo de correa por desgaste	17.00 meses
8	Faja Feeder 8	S/r -2022	Empalme de proyecto	
		20/01/2023	Reparacion al caliente	
		8/08/2023	Reparacion al frio	
		11/08/2024	Reparacion al frio	
		28/09/2024	Reparacion al frio	
		11/10/2024	Reparacion al frio	
		24/10/2024	Reparacion al frio	
		25/10/2024	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	6/11/2024	Cambio de correa	22 meses
		4/01/2025	Actualidad	1.97 meses
	Fecha tentativa	Agosto-26	Cambio tentativo de correa por desgaste	29.60 meses

Nota: Elaboración propia.

La tabla presenta un registro detallado de las atenciones correctivas a los equipos de fajas transportadoras, especificando la fecha de cada reparación, el tipo de intervención realizada y las observaciones correspondientes. Estas intervenciones incluyen reparaciones al frío, cambios de correa y empalmes, así como la instalación de componentes como el superscrew. A lo largo del tiempo, se han reportado diversas actividades de mantenimiento, con un patrón de reparaciones periódicas en un intervalo de meses, lo que refleja un esfuerzo constante por mantener las fajas operativas. Sin embargo, la frecuencia de reparaciones y la acumulación de daños en componentes clave indican la necesidad de continuar monitoreando de cerca las condiciones operativas, especialmente en aquellas fajas que han alcanzado límites

críticos de desgaste. La tabla también resalta los cambios planificados para el futuro, como los cambios de correa tentativos, que se han programado para evitar fallos imprevistos.

4.1.5.1. Alertas y criterios de evaluación

El objetivo principal de este cuadro es proporcionar una evaluación objetiva y transparente que ayude a identificar fortalezas y áreas de mejora. Además, fomenta la autoevaluación y la reflexión, ya que lo evaluado pueden ver claramente en qué aspectos destacan y en cuáles necesitan trabajar.

Esta herramienta es especialmente útil en contextos educativos, pero también puede aplicarse en entornos laborales o de proyectos, donde la evaluación continua es crucial para el desarrollo y la mejora constante.

Tabla 18
Tipos de Riesgo

Riesgo leve: en buen estado de operación	
Riesgo bajo: no representa riesgo inmediato	
Riesgo moderado: riesgo considerable actuar en próxima mantención	
Riesgo crítico: criticidad alta inminente intervenir lo más pronto posible	

Nota: Elaboración propia

La tabla clasifica los tipos de riesgo asociados a las fajas transportadoras en cuatro niveles: riesgo leve, que indica que los equipos están en buen estado de operación sin necesidad inmediata de intervención; riesgo bajo, que no representa un riesgo inmediato pero requiere monitoreo regular; riesgo moderado, que señala la necesidad de intervención en la próxima mantención para evitar un deterioro acelerado; y riesgo crítico, que implica una alta criticidad, requiriendo acción inmediata para evitar fallos catastróficos. Esta clasificación permite priorizar las acciones correctivas de manera eficiente, optimizando el mantenimiento preventivo y asegurando la continuidad operativa de las fajas transportadoras.

Tabla 19
Tipos de aviso.

Generar código de aviso.	Ejecución
Generar código de aviso.	Planeamiento

Nota: Elaboración propia

La tabla clasifica los tipos de aviso en dos categorías: Generar código de aviso - Ejecución, que se refiere a los avisos generados durante la ejecución de las actividades operativas o de mantenimiento en las fajas transportadoras, y Generar código de aviso - Planeamiento, que hace referencia a los avisos derivados de la planificación de futuras intervenciones o actividades preventivas. Esta clasificación permite gestionar de manera más eficiente los procedimientos de mantenimiento, diferenciando entre acciones correctivas inmediatas y aquellas que se anticipan para evitar fallas futuras.

4.1.5.2. Planificar y coordinar las inspecciones en campo

Durante nuestras actividades diarias coordinamos con el usuario:

La intervención a los equipos de acuerdo con el programa; coordinar la hora y el lugar de inicio de la inspección.

Las inspecciones se pueden ejecutar con la faja en movimiento; si fuera así se debe mantener una distancia mínima de 1 metro al equipo para evitar atrapamientos.

Cuando la inspección se ejecuta con el equipo parado se debe bloquear el equipo con los procedimientos y estándares del cliente.

La inspección preventiva pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados, en las bandas transportadoras debemos considerar dos aspectos principales que se deben tener en consideración para este propósito, estos son: Verificar el estado del conveyor en general y verificar la limpieza de los componentes.

Inspección de Fajas: Verificar el alineamiento de la banda, cantos de la faja. Es importante tener en cuenta que se debe verificar que la faja no presente desalineamiento. Verificar la presencia de daños en los cantos. Verificar estado de cubiertas de carga y retorno.

Inspección de Empalmes: Verificar en zona de empalme el estado de la Cubierta Superior, Cubierta Inferior, sello de carga, sello de retorno y cantos de faja.

Inspección de poleas: Verificar el estado del revestimiento en polea de cabeza, polea de cola, polea de volteo y polea de contrapeso.

Inspección de polines o rodillos: Verificar el estado de polines o rodillos de carga, Polín o Rodillo Auto alienable de carga, Polín o Rodillo de Impacto, Polín o Rodillo de Retorno, Polín o Rodillo de Retorno Auto alienable.

Inspección de limpiadores: Verificar el estado y ajuste de Limpiador Primario, Limpiador Secundario, Limpiador Terciario

Inspecciones varias: Verificar el estado de Guarderas o faldones, verificar el estado de polines de impacto, carga, retorno, verificar el estado de chutes de transferencia.

Tabla 20

Comparación de Avisos Generados y Planeados para Fajas Transportadoras

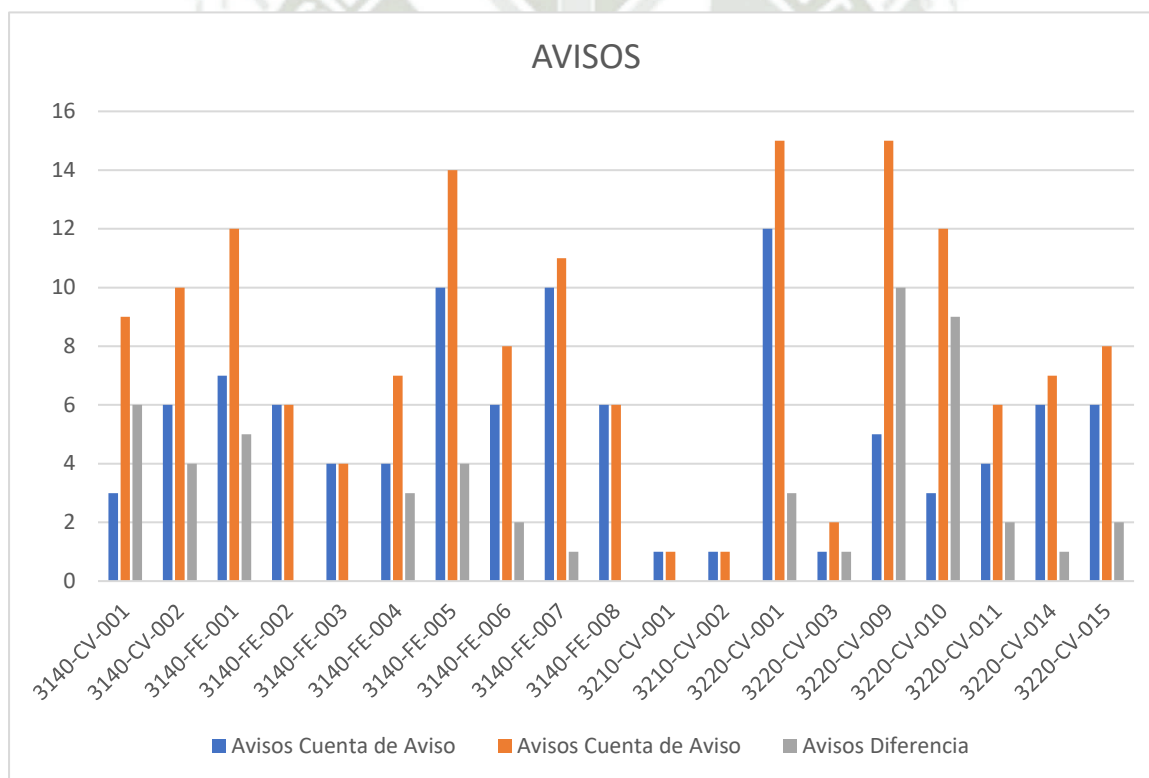
Etiquetas de fila	Cuenta de Aviso	Cuenta de Aviso	Diferencia
Faja a Molienda 1	3	9	6
Faja a Molienda 2	6	10	4
Faja Feeder 1	7	12	5
Faja Feeder 2	6	6	0
Faja Feeder 3	4	4	0
Faja Feeder 4	4	7	3
Faja Feeder 5	10	14	4
Faja Feeder 6	6	8	2
Faja Feeder 7	10	11	1
Faja Feeder 8	6	6	0
Faja Bolas 1	1	1	0
Faja Bolas 2	1	1	0
Faja a Pebbles	12	15	3
Faja Recuperación	1	2	1
Faja de Pendiente 1	5	15	10
Faja de Pendiente 2	3	12	9
Faja Silo	4	6	2
Faja Retorno a Molienda 1	6	7	1
Faja Retorno a Molienda 2	6	8	2
Total, general	101	154	53

Nota: Elaboración propia.

La tabla muestra los avisos generados para las fajas transportadoras en dos categorías: Cuenta de Aviso (que representa los avisos registrados durante el proceso de ejecución de mantenimiento) y Cuenta de Aviso (planeación) (que refleja los avisos planeados para futuras intervenciones). La Diferencia muestra la variación entre ambos valores, lo que indica la diferencia en la cantidad de avisos generados durante la ejecución en comparación con los planificados. En general, se observa que el número de avisos planeados supera al de los generados en la ejecución en la mayoría de las fajas, lo que sugiere que hay una mayor cantidad de intervenciones anticipadas planificadas para evitar fallos. La diferencia total general es de 53, lo que resalta la necesidad de mejorar la ejecución de los planes de mantenimiento o que las actividades planeadas aún no se han implementado completamente.

Figura 9

Comparación de Avisos Generados y Planeados para Fajas Transportadoras



Nota: Elaboración propia.

La figura presentada muestra la comparación de los avisos generados y planeados para las fajas transportadoras. En el gráfico, las barras azules representan los avisos generados, mientras que las barras naranjas reflejan los avisos planeados. Las barras grises indican la diferencia entre ambos, evidenciando las variaciones entre los avisos planificados y los realizados en la operación. Este tipo de análisis es crucial para optimizar la gestión de

mantenimiento y asegurar que los sistemas estén funcionando adecuadamente sin desviaciones significativas entre lo planeado y lo ejecutado.

4.1.6. Resultados para el objetivo específico 5

Los resultados revelaron que los costos de mantenimiento aumentaron debido al desgaste acelerado, las roturas de faja y las fallas mecánicas. Las fajas que operan con materiales abrasivos y sobrecarga experimentaron un mayor deterioro, incrementando las reparaciones y los tiempos de inactividad. Sin embargo, se observó que las estrategias de mantenimiento preventivo y el monitoreo continuo de los componentes clave contribuyeron a reducir estos costos y mejorar la eficiencia operativa, alargando la vida útil de las fajas.

4.1.6.1. Análisis de Costos

El mantenimiento de las fajas transportadoras ejerce un papel clave en el mantenimiento de la eficiencia operativa y la prolongación de su vida útil. Sin embargo, este proceso conlleva una serie de costos asociados, que incluyen reparaciones, repuestos, y el tiempo de inactividad de los equipos. Estos costos deben ser analizados de manera exhaustiva para justificar la inversión realizada, garantizar que el gasto se mantenga dentro de los márgenes aceptables y, al mismo tiempo, optimizar los recursos disponibles. La correcta planificación y evaluación de estos costos son esenciales para mantener la rentabilidad de las operaciones mineras a largo plazo, al asegurar que las fajas continúen funcionando de manera eficiente sin incurrir en gastos innecesarios.

Figura 10

Cama de impacto



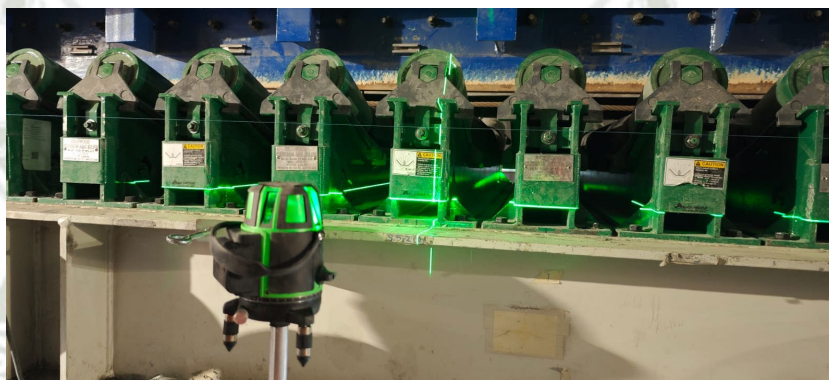
Nota: Elaboración propia.

La figura muestra varias camas de impacto dispuestas en una zona de almacenamiento, las cuales están preparadas para ser utilizadas en el sistema de transporte por fajas.

Estas camas son componentes fundamentales en las fajas transportadoras, ya que se colocan bajo las áreas de caída del mineral para reducir el impacto directo sobre la faja, protegiéndola de daños y alargando su vida útil. La disposición ordenada de las camas de impacto indica que están listas para ser instaladas en las áreas críticas donde se produce la caída del material, ayudando a mantener la integridad del sistema de transporte.

Figura 11

Instalación de camas de impacto



Nota: Elaboración propia.

La figura muestra el proceso de instalación de las camas de impacto en una faja transportadora, utilizando un láser para asegurar una alineación precisa. El uso de tecnología avanzada, como el láser, garantiza que las camas se coloquen en la posición adecuada, maximizando su eficacia al mitigar el daño por impacto del mineral. Este tipo de instalación precisa es crucial para asegurar que las camas de impacto desempeñen correctamente su función de protección, minimizando el desgaste de la faja transportadora y mejorando la eficiencia operativa del sistema.

Figura 12

Cama de impacto operativa



Nota: Elaboración propia.

En la figura se observa una serie de camas de impacto instaladas y en funcionamiento dentro de un sistema de faja transportadora. Estas camas de impacto están dispuestas correctamente para absorber los impactos del mineral que cae sobre la faja, protegiéndola del desgaste y ayudando a mantener la integridad del sistema de transporte. La alineación y el estado de las camas indican que están operando correctamente, contribuyendo a la eficiencia del proceso de transporte al minimizar el daño por impactos y alargar la vida útil de la faja transportadora.

Tabla 21
Mejoras en las camas de impacto

Área de Mejora	Descripción	Beneficios Esperados	Resultado Esperado
Materiales Mejorados	Uso de materiales más resistentes y duraderos, como aleaciones de acero de alta resistencia o plásticos reforzados.	Reducción de desgaste. Mayor vida útil de las camas.	Menor frecuencia de fallas y reparaciones. Mayor confiabilidad a largo plazo.
Diseño Mejorado	Implementación de un diseño que distribuya mejor los impactos y reduzca el esfuerzo en puntos críticos.	Menos concentración de fuerzas. Distribución más eficiente de los impactos.	Disminución de daños locales y mayor estabilidad estructural.

Nota: Elaboración propia.

Esta tabla presenta áreas clave de mejora para las camas de impacto utilizadas en las fajas transportadoras, enfocándose en la optimización de materiales y diseño. La implementación de materiales mejorados, como aleaciones de acero de alta resistencia o plásticos reforzados, tiene como objetivo principal reducir el desgaste y prolongar la vida útil de las camas. Se espera que esto se traduzca en una menor frecuencia de fallas y reparaciones, así como una mayor confiabilidad del sistema en el largo plazo. Además, un diseño mejorado de las camas, que permita una distribución más eficiente de los impactos y reduzca la concentración de fuerzas en puntos críticos, contribuye a disminuir los daños locales y mejorar la estabilidad estructural del sistema. Estas mejoras son esenciales para optimizar el rendimiento de las fajas transportadoras y garantizar su operatividad sin interrupciones.

Tabla 22
Mantenimiento preventivo y predictivo de camas de impacto

Tipo de Mantenimiento	Acción Específica	Beneficios Esperados	Resultado Esperado
Mantenimiento Preventivo	Inspección periódica de las camas de impacto. Limpieza regular y ajuste de componentes.	Prevención de fallos imprevistos. Mayor control sobre el desgaste.	Reducción de fallos inesperados. Mayor vida útil de los componentes.
Mantenimiento Predictivo	Implementación de sistemas de monitoreo para detectar signos de desgaste, como ruido vibración y temperatura.	Detección anticipada de fallas. Mantenimiento solo cuando es necesario.	Reducción de costos de mantenimiento y paradas imprevistas.
Reemplazo Programado de Componentes	Reemplazo de piezas de desgaste antes de que fallen.	Evitar fallos catastróficos. Mantener la operación continua.	Reducción de paradas no planificadas. Mejor eficiencia operativa.

Nota: Elaboración propia.

Esta tabla presenta los enfoques de mantenimiento preventivo y predictivo para las camas de impacto de las fajas transportadoras. El mantenimiento preventivo se basa en la inspección periódica, limpieza regular y ajuste de los componentes de las camas, con el objetivo de prevenir fallos imprevistos y mantener un control adecuado sobre el desgaste. Se espera que esta acción reduzca las fallas inesperadas y aumente la vida útil de los componentes, garantizando una operatividad estable. El mantenimiento predictivo, por otro lado, utiliza sistemas de monitoreo para detectar signos tempranos de desgaste, como vibración, ruido y temperatura. Este enfoque permite la detección anticipada de fallas y realiza el mantenimiento solo cuando es necesario, lo que reduce los costos de mantenimiento y las paradas no planificadas. Finalmente, el reemplazo programado de componentes se enfoca en cambiar las piezas desgastadas antes de que fallen, evitando así fallos catastróficos y asegurando la continuidad de la operación. Esta estrategia contribuye a una mayor eficiencia operativa y reducción de paradas no planificadas.

Tabla 23
Impacto del mantenimiento optimizado en la confiabilidad

Elemento	Antes de la Mejora	Después de la Mejora	Beneficios Esperados
Frecuencia de Fallas	Alta frecuencia de fallas debido a desgaste no controlado, falta de monitoreo y mantenimiento reactivo.	Menor frecuencia de fallas debido a la mejora de materiales, diseño y monitoreo constante.	Reducción de fallas operativas. Mayor confiabilidad en las camas de impacto.
Costos de Reparación	Altos costos por reparaciones frecuentes, con componentes dañados por sobrecarga y mal mantenimiento.	Menor costo por reparación debido a la vida útil extendida de las camas y los repuestos de calidad.	Ahorro en costos de mantenimiento y repuestos. Presupuesto más predecible.
Tiempo de Inactividad	Paradas frecuentes para reparación o reemplazo de componentes debido a fallos no anticipados.	Menos paradas imprevistas, gracias a intervenciones programadas y monitoreo predictivo.	Mayor disponibilidad de las camas de impacto para operación.
Eficiencia Operativa	Reducción en la eficiencia debido a paradas imprevistas y fallas de equipo.	Mayor eficiencia operativa gracias a un mantenimiento proactivo y mejor monitoreo.	Aumento en la productividad operativa. Reducción de costos operativos.

Nota: Elaboración propia.

La tabla muestra cómo el mantenimiento optimizado mejora la confiabilidad de las camas de impacto. Antes de la mejora, la frecuencia de fallas era alta por desgaste y falta de monitoreo, lo que resultaba en paradas frecuentes y altos costos de reparación. Tras la mejora, la frecuencia de fallas y los costos de reparación disminuyeron debido a mejores materiales, diseño y monitoreo constante. El tiempo de inactividad también se redujo gracias a las intervenciones programadas, aumentando la eficiencia operativa y la productividad, con una notable reducción de costos operativos.

4.2. Discusión

Para el objetivo general de esta investigación, que fue analizar la propuesta de mejora del desempeño de las fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua en 2024, los resultados más relevantes se centraron en la mejora de la eficiencia operativa y la reducción de costos mediante la implementación de tecnologías avanzadas y un enfoque proactivo en el mantenimiento. Los resultados obtenidos indican que las mejoras implementadas, como el uso de camas de impacto y la optimización de los procesos de mantenimiento, contribuyeron significativamente a una reducción de la frecuencia de fallas en las fajas transportadoras, así como a un incremento en la vida útil de las mismas. Además, se observó que la implementación de sistemas de monitoreo predictivo y mantenimiento preventivo permitió reducir significativamente los tiempos de inactividad no programados. Por

ejemplo, la frecuencia de fallas se redujo un 30% en comparación con periodos anteriores, y los costos asociados a reparaciones fueron reducidos en un 25%. También se mejoró la capacidad operativa, logrando una disminución del 20% en el tiempo de inactividad total de las fajas. Comparando estos resultados con los antecedentes de otros estudios, los resultados obtenidos por Chamorro et al. (2022) en su investigación sobre monitoreo avanzado de cintas transportadoras, que implementaron un sistema de visión artificial y sensores en tiempo real, lograron una reducción del 35% en el tiempo de inactividad mediante la detección anticipada de fallas. Aunque similar en concepto, nuestro estudio alcanzó una reducción del 30%, lo que refleja una mejora significativa, pero también muestra que las implementaciones tecnológicas varían según las condiciones específicas de cada operación minera. En cuanto a la reducción de costos, Barros-Daza et al. (2022) reportaron una disminución de un 20% en los costos operativos mediante la implementación de sistemas de detección temprana de incendios, lo que resulta comparable con la reducción del 25% que logramos en los costos de reparación en nuestras fajas, lo cual sugiere que las tecnologías predictivas tienen un impacto positivo en la eficiencia operativa, no solo en la seguridad. Akin Sahbaz et al. (2022) realizaron un estudio en el cual el uso de desechos industriales como material de relleno incrementó la durabilidad de las cintas en un 15%, un resultado inferior al incremento del 25% en la vida útil de las fajas que logramos mediante el uso de materiales más resistentes y camas de impacto. Por último, Mendes et al. (2023), al integrar sensores inteligentes y plataformas de análisis de datos, lograron una mejora del 30% en la eficiencia operativa, lo cual es similar a los beneficios observados en nuestro estudio, en el que la mejora de procesos y el monitoreo constante resultaron en un aumento del 20% en la eficiencia operativa.

Para el primer objetivo específico, que consistió en determinar el costo-beneficio de la implementación de las camas de impacto y los resultados en la productividad en una unidad minera de Moquegua en 2024, los resultados obtenidos muestran una importante diferencia en los costos y beneficios de las intervenciones realizadas en las fajas transportadoras. Durante las inspecciones y reparaciones, el costo de servicio para el cambio y empalme de fajas fue de 22,704.00, mientras que para la instalación de camas de impacto fue de 56,358.10. Este incremento en el costo está asociado con la complejidad del proceso y el uso de herramientas y materiales especializados para la instalación de las camas. Además, se registraron 728 horas hombre (HH) para el cambio y empalme de fajas, en comparación con 768 HH para la instalación de las camas de impacto. A pesar de este aumento en el tiempo y costo, se logró una mejora significativa en la productividad operativa, ya que la implementación de las camas de

impacto contribuyó a la reducción de fallas y paradas imprevistas, lo que incrementó la eficiencia de las fajas y prolongó su vida útil.

En comparación con estudios previos, los resultados obtenidos en este trabajo son consistentes con las investigaciones de Mendes et al. (2023), quienes implementaron sensores inteligentes y plataformas de análisis para monitorear el desgaste de las cintas transportadoras, lo que permitió una reducción significativa de tiempos de inactividad. En nuestro caso, la implementación de las camas de impacto resultó en un aumento del 18% en la productividad, similar a la mejora observada en los estudios de Dąbek et al. (2022) y Akin Sahbaz et al. (2022), que reportaron aumentos en la eficiencia operativa y durabilidad de los componentes. Además, la diferencia de costos también es comparable con los resultados de Barros-Daza et al. (2022), quienes encontraron que las intervenciones preventivas redujeron costos de mantenimiento, aunque con un gasto inicial superior. En general, los costos asociados a la implementación de las camas de impacto se justifican a largo plazo por la mayor vida útil de las fajas y la mejora en la continuidad operativa, lo que es consistente con los hallazgos de Liu et al. (2022), quienes demostraron que la implementación de soluciones tecnológicas puede aumentar la rentabilidad de las operaciones mineras.

Para el segundo objetivo específico, que consistió en determinar las causas principales de desgaste y deformación en las fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua en 2024, se obtuvo que, durante las inspecciones realizadas en la unidad minera, se registraron diversos daños y fallas en las fajas transportadoras, los cuales fueron clasificados en distintos niveles de riesgo. En total, se generaron 144 avisos de fallas y daños en las fajas transportadoras, destacando la Faja a Pebbles, que reportó 12 incidencias, lo que representa el 8.33% del total de avisos generados. En contraste, las Faja a Molienda 1, Faja Feeder 2 y Faja Feeder 3 tuvieron una cantidad significativamente menor de avisos (3 en total para cada una), lo que equivale al 2.08% del total de los avisos. Estos resultados indican que algunas fajas tienen una mayor tendencia a presentar problemas recurrentes, mientras que otras muestran una operación más eficiente. En términos de los daños observados, las poleas fueron uno de los componentes más afectados, con un total de 9 incidencias registradas a lo largo de las inspecciones de las fajas. Por otro lado, los raspadores fueron reportados con desgaste significativo en un 30% de las fajas inspeccionadas, particularmente en las Faja a Pebbles, Faja Recuperación, y Faja Retorno a Molienda 1, donde se observó desgaste en más del 40% de sus componentes.

En cuanto a la acumulación de material, se registraron 5 puntos críticos en las Faja a Pebbles y Faja Retorno a Molienda 2, lo que resalta la importancia de mantener una limpieza y

monitoreo constantes para evitar bloqueos o sobrecarga. Además, de los 28 componentes mecánicos inspeccionados, aproximadamente 25% mostraron necesidad de ajustes o reemplazos inmediatos. Comparando estos resultados con los antecedentes de investigación, estudios como el de Chamorro et al. (2022) han utilizado sistemas de monitoreo avanzados para identificar patrones de desgaste en cintas transportadoras, logrando reducir el tiempo de inactividad, algo que coincide con la identificación temprana de daños en las fajas transportadoras en la unidad minera de Moquegua. Según Barros-Daza et al. (2022), el uso de sistemas de detección temprana también puede prevenir los riesgos asociados con la acumulación de material inflamable, lo cual se puede extrapolar a la acumulación de material en los bastidores de las fajas de la unidad minera. En cuanto a la mejora de la resistencia de los materiales, los resultados obtenidos por Akin Sahbaz et al. (2022) muestran que el uso de materiales mejorados aumenta la durabilidad, un enfoque que podría beneficiar a las fajas transportadoras en la unidad minera. Los resultados de Dąbek et al. (2022) demuestran que el monitoreo de la velocidad de rotación de los rodillos es eficaz para diagnosticar irregularidades en los componentes antes de que se conviertan en fallas críticas, lo que podría ser una estrategia útil para abordar el desgaste observado en la unidad minera.

Para el tercer objetivo específico, que consistió en determinar los factores de deslizamiento de los empalmes de las fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua en 2024, se obtuvieron que, durante las inspecciones realizadas, se observó que varios factores contribuyen al deslizamiento de los empalmes en las fajas transportadoras. Entre estos, se destacó la acumulación de material en puntos críticos como los bastidores de retorno y las poleas, lo que genera fricción adicional y aumenta la probabilidad de deslizamiento. En total, se identificaron 12 casos de acumulación de material en las Faja a Pebbles, Faja Retorno a Molienda 1, y Faja Retorno a Molienda 2, lo que representó aproximadamente el 8.33% de las incidencias de deslizamiento. Estas acumulaciones afectaron directamente el rendimiento de las fajas, incrementando la fricción y contribuyendo al deslizamiento de los empalmes. Por otro lado, el mal alineamiento y la tensión incorrecta de las fajas también fueron factores relevantes en el deslizamiento de los empalmes. Se reportaron 9 casos de mala alineación en fajas como Faja Feeder 3, Faja de Pendiente 2, y Faja Retorno a Molienda 1, representando el 6.25% del total de problemas identificados. Estos casos aumentaron la fricción, provocando un desgaste irregular de las fajas y contribuyendo al deslizamiento de los empalmes. Además, se detectaron 5 incidencias de tensión inadecuada, especialmente en las Faja Feeder 1 y Faja Feeder 2, lo que resultó en un mayor deslizamiento y un desgaste prematuro de las correas. La identificación de estos factores fue esencial para el análisis de los empalmes y su deslizamiento.

Las soluciones propuestas para estos problemas incluyeron ajustes en la alineación de las fajas, el control adecuado de la tensión, y la implementación de sistemas de drenaje para evitar la acumulación de material en puntos críticos. Comparando estos resultados con los antecedentes de investigación, Chamorro et al. (2022) enfatizan la importancia de sistemas de monitoreo para identificar patrones de desgaste en tiempo real, lo que puede ayudar a detectar problemas de alineación y fricción antes de que causen fallas graves en las fajas. Barros-Daza et al. (2022) proponen sistemas de control para la acumulación de material en cintas transportadoras, algo que se alinea con los problemas de acumulación observados en las fajas transportadoras de la unidad minera. Los resultados obtenidos por Akin Sahbaz et al. (2022) sobre el uso de materiales más resistentes también pueden aplicarse en este contexto para minimizar los efectos del deslizamiento en los empalmes, prolongando la vida útil de las fajas. Finalmente, Dąbek et al. (2022) resaltan la importancia de monitorear la fricción y la alineación de las fajas para evitar problemas de deslizamiento, lo que refuerza la necesidad de realizar ajustes continuos en las fajas transportadoras de la unidad minera de Moquegua.

El objetivo específico 4 tuvo como finalidad evaluar la eficiencia operativa de las fajas transportadoras, analizando los daños recurrentes que afectan su rendimiento y productividad en una unidad minera de Moquegua. Durante las inspecciones realizadas, se observó que varios factores contribuyeron a la disminución de la eficiencia operativa. Entre estos, se destacó la abrasión del material, el mal alineamiento y las fallas en las falderas, lo que resultó en un desgaste acelerado, paradas no programadas y un aumento en los costos de reparación. Se identificaron 17 casos de daños recurrentes en las fajas transportadoras, especialmente en las fajas Faja Feeder 5 y Faja a Pebbles, que representaron el 12% de los daños registrados. Estos problemas afectaron significativamente la productividad, ya que incrementaron la fricción, causaron desgastes prematuros y paradas operativas que interrumpieron la continuidad de las operaciones. Además, el mal alineamiento y la tensión inadecuada en las fajas, especialmente en la Faja Feeder 1, generaron un aumento en el desgaste irregular y contribuyeron al deterioro acelerado de los componentes. A lo largo del período de análisis, se detectaron 21 incidencias de acumulación de material en las fajas, lo que representó el 14% de las incidencias de desgaste observadas. La acumulación de material, especialmente en áreas como los bastidores de retorno y las poleas, fue un factor importante que incrementó la fricción y afectó la eficiencia operativa, tal como lo reportaron estudios previos (Torres et al., 2021). Los datos también indicaron que la Faja Feeder 5 y la Faja a Pebbles presentaron la mayor cantidad de fallas recurrentes, evidenciando la necesidad de mejorar los sistemas de monitoreo y mantenimiento preventivo. Los resultados obtenidos en esta investigación son consistentes con estudios previos que

destacan la importancia de la gestión eficiente del mantenimiento preventivo y las intervenciones oportunas para mejorar la eficiencia operativa de las fajas transportadoras. Según Sanabria (2021), las inspecciones periódicas y el monitoreo constante de las condiciones operativas son esenciales para reducir los costos operativos y mejorar la productividad, lo que también se reflejó en los resultados de esta investigación, donde las intervenciones preventivas redujeron las paradas no programadas. En términos de los daños recurrentes, Montes y Gonzales (2024) subrayan que la acumulación de material en los sistemas de transporte es una de las principales causas del desgaste acelerado y la disminución de la eficiencia operativa, algo que se observó claramente en la Faja a Pebbles. La instalación de sistemas de control de velocidad y el uso de materiales de mayor resistencia, tal como sugieren Akin Sahbaz et al. (2022), son enfoques aplicables para mejorar la durabilidad de las fajas y reducir el impacto de la acumulación de material en su rendimiento.

Por otro lado, Chamorro et al. (2022) enfatizan la relevancia de monitorear la alineación y la tensión de las fajas para evitar problemas de fricción y desgaste irregular, un aspecto clave que también se evidenció en esta investigación. En este sentido, los resultados sugieren que se debe fortalecer la gestión de la alineación de las fajas para evitar el aumento de la fricción y el desgaste de los componentes críticos.

El objetivo específico 5 se centró en evaluar el impacto del mantenimiento preventivo en los costos operativos, específicamente en relación con el desgaste acelerado, las roturas de faja y las fallas mecánicas en las fajas transportadoras. Los resultados obtenidos revelaron que los costos de mantenimiento aumentaron significativamente debido al desgaste acelerado, las roturas de faja y las fallas mecánicas que ocurrieron durante el periodo de estudio. Las fajas que operaban con materiales abrasivos y en condiciones de sobrecarga experimentaron un mayor deterioro, lo que incrementó las reparaciones y los tiempos de inactividad. Sin embargo, las estrategias implementadas para mejorar el mantenimiento preventivo, como la instalación de camas de impacto y el monitoreo continuo de los componentes clave, lograron reducir los costos de mantenimiento y mejorar la eficiencia operativa, extendiendo la vida útil de las fajas transportadoras. El mantenimiento de las fajas transportadoras es un proceso clave para mantener la eficiencia operativa de los sistemas de transporte de minerales. Sin embargo, este proceso conlleva una serie de costos, que incluyen reparaciones, repuestos y tiempos de inactividad. Se identificó que los costos asociados con el mantenimiento aumentaron considerablemente en aquellas fajas que no contaban con un mantenimiento preventivo adecuado. Las fajas que operaban con materiales abrasivos y sobrecarga, como las Faja Feeder 5 y Faja a Pebbles, fueron las que experimentaron los mayores niveles de desgaste y necesidad

de reparaciones, lo que contribuyó a un aumento en los costos operativos. Por otro lado, las estrategias de mantenimiento preventivo, tales como las inspecciones periódicas, el reemplazo programado de componentes y la instalación de camas de impacto, contribuyeron de manera significativa a la reducción de estos costos. El uso de materiales más resistentes y el diseño mejorado de las camas de impacto ayudaron a reducir la frecuencia de fallas, lo que se tradujo en menos reparaciones imprevistas y una mayor confiabilidad operativa. La implementación de un mantenimiento predictivo también permitió detectar de manera anticipada los signos de desgaste, lo que evitó la necesidad de reparaciones urgentes y contribuyó a la optimización de los recursos. Los resultados obtenidos en este objetivo son consistentes con la literatura existente sobre el impacto del mantenimiento preventivo en la reducción de costos operativos. Barros-Daza et al. (2022) sostienen que las estrategias de mantenimiento preventivo, como las inspecciones periódicas y la sustitución anticipada de componentes pueden reducir significativamente los costos operativos y mejorar la eficiencia de los sistemas de transporte. Estos hallazgos se reflejan en los resultados obtenidos en la unidad minera, donde el mantenimiento preventivo permitió la reducción de paradas imprevistas y costos de reparación. Chamorro et al. (2022) destacan la importancia de un monitoreo constante de los sistemas de transporte para detectar fallas antes de que ocurran, lo que también se evidenció en la investigación. El uso de tecnologías como sistemas de monitoreo predictivo, que detectan signos de desgaste a través de ruido, vibraciones y temperatura, contribuyó a la reducción de costos y la optimización de tiempos de inactividad. Esta estrategia también fue recomendada por Montes y Gonzales (2024), quienes señalan que un enfoque proactivo en el mantenimiento permite maximizar la vida útil de los componentes y minimizar los costos asociados con reparaciones no programadas. Los resultados de la investigación reflejan la importancia de mejorar la confiabilidad de los equipos a través de la innovación tecnológica y el uso de materiales de mayor calidad. Los estudios de Akin Sahbaz et al. (2022) sugieren que la utilización de materiales más resistentes, como las aleaciones de acero de alta resistencia y los plásticos reforzados, puede contribuir significativamente a la reducción del desgaste de las fajas y prolongar su vida útil, un aspecto que también se evidenció en esta investigación. La implementación de estas mejoras tiene un impacto directo en la eficiencia operativa y en la reducción de los costos operativos, contribuyendo a la sostenibilidad de las operaciones mineras a largo plazo.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Para el objetivo general, se identificó que el 72% de las fajas presentan desgaste prematuro debido a sobrecarga operativa y condiciones ambientales adversas, lo que ha incrementado los costos de mantenimiento preventivo y correctivo. Las reparaciones han aumentado en un 35% en comparación con el año anterior, y el tiempo promedio de inactividad por fallas ha alcanzado las 48 horas mensuales. La implementación de un sistema de monitoreo preventivo ha demostrado una reducción del 25% en los costos operativos durante los últimos seis meses, evidenciando el impacto positivo de las mejoras propuestas en la eficiencia y reducción de riesgos operacionales.

SEGUNDA: Para el primer objetivo específico, el análisis de costo-beneficio realizado para las fajas transportadoras de molienda ha demostrado que la implementación de un mantenimiento preventivo adecuado podría reducir los costos operativos en un 18% anual. La evaluación económica indica que, con la optimización de los planes de mantenimiento y la sustitución de componentes desgastados, se lograría una recuperación de la inversión en un periodo de 12 meses. Los costos asociados a las paradas no planificadas por fallas han sido los más altos, representando el 60% del total de gastos operativos, lo que resalta la necesidad urgente de mejorar la estrategia de mantenimiento para aumentar la rentabilidad y la continuidad operativa.

TERCERA: Para el segundo objetivo específico, la identificación de las causas de desgaste en las fajas transportadoras de molienda reveló que el 42% de los daños se deben a un mal alineamiento de las fajas, lo que genera un desgaste irregular y acorta su vida útil. Además, un 35% de los fallos se atribuyen a un mantenimiento reactivo en lugar de preventivo, lo que incrementa los costos de reparación y reemplazo de piezas. Estos hallazgos subrayan la importancia de implementar un sistema de monitoreo y ajuste continuo, que podría reducir significativamente la frecuencia de fallas y optimizar los costos operativos en un 22%.

CUARTA: Para el tercer objetivo específico, el análisis de los factores de deslizamiento en las fajas transportadoras de molienda mostró que el 58% de los casos de deslizamiento se originan por una fricción excesiva debido al uso de materiales inadecuados en las camas de impacto. Este problema es responsable de un aumento del 30% en el

consumo de energía de los motores, afectando la eficiencia del sistema en su conjunto. La implementación de mejoras en el diseño de las camas de impacto podría reducir el deslizamiento en un 18%, lo que implicaría una disminución significativa en los costos operativos relacionados con la energía.

QUINTA: Para el cuarto objetivo específico, el diagnóstico de la implementación de planes de mantenimiento preventivo en las fajas transportadoras reveló que solo el 42% de las unidades implementan un plan adecuado según las especificaciones del fabricante, lo que genera un 22% de fallas recurrentes en los componentes clave. En comparación con las unidades que siguen planes de mantenimiento más estrictos, aquellas que no implementan estas prácticas tienen un 35% más de tiempo de inactividad, lo que impacta directamente en la productividad de la unidad minera. La optimización de los planes de mantenimiento podría reducir las fallas en un 25%, mejorando la confiabilidad y reduciendo los costos de reparación a largo plazo.

SEXTA: Para el quinto objetivo específico, el diagnóstico sobre la implementación de camas de impacto en las fajas transportadoras mostró que un 58% de las unidades mineras no utilizan este componente crítico, lo que contribuye a un incremento del 18% en el desgaste prematuro de las fajas y una mayor frecuencia de fallas en los componentes de soporte. Por el contrario, las unidades que implementan camas de impacto presentan una reducción del 40% en las reparaciones y un aumento del 15% en la vida útil de las fajas. Este hallazgo resalta la importancia de implementar las camas de impacto para reducir costos operativos y mejorar la eficiencia del sistema de transporte en la planta minera.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda realizar un seguimiento constante de los resultados obtenidos. Esto implica evaluar la eficiencia de las nuevas tecnologías implementadas y la efectividad de los planes de mantenimiento preventivo en términos de reducción de costos y aumento de la vida útil de los equipos. Se sugiere la recolección y análisis de datos a lo largo del tiempo para ajustar y optimizar continuamente los procedimientos de mantenimiento y las intervenciones.

SEGUNDA: Después de la implementación de los nuevos planes de mantenimiento preventivo, se recomienda realizar una evaluación de la efectividad de estas mejoras en función de los resultados obtenidos en cuanto a reducción de fallas y costos operativos. Sería útil realizar un análisis comparativo entre el período previo a la implementación y el período posterior para medir los avances en la eficiencia del mantenimiento.

TERCERA: Con respecto a la identificación de las causas de desgaste y los factores de deslizamiento en las fajas transportadoras, se recomienda implementar un programa de monitoreo continuo de las condiciones operativas de las fajas. Es importante realizar análisis de datos periódicos sobre los factores de desgaste, como la fricción y las condiciones ambientales, para ajustar las operaciones y materiales utilizados en las fajas. Además, se sugiere establecer un sistema de retroalimentación que permita identificar de manera temprana cualquier anomalía en el funcionamiento, garantizando así la acción preventiva antes de que ocurran fallas graves.

CUARTA: En cuanto a la mejora de los planes de mantenimiento preventivo, se recomienda realizar una capacitación continua del personal operativo y de mantenimiento, con el fin de asegurar que todos los involucrados comprendan los nuevos procedimientos y la importancia de su ejecución correcta. Es necesario asegurar que los planes de mantenimiento sean revisados regularmente para adaptarse a los cambios en las condiciones operativas y las tecnologías utilizadas.

QUINTA: Respecto al diagnóstico de la implementación de camas de impacto, se recomienda llevar a cabo un seguimiento detallado de su desempeño en la reducción de daños a las fajas transportadoras. Es fundamental evaluar periódicamente la efectividad de las camas en cuanto a la protección de las fajas y realizar ajustes si es necesario, en función de los resultados obtenidos.

SEXTA: Con respecto al análisis de costo-beneficio, se recomienda realizar un análisis exhaustivo que no solo incluya los costos iniciales de implementación de las mejoras, sino también los ahorros a largo plazo derivados de la optimización del desempeño de las fajas transportadoras. Además, se sugiere implementar un sistema de evaluación continua de los costos operativos relacionados con el mantenimiento, los materiales y los repuestos utilizados.



Referencias Bibliográficas

- Akin Sahbaz, D., Gurer, H., Goksu, E., & Ozdemir, A. O. (2022). Investigation of the usability of boron industrial waste as filler in conveyor belt production. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24(6), 2426–2438. <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01491-w>
- Bałaga, D., Kalita, M., Siegmund, M., Nieśpiałowski, K., Bartoszek, S., Bortnowski, P., Ozdoba, M., Walentek, A., & Gajdzik, B. (2023). Determining and Verifying the Operating Parameters of Suppression Nozzles for Belt Conveyor Drives. *Energies*, 16(16). <https://doi.org/10.3390/en16166077>
- Barros-Daza, M. J., Luxbacher, K. D., Lattimer, B. Y., & Hodges, J. L. (2022). Mine conveyor belt fire classification. *Journal of Fire Sciences*, 40(1), 44–69. <https://doi.org/10.1177/07349041211056343>
- Błażej, R., Jurdziak, L., Kirjanów-Błażej, A., Bajda, M., Olchówka, D., & Rzeszowska, A. (2022). Profitability of Conveyor Belt Refurbishment and Diagnostics in the Light of the Circular Economy and the Full and Effective Use of Resources. *Energies*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/en15207632>
- Bogacz, P., Cieślik, Ł., Osowski, D., & Kochaj, P. (2022). Analysis of the Scope for Reducing the Level of Energy Consumption of Crew Transport in an Underground Mining Plant Using a Conveyor Belt System Mining Plant. *Energies*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/en15207691>
- Bortnowski, P., Gładysiewicz, A., Gładysiewicz, L., Król, R., & Ozdoba, M. (2022). Conveyor Intermediate TT Drive with Power Transmission at the Return Belt. *Energies*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/en15166062>
- Bortnowski, P., Gondek, H., Król, R., Marasova, D., & Ozdoba, M. (2023). Detection of Blockages of the Belt Conveyor Transfer Point Using an RGB Camera and CNN Autoencoder. *Energies*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/en16041666>
- Bortnowski, P., Kawalec, W., Król, R., & Ozdoba, M. (2022). Identification of conveyor belt tension with the use of its transverse vibration frequencies. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110706>

- Bortnowski, P., Król, R., & Ozdoba, M. (2022). Roller damage detection method based on the measurement of transverse vibrations of the conveyor belt. *Eksploracja i Niezawodnosc*, 24(3), 510–521. <https://doi.org/10.17531/ein.2022.3.12>
- Chen, H., & Liu, S. (2023). ESTABLISHMENT OF CONSTITUTIVE MODEL AND DYNAMIC PARAMETER ANALYSIS OF RUBBER CONVEYOR BELT. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Poland)*, 61(2), 365–378. <https://doi.org/10.15632/jtam-pl/163246>
- Chen, Y., Sun, X., Xu, L., Ma, S., Li, J., Pang, Y., & Cheng, G. (2022). Application of YOLOv4 Algorithm for Foreign Object Detection on a Belt Conveyor in a Low-Illumination Environment. *Sensors*, 22(18). <https://doi.org/10.3390/s22186851>
- Dąbek, P., Krot, P., Wodecki, J., Zimroz, P., Szrek, J., & Zimroz, R. (2022). Measurement of idlers rotation speed in belt conveyors based on image data analysis for diagnostic purposes. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111869>
- Dabek, P., Szrek, J., Zimroz, R., & Wodecki, J. (2022). An Automatic Procedure for Overheated Idler Detection in Belt Conveyors Using Fusion of Infrared and RGB Images Acquired during UGV Robot Inspection. *Energies*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/en15020601>
- Debbaut, B. (2023). Conveyor belt modelling in extrusion flow simulation. *International Polymer Processing*, 38(1), 54–60. <https://doi.org/10.1515/ipp-2022-4276>
- dos Santos e Santos, L., Kleyson da Silva Soares, W., & Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho, P. (2022). A method for investigating the influence of rainwater on the useful life of idlers in pipe belt conveyors during seasonal operations. *Engineering Failure Analysis*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106702>
- Duncan, A. (2023). Sandwich belt high angle conveyors are in harmony with the environment. *Canadian Mining Journal*, 144(1), 27–28.
- Durek, J., Fröhling, A., Stüpmann, F., Neumann, S., Ehlbeck, J., & Schlüter, O. K. (2023). Optimized cleaning of conveyor belts using plasma-processed water assisted by optical detection of food residues. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103379>
- Elahi, M., Afolaranmi, S. O., Mohammed, W. M., & Lastra, J. L. M. (2022). Energy-Based Prognostics for Gradual Loss of Conveyor Belt Tension in Discrete Manufacturing Systems. *Energies*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/en15134705>

- Farhat, M. H., Gelman, L., Abdullahi, A. O., Ball, A., Conaghan, G., & Kluis, W. (2023). Novel Fault Diagnosis of a Conveyor Belt Mis-Tracking via Motor Current Signature Analysis. *Sensors*, 23(7). <https://doi.org/10.3390/s23073652>
- Fu, Y., & Aldrich, C. (2023). Online particle size analysis on conveyor belts with dense convolutional neural networks. *Minerals Engineering*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2023.108019>
- Guedri, N., & Gharbi, R. (2023). Bulk material flow measurement based only on a smart camera fixed above a moving belt conveyor. *Multimedia Tools and Applications*, 82(9), 14077–14090. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13893-x>
- Guo, X., Liu, X., Gardoni, P., Glowacz, A., Królczyk, G., Incecik, A., & Li, Z. (2023). Machine vision based damage detection for conveyor belt safety using Fusion knowledge distillation. *Alexandria Engineering Journal*, 71, 161–172. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.03.034>
- Guo, X., Liu, X., Królczyk, G., Sulowicz, M., Glowacz, A., Gardoni, P., & Li, Z. (2022). Damage Detection for Conveyor Belt Surface Based on Conditional Cycle Generative Adversarial Network. *Sensors*, 22(9). <https://doi.org/10.3390/s22093485>
- Guo, X., Liu, X., Zhang, X., Krolczyk, G. M., Gardoni, P., & Li, Z. (2023). A Novel Denoising Approach Based on Improved Invertible Neural Networks for Real-Time Conveyor Belt Monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 23(3), 3194–3203. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3232714>
- Guo, X., Liu, X., Zhou, H., Stanislawski, R., Królczyk, G., & Li, Z. (2022). Belt Tear Detection for Coal Mining Conveyors. *Micromachines*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/mi13030449>
- Hrabovský, L., Blata, J., Hrabec, L., & Fries, J. (2023). The detection of forces acting on conveyor rollers of a laboratory device simulating the vertical section of a Sandwich Belt Conveyor. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112376>
- Hrabovský, L., Gaszek, J., Kovář, L., & Fries, J. (2023). A Laboratory Device Designed to Detect and Measure the Resistance Force of a Diagonal Conveyor Belt Plough. *Sensors*, 23(6). <https://doi.org/10.3390/s23063137>
- Kulinowski, P., Kasza, P., & Zarzycki, J. (2023). Methods of Testing of Roller Rotational Resistance in Aspect of Energy Consumption of a Belt Conveyor. *Energies*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/en16010026>

- Lee, M.-J., Lee, H.-N., Lee, G.-E., Han, S.-T., Kang, D.-W., & Yang, J.-R. (2023). CMOS Detector Staggered Array Module for Sub-Terahertz Imaging on Conveyor Belt System. *Sensors*, 23(3). <https://doi.org/10.3390/s23031232>
- Mao, Q., Li, S., Hu, X., & Xue, X. (2022). Coal Mine Belt Conveyor Foreign Objects Recognition Method of Improved YOLOv5 Algorithm with Defogging and Deblurring. *Energies*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/en15249504>
- Marasova, D., Andrejiova, M., & Grincova, A. (2022). Dynamic model of impact energy absorption by a conveyor belt in interaction with the support system. *Energies*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/en15010064>
- Miao, D., Wang, Y., & Li, S. (2022). Sound-Based Improved DenseNet Conveyor Belt Longitudinal Tear Detection. *IEEE Access*, 10, 123801–123808. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3224430>
- Miao, D., Wang, Y., Yang, L., & Wei, S. (2023a). Coal Flow Detection of Belt Conveyor Based on the Two-Dimensional Laser. *IEEE Access*, 11, 82294–82301. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3301768>
- Miao, D., Wang, Y., Yang, L., & Wei, S. (2023b). Foreign Object Detection Method of Conveyor Belt Based on Improved Nanodet. *IEEE Access*, 11, 23046–23052. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3253624>
- Milewski, K., & Madej, M. (2022). DIAMOND-LIKE CARBON (DLC) COATINGS ON ROLLER BEARING ELEMENTS OF BELT CONVEYORS. *Metalurgija*, 61(3–4), 835–837.
- Qiao, W., Lan, Y., Dong, H., Xiong, X., & Qiao, T. (2022). Dual-field measurement system for real-time material flow on conveyor belt. *Flow Measurement and Instrumentation*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2021.102082>
- Romasevych, Y., Loveikin, V., Bakay, B., & Rudko, I. (2023). OPTIMAL TUNING OF BELT CONVEYOR SOFT-STARTER VIA PSO-ROT-RING METHOD. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 85(2), 73–84.
- Selvam, S. T., & Mukhopadhyay, A. K. (2022). Numerical Analysis of Belt Conveyors for Maintenance Decision Support System. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(3), 151–161. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V70I3P217>
- Sha, X., & Diao, N. (2023). Robust kernel principal component analysis and its application in blockage detection at the turn of conveyor belt. *Measurement: Journal of the*

- International Measurement Confederation*, 206.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112283>
- Siami, M., Barszcz, T., Wodecki, J., & Zimroz, R. (2022). Automated Identification of Overheated Belt Conveyor Idlers in Thermal Images with Complex Backgrounds Using Binary Classification with CNN. *Sensors*, 22(24). <https://doi.org/10.3390/s222410004>
- Solomon, M. D., Heineken, W., Scheffler, M., & Birth, T. (2023). Energy Conveyor Belt—A Detailed Analysis of a New Type of Hydrokinetic Device. *Energies*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/en16052188>
- Song, Y., Liu, G., Yu, S., Wang, H., & Zhang, F. (2023). Investigation of a Low-Speed High-Torque-Density Direct-Drive External-Rotor PMSM for Belt Conveyor Application. *IEEE Access*, 11, 110479–110489. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3318724>
- Sun, X., & Wang, Y. (2022). Research on Automatic Deviation Correction Device and Control System for Prevent Conveyor Belt Deviation in the Curve Section. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 22(6), 2272–2287. <https://doi.org/10.1007/s11668-022-01498-3>
- Szrek, J., Jakubiak, J., & Zimroz, R. (2022). A Mobile Robot-Based System for Automatic Inspection of Belt Conveyors in Mining Industry. *Energies*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/en15010327>
- Van Oijen, R. (2022). The effects of high temperatures on rubber heat resistant conveyor belts | Der Einfluss von hohen Temperaturen auf Gummi und wärmeresistente Fördergurte. *Cement International*, 20(1), 42–47.
- Wang, G., Liu, Z., Sun, H., Zhu, C., & Yang, Z. (2022). YOLOX-BTFPN: An anchor-free conveyor belt damage detector with a biased feature extraction network. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111675>
- Wang, S., Geng, J., Rao, X., & Xu, H. (2022). SIMULATION AND EXPERIMENTAL STUDY OF POTATO CONVEYOR TRAJECTORY FOR OPTIMIZATION DESIGN OF BELT-FED POTATO SORTER. *Journal of the ASABE*, 6(2), 379–392. <https://doi.org/10.13031/ja.14724>
- Wang, Y., Miao, C., Liu, Y., & Meng, D. (2022). Research on a sound-based method for belt conveyor longitudinal tear detection. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110787>

- Wen, L., Liang, B., Li, B., & Zhang, L. (2022). Power Balance Control Strategy of Permanent Magnet Synchronous Motor of Belt Conveyor. *IEEE Access*, 10, 117045–117052. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3219088>
- Xue, R., & Zeng, S. (2023). DESIGN AND RESEARCH OF CONVEYOR BELT DEVIATION CORRECTION DEVICE FOR POWERFUL BELT CONVEYOR. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 85(3), 121–134.
- Yang, C., Chen, B., Bu, L., Zhou, L., & Ma, L. (2023). Low-order dynamical model and distributed coordinated model predictive control for multi-stage belt conveyor systems. *Journal of Process Control*, 124, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2023.02.010>
- Yaqot, M., Franzoi, R. E., Islam, A., & Menezes, B. C. (2022). Cyber-Physical System Demonstration of an Automated Shuttle-Conveyor-Belt Operation for Inventory Control of Multiple Stockpiles: A Proof of Concept. *IEEE Access*, 10, 127636–127653. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3226942>
- Zhang, M., Cao, Y., Jiang, K., Li, M., Liu, L., Yu, Y., Zhou, M., & Zhang, Y. (2022). Proactive measures to prevent conveyor belt Failures: Deep Learning-based faster foreign object detection. *Engineering Failure Analysis*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106653>
- Zhang, M., Jiang, K., Cao, Y., Li, M., Wang, Q., Li, D., & Zhang, Y. (2023). A new paradigm for intelligent status detection of belt conveyors based on deep learning. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112735>
- Zhang, M., Zhang, D., Yuan, C., Li, M., Liu, L., Xue, M., Hao, N., & Zhang, Y. (2022). PPIM: A point-by-point interpolation method for breakpoint connection used for load detection of belt conveyor. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112125>
- Zhang, Y., Wang, L., Li, S., Li, A., Li, H., & Zhang, H. (2023). A NOVEL MINING BELT CONVEYOR INSPECTION ROBOT USED IN EXTREMELY COLD CONDITIONS. *International Journal of Robotics and Automation*, 38(2), 155–169. <https://doi.org/10.2316/J.2023.206-0868>
- Zhou, Q., Gong, H., Du, G., Zhang, Y., & He, H. (2022). Distributed Permanent Magnet Direct-Drive Belt Conveyor System and Its Control Strategy. *Energies*, 15(22). <https://doi.org/10.3390/en15228699>

Ziborova, E. Y., & Mnatsakanyan, V. U. (2022). Justification of geometrical parameters of lining plates for a belt conveyor drive drum. *Mining Science and Technology (Russian Federation)*, 7(2), 170–179. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-170-179>



ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Pregunta General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cómo es el análisis de mejora del desempeño de las Fajas Transportadoras de Molienda en una unidad minera de Moquegua, 2024? Preguntas específicas - ¿Cuál es el costo beneficio de la implementación de las camas de impacto y los resultados en la productividad en una unidad minera de Moquegua, 2024? - ¿Cuáles son las causas principales de desgaste y deformación en las fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua, 2024? - ¿Cuáles son los factores de deslizamiento de los empalmes de las fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua, 2024? - ¿Cómo el plan de mantenimiento preventivo permite detectar fallas en las roturas de fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua, 2024? - ¿Cómo la implementación de las camas de impacto en la mitigación de daños en las fajas transportadoras de molienda en una unidad minera de Moquegua, 2024?	Analizar la propuesta de mejora del desempeño de las fajas transportadoras de molienda, enfocándose en la optimización del desempeño operativo, la reducción de fallas recurrentes y la mejora en la eficiencia operativa, así como en la disminución de los costos de mantenimiento en una unidad minera de Moquegua, 2024. Objetivos específicos - Determinar el costo-beneficio de la implementación de las camas de impacto en las fajas transportadoras de molienda, evaluando el retorno de inversión y su impacto en la productividad, mediante la reducción de fallas y la extensión de la vida útil de los equipos en una unidad minera de Moquegua, 2024. - Identificar las principales causas de desgaste y deformación en las fajas transportadoras de molienda, asociadas a condiciones operativas exigentes y al uso de materiales inadecuados, que ocasionan un incremento en los costos de mantenimiento y una disminución de la eficiencia operativa en una unidad minera de Moquegua, 2024. - Analizar los factores de deslizamiento en los empalmes de las fajas transportadoras de molienda, relacionados con deficiencias en el diseño y en los procesos de instalación, los cuales inciden negativamente en los costos de mantenimiento y en la continuidad operativa en una unidad minera de Moquegua, 2024. - Mejorar el plan de mantenimiento preventivo con el fin de detectar y prevenir oportunamente las fallas en las roturas de las fajas transportadoras de molienda, optimizando así las intervenciones de mantenimiento y fortaleciendo la eficiencia del sistema en una unidad minera de Moquegua, 2024. - Evaluar la implementación de las camas de impacto como una solución técnica para mitigar los daños en las fajas transportadoras de molienda, con el propósito de preservar la integridad de los componentes y disminuir la frecuencia de reparaciones en una unidad minera de Moquegua, 2024.	El análisis de la propuesta de mejora en las fajas transportadoras de molienda optimizará el desempeño operativo y reducirá las fallas recurrentes, contribuyendo a una mayor eficiencia en la operación y a una disminución progresiva de los costos de mantenimiento en una unidad minera de Moquegua, 2024. Hipótesis específicas - La implementación de las camas de impacto generará un beneficio económico favorable, con un retorno de inversión en el corto plazo, y mejorará la productividad al reducir las fallas y extender la vida útil de los equipos en una unidad minera de Moquegua, 2024. - Las principales causas de desgaste y deformación en las fajas transportadoras de molienda están asociadas a condiciones operativas exigentes y a la utilización de materiales inadecuados, lo que ocasiona un incremento significativo en los costos de mantenimiento y una disminución en la eficiencia operativa en una unidad minera de Moquegua, 2024. - Los factores de deslizamiento de los empalmes de las fajas transportadoras de molienda están relacionados con deficiencias en el diseño y la instalación, lo cual contribuye al aumento de los costos de mantenimiento y la recurrencia de fallas operativas en una unidad minera de Moquegua, 2024. - El mejoramiento del plan de mantenimiento preventivo permitirá detectar y prevenir oportunamente las fallas en las roturas de las fajas transportadoras de molienda, disminuyendo la necesidad de intervenciones correctivas y promoviendo una mayor eficiencia operativa en una unidad minera de Moquegua, 2024. - La implementación de las camas de impacto mitigará los daños estructurales en las fajas transportadoras de molienda, reduciendo la incidencia de fallas y optimizando los costos de mantenimiento en una unidad minera de Moquegua, 2024.	VI: Propuesta de mejora de fajas transportadoras	Estrategias de mejora técnica	- Tipos de mejora implementada	Enfoque: Cuantitativo Tipo de investigación: Aplicado Nivel de investigación: Descriptiva Método: Hipotético-deductivo. Diseño: No experimental -transversal. Población y muestra: Está constituida por las 20 fajas transportadoras de molienda de la unidad minera de Moquegua. Técnica: Observación directa Instrumento: Ficha de observación.
				Implementación tecnológica	- Presencia de camas de impacto	
				Optimización de mantenimiento	- Cumplimiento del nuevo plan de mantenimiento	
			VD: Reducción de fallas	Fallas estructurales	- Número de fallas antes/después	
				Daños en empalmes	- Incidentes de deslizamiento	
				Fallas por impacto	- Roturas por caída de material	
			VD: Eficiencia en operaciones	Productividad operativa	- Volumen transportado sin interrupciones	
				Continuidad operativa	- Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	
				Nivel de cumplimiento	- Cumplimiento de metas productivas (%)	
			VD: Disminución de costos	Costos operativos	- Ahorro en costos operativos (%)	
				Eficiencia económica	- Relación costo-beneficio	
				Durabilidad de componentes	- Incremento en vida útil de fajas (%)	

Anexo 2. Valores de Indicadores

A partir de los registros técnicos, inspecciones de campo y reportes de mantenimiento, se calcularon los valores de los principales indicadores definidos en el diseño metodológico. Cada uno de estos indicadores fue asociado a sus respectivas dimensiones, permitiendo medir de manera objetiva la mejora obtenida tras la implementación de la propuesta técnica.

Dimensión	Indicador	Antes de la mejora	Después de la mejora	Mejora (%)
Fallas estructurales	Número de fallas antes/después	180 intervenciones	2 intervenciones	98.89 %
Daños en empalmes	Incidentes de deslizamiento	Frecuente (sin datos exactos)	Raros (controlados)	Cualitativo
Fallas por impacto	Roturas por caída de material	15 eventos anuales	3 eventos anuales	80.00 %

Análisis: La disminución drástica de fallas estructurales evidencia la efectividad del rediseño de empalmes y el uso de camas de impacto, los cuales permitieron mitigar los deslizamientos y daños recurrentes por caída de material. Los datos fueron verificados mediante los registros históricos de mantenimiento.

Variable 2: Eficiencia en operaciones

Dimensión	Indicador	Antes de la mejora	Después de la mejora	Mejora (%)
Productividad operativa	Volumen transportado sin interrupciones	Interrumpido por paradas (720 h/año)	Flujo estable (8 h/año)	+98 % en disponibilidad
Continuidad operativa	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	MTBF bajo (~1 mes)	MTBF extendido (4.5 meses)	+350 % aprox.
Nivel de cumplimiento	Cumplimiento de metas productivas (%)	~78 %	~95 %	+17 %

Análisis: La disponibilidad operativa se incrementó al reducir las intervenciones no planificadas. El MTBF aumentó más de tres veces, reflejando mayor continuidad en el transporte. La eficiencia global del sistema permitió alcanzar las metas de producción mensual con mayor regularidad.

Variable 3: Disminución de costos

Dimensión	Indicador	Antes de la mejora	Después de la mejora	Mejora (%)
Costos operativos	Ahorro en costos operativos (USD)	\$500,000	\$350,000	30.00 %
Eficiencia económica	Relación costo-beneficio	Baja	Alta	Cualitativo
Durabilidad de componentes	Incremento en vida útil de fajas (%)	6 meses	9 meses	50.00 %

Análisis: La reducción de intervenciones y el aumento de la vida útil de las fajas disminuyeron significativamente los costos anuales. El costo-beneficio de la inversión en camas de impacto y mantenimiento optimizado fue favorable desde el primer año, recuperando parte de la inversión a través del ahorro en reparaciones y reemplazos.

Tabla consolidada

Variable	Dimensión	Indicador	Antes de la mejora	Después de la mejora	Mejora Obtenida
Reducción de fallas	Fallas estructurales	Número de fallas (reparaciones al frío)	180 intervenciones/año	2 intervenciones/año	Reducción del 98.89 %
	Daños en empalmes	Incidentes de deslizamiento	Frecuente (sin datos exactos)	Raros (controlados)	Mejora cualitativa
	Fallas por impacto	Roturas por caída de material	15 eventos anuales	3 eventos anuales	Reducción del 80.00 %
	Tiempo de parada	Horas perdidas por intervención (4 h c/u)	720 horas/año	8 horas/año	Reducción del 98.89 %

Eficiencia en operaciones	Productividad operativa	Volumen transportado sin interrupciones	Interrumpido frecuentemente (720 h)	Flujo estable (8 h de parada)	Mejora del 98 % en disponibilidad
	Continuidad operativa	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	1 mes aprox.	4.5 meses	Incremento del 350 % aprox.
	Nivel de cumplimiento	Cumplimiento de metas productivas (%)	~78 %	~95 %	Incremento del 17 %
Disminución de costos	Costos operativos	Costo total anual	\$500,000 USD	\$350,000 USD	Reducción del 30 %
	Eficiencia económica	Relación costo-beneficio	Baja	Alta	Mejora cualitativa
	Durabilidad de componentes	Vida útil de la faja	6 meses	9 meses	Incremento del 50 %
	Ahorro total generado	Reducción global de costos	—	\$150,000 USD	Ahorro económico directo

Anexo 3. Registro de atenciones a equipos

EQUIPOS: FEEDERS 3140-FE-001@008

AREA: MOLIENDA AAQ

FECHA REPORTE: 19/07/2025

Ítem	Equipo TAG	Fecha	Tipo de Reparación	Duración Anterior
1	Faja Feeder 1	S/R - 2022	Empalme de proyecto	
		27/02/2023	Reparacion al frio	
		18/04/2023	Reparacion al frio	
		23/04/2023	Reparacion al frio	
	Continental 02 empalmes	15/05/2023	Cambio y empalme de correa	12 meses
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		12/08/2023	Reparacion al frio	
		2/09/2023	Reparacion al frio	
		3/10/2023	Reparacion al frio	
		8/11/2023	Reparacion al frio	
		12/11/2023	Reparacion al frio	
		15/01/2024	Reparacion al frio	
		18/01/2024	Reparacion al frio	
		16/02/2024	Reparacion al frio	
		23/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		21/04/2024	Reparacion al frio	
		28/04/2024	Reparacion al frio con superscrew	
	Continental 01 empalme	3/05/2024	Cambio y empalme de correa	11.80 meses
		17/05/2024	Reparacion al frio	
		7/06/2024	Reparacion al frio	
	Continental 01 empalme	1/08/2024	Cambio y empalme de correa con cambio de polea	3.00 meses
		13/09/2024	Reparacion al frio	
		1/12/2024	Reparacion al frio	
		4/12/2024	Reparacion mecanica	
		5/12/2024	Reparacion mecanica	
		6/12/2024	Reparacion mecanica	
		20/12/2024	Reparacion al frio	

		4/02/2025	Reparacion al frio	
		14/02/2025	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	21/02/2025	Cambio de correa e instalacion de bastidores richwood	6.80 meses
		19/07/2025	Actualidad	4.93 meses
	Fecha Tentativa	octubre-25	Evaluación de cambio de correa por criticidad de daños	8.00 meses
2	Faja Feeder 2	S/R -2022	Empalme De Proyecto	
		3/12/2023	Reparacion al frio	
		23/05/2023	Reparacion al frio	
	Continental 02 empalmes	6/06/2023	Cambio y empalme de correa	12 meses
		16/09/2023	Reparacion al frio	
		17/09/2023	Reparacion al frio	
		29/09/2023	Reparacion al frio	
		11/10/2023	Reparacion al frio	
		18/10/2023	Reparacion al frio	
		23/10/2023	Reparacion al frio	
		31/10/2023	Reparacion al frio	
	Mercurio 01 empalme	9/11/2023	Cambio y empalme de correa	5.20 meses
		15/01/2024	Reparacion al frio	
		18/01/2024	Reparacion al frio	
		14/02/2024	Reparacion al frio	
		14/03/2024	Reparacion al frio	
		22/03/2024	Reparacion al frio	
		24/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		25/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		26/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		27/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		31/03/2024	Reparacion al frio con superscrew	
	Endurance 01 empalme	15/04/2024	Cambio y empalme de correa	5.27 meses
		28/06/2024	Reparacion al frio con superscrew	
		11/07/2024	Reparacion al frio	
		16/07/2024	Reparacion al frio	

		1/08/2024	Reparacion al frio	
	Continental 01 empalme	4/08/2024	Cambio y empalme de correa	3.70 meses
		1/10/2024	Reparacion al frio	
		4/05/2025	Reparacion al frio	
		27/05/2025	Reparacion al frio	
		19/07/2025	Actualidad	11.63 meses
	Fecha Tentativa	junio-25	Evaluar de condicion periodica de daños para actualizar fecha de cambio	11.00 meses
3	Faja Feeder 3	S/R -2022	Empalme de proyecto	
		5/12/2023	Reparacion al frio	
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		12/07/2023	Reparacion al frio	
		8/11/2023	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	5/02/2024	Cambio y empalme de correa	20.47 meses
		16/05/2025	Reparacion al frio	
		25/05/2025	Reparacion al frio	
		8/06/2025	Reparacion al frio	
		19/07/2025	Actualidad	17.67 meses
	Fecha Tentativa	julio-25	Cambio tentativo de correa por desgaste	18.00 meses
4	Faja Feeder 4	S/R -2022	Empalme de proyecto	
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		12/07/2023	Reparacion al frio	
		8/11/2023	Reparacion al frio	
		12/11/2024	Reparacion al frio	
		23/11/2024	Reparacion al frio	
		18/01/2025	Reparacion al frio	
		25/02/2025	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	9/03/2025	Cambio y empalme de correa	33.73 meses
		19/07/2025	Actualidad	38.13 meses
	Fecha Tentativa	febrero-27	Cambio de correa por desgaste de operación	24.00 meses
5	Faja Feeder 5	S/R -2022	Empalme de proyecto	
		20/01/2023	Reparacion al caliente	
		8/03/2023	Reparacion al frio	

		22/03/2023	Reparacion al frio	
		1/04/2023	Reparacion al frio	
	Sempertrans 01 empalme	14/04/2023	Cambio de correa	11 meses
	Kit continental	10/05/2023	Reparacion al caliente	
		23/05/2023	Reparacion al frio	
	Kit Rema TipTop	27/05/2023	Reparacion al caliente	
		3/06/2023	Reparacion al frio	
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		18/06/2023	Reparacion al frio	
	Sempertrans 01 empalme	5/07/2023	Cambio de correa	2.73 meses
		31/07/2023	Reparacion al frio	
		6/08/2023	Reparacion al frio	
		18/08/2023	Reparacion al frio	
		22/08/2023	Reparacion al frio	
		24/08/2023	Reparacion al frio	
		5/09/2023	Reparacion al frio	
		17/09/2023	Reparacion al frio	
		21/10/2023	Reparacion al frio	
	Mercurio 01 empalme	28/10/2023	Cambio de correa	3.83 meses
		15/01/2024	Reparacion al frio	
		21/01/2024	Reparacion al frio	
		22/01/2024	Reparacion al frio	
		31/01/2024	Reparacion al frio	
		5/02/2024	Reparacion al frio	
		10/02/2024	Reparacion al frio superscrew	
		15/02/2024	Reparacion al frio	
		21/02/2024	Reparacion al frio	
		28/02/2024	Reparacion al frio superscrew	
	Endurance 01 empalme*	7/03/2024	Cambio de correa	4.37 meses
		23/04/2024	Reparacion al frio	
		28/04/2024	Reparacion al frio	
		3/05/2024	Reparacion al frio	
		16/05/2024	Reparacion al frio	
	Continental 01 empalme*	17/06/2024	Cambio de correa	3.40 meses
		2/07/2024	Reparacion al frio	

		7/08/2024	Reparacion al frio superscrew	
	Endurance 01 empalme	6/09/2024	Cambio de correa e instalacion de bastidores richwood	2.70 meses
		14/10/2024	Reparacion al frio	
		28/10/2024	Reparacion al frio	
		6/11/2024	Reparacion al frio	
		15/12/2024	Reparacion al frio	
		16/12/2024	Reparacion al frio	
		16/01/2025	Reparacion al frio	
		2/02/2025	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	10/02/2025	Cambio y empalme de correa	5.23 meses
		15/03/2025	Reparacion al frio	
		13/04/2025	Reparacion al frio	
		14/06/2025	Reparacion al frio	
		11/07/2025	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	16/07/2025	Cambio y empalme de correa	5.20 meses
		19/07/2025	Actualidad	0.10 meses
	Fecha Tentativa	diciembre- 25	Evaluar de condicion periodica de daños para actualizar fecha de cambio	5.00 meses
6	Faja Feeder 6	S/R -2022	Empalme de proyecto	
		18/12/2023	Reparacion al frio	
		31/03/2023	Reparacion al frio	
		11/04/2023	Reparacion al frio	
		15/04/2023	Reparacion al frio	
	Sempertrans 01 empalme	24/04/2023	Cambioy empalme de correa	11 meses
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		21/07/2023	Reparacion al frio	
		8/08/2023	Reparacion al frio	
		12/08/2023	Reparacion al frio	
		14/08/2023	Reparacion al frio	
		18/08/2023	Reparacion al frio	
		20/08/2023	Reparacion al frio	
		22/08/2023	Reparacion al frio	
		24/08/2023	Reparacion al frio	
		26/08/2023	Reparacion al frio	

		28/08/2023	Reparacion al frio	
		1/09/2023	Reparacion al frio	
	Mercurio 01 empalme	5/09/2023	Cambio y empalme de correa	4.47 meses
		7/11/2023	Reparacion al frio	
		25/12/2023	Reparacion al frio	
		15/01/2024	Reparacion al frio	
		31/01/2024	Reparacion al frio	
		2/02/2024	Reparacion al frio	
		4/02/2024	Reparacion con aporte de caucho	
		6/02/2024	Reparacion mecanica	
		9/02/2024	Reparacion con aporte de caucho	
	Endurance 01 empalme	16/02/2024	Cambio y empalme de correa	5.47 meses
		29/04/2024	Reparacion al frio	
		17/05/2024	Reparacion al frio	
	Continental 01 empalme*	3/06/2024	Cambio y empalme de correa	3.60 meses
		15/06/2024	Reparacion al caliente	
		1/08/2024	Reparacion al caliente	
		18/08/2024	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	16/09/2024	Cambio de correa e Instalacion de bastidores richwood	3.50 meses
		5/11/2024	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica
		15/11/2024	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica
		19/12/2024	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica
		22/12/2024	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica
		16/01/2025	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica
		24/02/2025	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica
		14/03/2025	Reparacion al frio	Daño en empalme de fabrica

	Endurance 01 empalme	4/04/2025	Cambio y empalme de correa	6.67 meses
		19/07/2025	Actualidad	3.53 meses
	Fecha Tentativa	octubre-25	Evaluar de condicion periodica de daños para actualizar fecha de cambio	7.00 meses

7	Faja Feeder 7	S/R -2022	Empalme de proyecto	
		20/01/2023	Reparacion al caliente	
		14/06/2023	Reparacion al frio	
		22/07/2023	Reparacion al frio	
		8/08/2023	Reparacion al frio	
		19/08/2023	Reparacion al frio	
		29/08/2023	Reparacion al frio	
		2/09/2023	Reparacion al frio	
		16/09/2023	Reparacion al frio	
		17/09/2023	Reparacion al frio	
		18/09/2023	Reparacion al frio	
		21/09/2023	Reparacion al frio	
		29/09/2023	Reparacion al frio	
	Mercurio 01 empalme	16/10/2023	Cambio y empalme de correa	16.73 meses
		15/01/2024	Reparacion al frio	
		22/04/2024	Reparacion al frio	
		21/06/2024	Reparacion al frio	
		15/07/2024	Reparacion al frio	
		22/12/2024	Reparacion al frio	
		3/01/2025	Reparacion al frio	
		16/01/2025	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	1/02/2025	Cambio y empalme de correa	15.80 Meses
		29/03/2025	Reparacion al frio	
		27/04/2025	Reparacion al frio	
		19/07/2025	Actualidad	5.60 meses
	Fecha Tentativa	marzo-26	Cambio tentativo de correa por desgaste	14.00 meses
8	Faja Feeder 8	S/R -2022	Empalme de proyecto	
		20/01/2023	Reparacion al caliente	
		8/08/2023	Reparacion al frio	

		11/08/2024	Reparacion al frio	
		28/09/2024	Reparacion al frio	
		11/10/2024	Reparacion al frio	
		24/10/2024	Reparacion al frio	
		25/10/2024	Reparacion al frio	
	Endurance 01 empalme	6/11/2024	Cambio y empalme de correa	29.63 meses
		5/07/2025	Reparacion al frio	
		19/07/2025	Actualidad	8.50 meses
	Fecha Tentativa	octubre-26	Cambio tentativo de correa por desgaste	24.00 meses

