

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



**IMPLEMENTACIÓN Y OPERATIVIDAD DE UN
SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE DE
DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN UNA
FAJA TRANSPORTADORA DE MINERAL DE 8.8 KM EN
UNA UNIDAD MINERA (SHOUGANG HIERRO PERÚ)**

Tesis para obtener el grado académico de Maestro en Ingeniería de
Control y Automatización que presenta:

Jhon Huayhua Becerra

Asesor:

PhD. Julio Cesar Tafur Sotelo

Lima, 2024

Informe de Similitud

Yo, Julio Cesar Tafur Sotelo, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada Implementación y Operatividad de un Sistema de Monitoreo Inteligente de Detección y Diagnóstico de Fallas en una Faja Transportadora de Mineral de 8.8 Km en una Unidad Minera (Shougang Hierro Perú), del autor Huayhua Becerra, Jhon, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 10 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 07/01/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 7 de enero de 2025

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Tafur Sotelo, Julio Cesar</u>	
DNI:06470028 Número del documento de identidad	Firma 
ORCID: 0000-0003-3415-1969	



DEDICATORIA

Mi titulación se la dedico a mis padres por estar siempre apoyándome, en especial a mi madre que ha sido un pilar fundamental en alcanzar mis metas el ámbito académico-profesional.



AGRADECIMIENTO

A todos los profesores de la Maestría de Ingeniería de Control y Automatización de Procesos y a mis colegas.

A todos los ingenieros y amigos del rubro minero que ayudaron en mi formación profesional.

A todas las empresas que me dieron la oportunidad de practicar y trabajar.

A mi novia por todo el apoyo, tiempo, empuje y paciencia que me ha brindado durante esta etapa tan importante de mi vida.



RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal el diseño e implementación y operatividad de un sistema de monitoreo inteligente para la detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral de 8.8 km de longitud en la unidad minera de Shougang Hierro Perú. La tesis incluye el diseño y desarrollo de un sistema de inspección que utiliza tecnologías avanzadas como el procesamiento digital de imágenes. Para alcanzar este objetivo, se realizaron varias etapas de investigación y desarrollo, incluyendo la adecuación y evaluación de la alimentación de energía, la recolección y análisis de datos mediante sensores. Los resultados demostraron que el sistema incrementó la eficacia operativa, redujo los tiempos de parada y extendió la vida útil de la faja transportadora al identificar problemas tempranamente y permitir un mantenimiento preventivo más efectivo.

Las conclusiones destacan la mejora en la detección y diagnóstico de fallas. Lo que aumento la confiabilidad y eficiencia operativa. Se recomienda seguir investigando, capacitar al personal, integrar el sistema de monitoreo con la gestión de mantenimiento, y realizar actualizaciones periódicas para mantenerse al día con las innovaciones tecnológicas.

Este estudio proporciona una guía útil para la implementación y mejora continua de sistemas de inspección y detección de fallas en fajas transportadoras de mineral, contribuyendo significativamente a la optimización de la gestión de mantenimiento en la industria minera.

Palabras clave: Monitoreo inteligente, detección de fallas, faja transportadora, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, procesamiento digital de imágenes.

ABSTRACT

The main objective of this work is the design, implementation and operation of an intelligent monitoring system for the detection and diagnosis of faults in an 8.8 km long mineral conveyor belt in the Shougang Hierro Perú mining unit. The thesis includes the design and development of an inspection system that uses advanced technologies such as digital image processing.

To achieve this objective, several stages of research and development were carried out, including the adaptation and evaluation of the power supply, the collection and analysis of data using sensors. The results showed that the system increased operational efficiency, reduced downtime and extended the useful life of the conveyor belt by identifying problems early and allowing more effective preventive maintenance.

The conclusions highlight the improvement in the detection and diagnosis of faults, which increased operational reliability and efficiency. It is recommended to continue researching, train personnel, integrate the monitoring system with maintenance management, and perform periodic updates to keep up with technological innovations.

This study provides useful guidance for the implementation and continuous improvement of inspection and fault detection systems in mineral conveyor belts, contributing significantly to the optimization of maintenance management in the mining industry.

Keywords: Intelligent monitoring, fault detection, conveyor belt, preventive maintenance, predictive maintenance, digital image processing.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
RESUMEN	5
ÍNDICE	7
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO I Generalidades	18
1.1 antecedentes referenciales.....	18
CAPITULO II: Marco teórico y conceptual.....	20
2.1 Marco teórico.....	20
2.1.1 Robots móviles.....	20
2.1.1.1 Investigación sobre el sistema de monitorización de fajas transportadoras basado en un robot de inspección de suspensión	21
2.1.1.2 Diseño de Sistema de patrulla Robótica para Fajas Transportadoras Mineras	27
2.1.1.3 Modelo y Simulación del Robot de Inspección para Faja Transportadora	30
2.1.1.4 Un Robot de Inspección que Utiliza Termografía Infrarroja para Fajas Transportadoras	34
2.2 Descripción del problema de investigación.....	35
2.2.1 Problemática principal	36
2.2.2 Problemas específicos.....	36
2.3 Objetivo del estudio.....	37
2.3.1 Objetivo general.....	37
2.3.2 Objetivos específicos	37
2.4 Hipótesis del estudio.....	38
2.4.1 Hipótesis general	38
2.4.2 Hipótesis Específicas	38
CAPÍTULO III: Diseño de sistema mecatronico	39
3.1 Diseñar un sistema de inspección y detección de fallas en una faja transportadora de mineral.	39
3.1.1 Entorno Operacional.	39
3.1.2 Selección de tecnologías de detección.....	40
3.1.3. Diseño e Implementación del Modelo Matemático	44

3.1.3.1 Modelo Matemático para la Faja Transportadora	44
3.1.3.2 Ecuaciones de Movimiento	44
3.1.3.3 Ecuación de Tensión	46
3.1.3.4 Ecuación de Energía.....	49
3.1.4 Algoritmo de detección de fallas	51
3.1.5 Sistema de Alerta y Notificación	51
3.1.6 Análisis y Diagnóstico	51
3.2 Algoritmo de la la implementación de un sistema de monitoreo inteligente para la detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de 8.8 km de longitud de longitud	52
3.2.1 Algoritmo	52
3.2.2 Descripción y explicación detallada de cada parte del algoritmo	54
3.2.2.1 Inicio del Sistema	54
3.2.2.2 Lectura de Sensores y Configuración del Sistema.....	54
3.2.2.3 Inicio de Monitoreo Continuo	54
3.2.2.4 Ciclo de Monitoreo	54
3.2.2.5 Detección de Anomalías	54
3.2.2.6 Diagnóstico de Anomalías.....	55
3.2.2.7 Final de la Operación.....	55
3.2.2.8 Esperar 5 Segundos	55
3.2.2.9 Fin del Sistema	55
3.2.2.10 Puntos Clave del Algoritmo:.....	55
3.3 Diseño de la implementación de un sistema de monitoreo inteligente para la detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de 8.8 km	56
3.3.1. Diseño del Sistema de Detección de Fallas.....	56
3.3.2 Pseudocódigo del Diseño de un Sistema de Detección de Fallas.....	58
3.4 Simulación de un sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral de 8.8 km de longitud de longitud en una unidad minera.....	65
3.4.1 Procedimientos de alarmas de un equipo de monitoreo y diagnóstico de falla de una faja transportadora de mineral	65
3.4.1.1 Configuración de Alarmas	66
3.4.1.2 Monitoreo de Alarmas	66

3.4.1.3 Respuesta a Alarmas	66
3.4.1.4 Análisis y Mejora Continua	66
3.4.2 Consideraciones para la simulación	67
3.4.2.1 Variables a Monitorear:	67
3.4.2.2 Umbrales y Niveles de Alerta:.....	68
3.4.2.3 Sensores y Cámaras:	68
3.4.2.4 Lógica de Detección de Fallas:.....	68
3.4.2.5 Interacción y Respuesta Automática:.....	68
3.4.3 Datos y descripción de la faja 014003 para la simulación en código python....	69
3.4.3.1 Características de la Faja Transportadora de Mineral	69
3.4.3.2 Componentes de la Faja Transportadora y Sensores	69
3.4.3.3 Ubicación de los Polines a Monitorear.....	70
3.4.3.4 Input del Sistema de Monitoreo de Parámetros	70
3.4.3.5 Output del Sistema de Monitoreo de Parámetros.....	70
3.4.4 Código en lenguaje Python.....	71
3.4.5 Descripción de resultado de la simulación	74
3.4.5.1 Detalles de la Simulación.....	75
3.4.5.2 Interpretación de Resultados.....	76
3.5 Distribución mecánica y electrónica del sistema de inspección de faja transportadora de mineral.	76
CAPÍTULO IV: Implementación del sistema de inspección y detección de fallas en una faja transportadora de mineral	
4.1 Introducción de robot móvil	80
4.2 Descripción general de la implementación del robot móvil.....	81
4.2.1 Cableado de Fibra Óptica	83
4.2.2 Descripción Técnica de los Equipos Híbridos Solar-Eólica	85
4.2.3 Detalle de la Arquitectura de Comunicaciones del Proyecto.....	88
4.2.4 Sistema de Carga y Limpieza del Robot	90
4.2.5 Sistema de Monitoreo	92
4.2.5.1 Monitoreo por Sensor de Sonido.....	92
4.2.5.2 Monitoreo por Sensor de Humo	92
4.2.5.3 Monitoreo por Sensores de Vibración	93
4.2.6 Procedimientos de Alarmas del Equipo.....	94

4.2.6.1 Asuntos importantes.....	94
CAPÍTULO V: Resultados del sistema de inspección y detección de fallas en una faja transportadora de mineral	97
5.1 Recolección de datos a partir de sensores, y los datos son analizados en computadoras con una elevada capacidad de procesamiento	97
5.2 Eficiencia en la detección de fallas.....	99
5.2.1 Monitoreo de las Poleas de la faja transportadora de mineral 014003	101
5.3 Resultados de estrategias de mantenimiento en faja transportadora 014003: análisis de mantenimiento preventivo y predictivo.....	104
5.3.1 Inspección de la Faja Transportadora 014003	104
5.4 Mantenimiento predictivo de la faja transportadora de mineral 014003.....	106
5.5 Análisis de resultados de la implementación del sistema de monitoreo inteligente en faja transportadora 014003 (2019-2024).....	110
5.5.1 Tiempos de Reparación:.....	111
5.5.2 Reducción de las Pérdidas de Producción:.....	111
Conclusiones.....	114
Recomendaciones	115
Bibliografía	116
Anexo 1: Plano Topografico de La Faja Transportadora de Mineral 014003	120
Anexo 2: Esquema Eléctrico de Energía Renovable-Paneles Fotovoltaicos 100W, 12VDC	121
Anexo 3: Esquema Eléctrico de Energía Renovable-Generación Eólica 400W, 24VAC	122
Anexo 4: Esquema Eléctrico de Energía Renovable-Conexiones de Equipos De Generación Hibrida 1000W.....	123
Anexo 5: Esquema Eléctrico de energía Renovable-Para Acceso a la Red del Sistema	124
Anexo 6: Esquema Eléctrico de energía Renovable-Conexiones de Equipos de Generación Hibrida 5000W.....	125
Anexo 7: Esquema Eléctrico de energía Renovable-Arquitectura de Comunicación Del Sistema de Monitoreo Inteligente de Detección y Diagnóstico de Fall	126

Anexo 8 Algoritmo Implementación y Operatividad de un Sistema de Monitoreo Inteligente de Detección y Diagnóstico de Fallas en una Faja Transportadora de Mineral 127

Anexo 9 Código de Simulación del Sistema de Monitoreo y Detección de Fallas en la Faja Transportadora..... 128



INDICE DE TABLAS

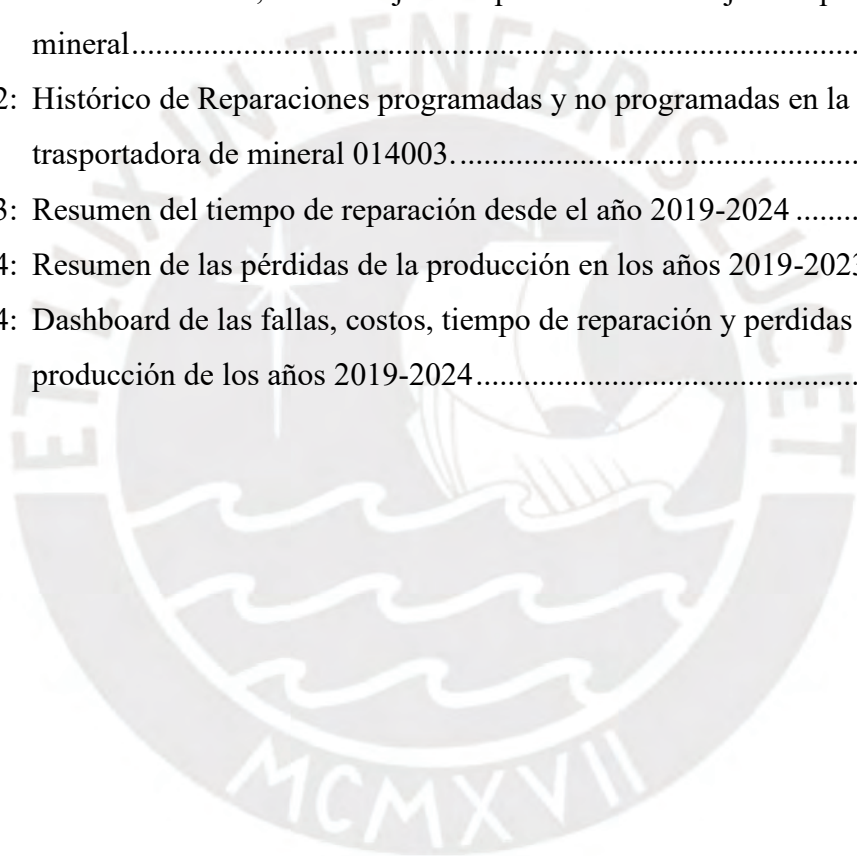
Tabla 1.1	Tipos de Robots de Inspección y sus Aplicaciones Principales.....	19
Tabla 3.1:	Sistemas Comerciales de Inspección de Fajas Utilizados para el Monitoreo de Fallas en Fajas Transportadoras:	43
Tabla 3.2	Entradas y Salidas de las Ecuaciones Fundamentales del Modelo Matemático de la Faja Transportadora"	51
Tabla 3.3.	Parámetros de entradas y salidas.....	58
Tabla 4.1:	Requerimiento de energía para el proyecto robot	84
Tabla 4.2:	Características de la generación Híbrida Eólica solar de 1000w y 5000w	85
Tabla 4.3:	Datos Técnicos del Panel Solar.....	86
Tabla 4.4:	Datos Técnicos del Generador Eólico	87
Tabla 5.1:	Resumen del Problema Durante Función y Mantenimiento en la Presente Etapa.....	102
Tabla 5.2:	Matriz de inspección de la faja transportadora de mineral 014003.....	105
Tabla 5.3:	Valores máximos y mínimo de los Reductores de velocidad de las fajas transportadoras.	106
Tabla 5.4:	Matriz de Mantenimiento General Periódico	107
Tabla 5.5:	Plan Anual de Mantenimiento Predictivo	108

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Sistemas de locomoción basado en piernas	20
Figura 2.2:	El entorno de trabajo del robot de inspección de suspensión.....	22
Figura 2.3:	El diagrama de estructura del robot de inspección de suspensión	23
Figura 2.4:	El flujo de trabajo del módulo de control del robot de inspección	23
Figura 2.5:	La arquitectura de red del sistema de monitoreo de cinta transportadora .	24
Figura 2.6:	La función de software del sistema de monitoreo de cinta transportadora	25
Figura 2.7:	El diagrama de flujo del programa Principal	27
Figura 2.8:	Composición del sistema de accionamiento del robot de patrulla	28
Figura 2.9:	Sistema de accionamiento del robot de patrulla.....	29
Figura 2.10:	Diagrama de bloques de recopilación de datos y control.....	30
Figura 2.11:	Estructura del robot de inspección	31
Figura 2.12:	Diagrama de análisis de la fuerza de la rueda motriz (impulsado)	32
Figura 2.13:	Diagrama de análisis de la fuerza de la rueda motriz (conduciendo).....	32
Figura 2.14:	Modelo prototipo virtual del robot.	33
Figura 2.15:	Diagrama de bloques del robot de inspección de cinta transportadora basado en infrarrojos.	34
Figura 2.16:	Robot de inspección por infrarrojos y órbita de inspección.....	35
Figura 4.1:	Se muestra las etapas iniciales de la implementación y operatividad del sistema de monitoreo inteligente, detección y diagnóstico de fallas.....	78
Figura 4.2:	Se muestra las etapas finales de la implementación y operatividad del sistema de monitoreo inteligente, detección y diagnóstico de fallas.....	79
Figura 4.3:	Extensión del sistema	79
Figura 4.4:	Se muestra las características tanto propias del robot como la inspección y detección de fallas en la faja transportadora de mineral.	80
Figura 4.5:	Composición estructural del robot móvil de monitoreo de faja transportadora de mineral.....	80
Figura 4.6:	Composición estructural parte posterior del robot móvil de monitoreo de faja transportadora de mineral.....	81
Figura 4.7:	Instalación de La Pista Del Robot Móvil– rieles 8800 metros, entre el lado carga y el retorno.....	82

Figura 4.8:	Cierre de la instalación de rieles para 4 Robots Móviles de inspección El kilometraje total de inspección para cada robot móvil es de 2200 metros.	82
Figura 4.9:	Se Muestra el robot móvil instalado en el riel para sus pruebas de traslación.	83
Figura 4.10:	Tendido del cable fibra óptica a lo largo de la faja transportadora de mineral.	83
Figura 4.11:	Tendido del cable fibra óptica por las bandejas	84
Figura 4.12:	Panel Solar Instalado en la faja Transportadora de Mineral 014003	86
Figura 4.13:	Generador Eólico.	87
Figura 4.14:	Fabricación del mástil mecánico.	88
Figura 4.15:	Distribución de componentes de comunicación en el tablero.	89
Figura 4.16:	Lado izquierdo se muestra las antenas (antes) en lado derecho el después (cable coaxial)	90
Figura 4.17:	Estación de carga del robot móvil.	91
Figura 4.18:	Lado Izquierdo vista de planta y lado derecho vista frontal del sistema de carga y limpieza del robot móvil.	91
Figura 4.19:	Se Muestra en tiempo real de cámaras termográficas infrarrojas y de luz visible	92
Figura 4.20:	Se muestra en la interface el monitoreo de humo y el valor de decibeles.	93
Figura 4.21:	Se muestra la interface del monitoreo de vibración de los componentes de la faja transportadora de mineral 014003.	93
Figura 4.22:	Gestión de operación del sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas.	94
Figura 4.23:	Línea de tiempo de la implementación, operatividad y entrega del sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral de 8.8 km de longitud en una unidad minera (Shougang Hierro Perú).	96
Figura 5.1:	Robot móvil monitoreando entre el lado de carga y retorno de la faja transportadora de mineral 014003.	97
Figura 5.2:	Lado derecho vista frontal de la etiqueta lado izquierdo vista frontal de la etiqueta RFID.	98
Figura 5.3:	Se muestra los monitores donde se visualiza la inspección en tiempo real de la faja transportadora de mineral 014003	98
Figura 5.4:	Inspección Del Dia 9 de febrero de 2024 al 29 de febrero de 2024	99

Figura 5.5: Inspección a las 16:35:25 del día 29 de febrero	100
Figura 5.6: Inspección a las 16:35:25 del día 29 de febrero	100
Figura 5.7: Verificación en el sitio con una cámara termografica.....	100
Figura 5.8: Diagrama Distribución de las 9 poleas de la faja transportadora de mineral 014003	101
Figura 5.9: Monitoreo de vibración y temperatura lado izquierdo de la polea N°9 A lado cola de la faja transportadora de mineral 014003.....	101
Figura 5.10: Programa de Parada Línea 1 (Chancado Primario – Stacker MN) nuevo sistema de chancado y transferencia	103
Figura 5.11: El día 21/04/2024, desmontaje de la polea N°9 de la faja transportadora de mineral.....	104
Figura 5.12: Histórico de Reparaciones programadas y no programadas en la faja trasportadora de mineral 014003.....	110
Figura 5.13: Resumen del tiempo de reparación desde el año 2019-2024	111
Figura 5.14: Resumen de las pérdidas de la producción en los años 2019-2023	111
Figura 5.14: Dashboard de las fallas, costos, tiempo de reparación y perdidas de producción de los años 2019-2024.....	112



INTRODUCCIÓN

La automatización y control de procesos integran conocimientos de electrónica, mecánica, electricidad y control de sistemas, lo que permite crear soluciones en automatización y robótica, áreas clave para el avance tecnológico actual. La automatización se enfoca en el desarrollo de sistemas y algoritmos que sincronizan procesos industriales de forma automática.

La robótica desempeña un papel crucial en la inspección y el mantenimiento de fajas transportadoras, ya que facilita la automatización de tareas en entornos peligrosos o de difícil acceso, lo que contribuye a proteger la integridad del personal. Los robots móviles autónomos dotados de sensores avanzados, como cámaras térmicas, sensores de vibración y encoders, permiten la identificación oportuna de fallas (como grietas, desalineaciones o sobrecalentamientos). Esta capacidad de detección temprana fortalece el mantenimiento predictivo, reduce los costos operativos y minimiza las interrupciones no programadas. De este modo, la automatización robótica incrementa la eficiencia operativa y mejora la seguridad en las operaciones mineras [1].

Casos históricos destacan la importancia de la inspección y el mantenimiento preventivo. En 2018, un incendio en una faja transportadora en Shougang Hierro Perú, causado por sobrecalentamiento de polines, bordearían los 15 millones de dólares [2].

Así mismo la falta de inspección y mantenimiento de los polines representan un problema significativo, y estas generan pérdidas humanas. El 14 de junio del 2004, en Argentina, en el yacimiento de Río Turbio un chispazo en uno de los rodillos de la faja transportadora de la mina 5, habría iniciado el fuego. Las vigas de madera que enmarcan las paredes y los techos de la mina se quemaron, lo que produjo derrumbes en varios sectores. Las paredes, repletas de carbón, se fueron incendiando una tras otra, esto produjo el fallecimiento de 14 mineros [3].

El proceso de chancado y transporte de mineral es esencial en minería e incluye etapas como chancado primario, transporte, zarandeo, chancado secundario, recuperación en plantas Dry Cobbing, apilamiento y envío a la planta de procesamiento. En el chancado primario, el mineral es reducido y transportado mediante fajas hacia la clasificación por granulometría. Si el material tiene baja ley ($Fe < 50\%$), pasa por un sistema Dry-Cobbing para recuperar mineral con $Fe > 50\%$ a través de separación magnética.

En la etapa de transporte se utiliza sistemas de fajas y la faja 014003 de 8,720 metros es la más larga del sistema, que mueve 3,050 toneladas de mineral por hora a una velocidad de 4.2 m/s, impulsada por cuatro motores eléctricos que consumen 3,259 kW. Esta faja asegura el flujo continuo de mineral hacia el chancado secundario. Una falla de más de 10 minutos en esta faja detendría el proceso, afectando toda la operación minera.

Desde su operación, la planta ha enfrentado problemas en el transporte de mineral, incluyendo cortes en la faja transportadora de mineral, incendios menores, desalineamientos y atoros en los chutes de descargas, debido a deficiencias en la inspección y detección de fallas. Estos problemas subrayan la necesidad de un sistema de monitoreo inteligente para asegurar la continuidad y seguridad en el transporte de mineral.



CAPÍTULO I Generalidades

1.1 Antecedentes referenciales

El tema de estudio del presente trabajo es la implementación y operatividad de un sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral de 8.8 km de longitud de longitud, Dentro del contexto histórico, se exponen las opciones comerciales existentes en la actualidad, junto con los hallazgos de investigaciones enfocadas en la creación de un sistema de inspección de fajas o métodos para identificar fallos. No existen muchas fuentes de información respecto al tema en Perú, sin embargo, existen estudios de sistemas de sensores inteligentes para la detección de fallas en tuberías [4], el cual aborda los conceptos fundamentales relacionados con el control de variables cinemáticas, dinámicas y eléctricas en un robot móvil, así como las tecnologías actuales que permiten la reconstrucción tridimensional de entornos abiertos.

El desarrollo de sistemas de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas para fajas transportadoras de grandes longitudes ha traído consigo el desarrollo de técnicas de control con diferentes configuraciones [5].

El desarrollo de la robótica ha traído consigo mejoras significativas a la industria en las inspecciones, monitoreos y toma de datos. Gracias a estas mejoras tecnológicas actualmente se ha logrado gran desempeño en cuanto a seguridad y maniobrabilidad [6].

El presente capítulo se compone de tres secciones que presentan la situación actual de la robótica aplicada a la inspección de fajas transportadoras. En la sección histórica se exponen las soluciones comerciales existentes en la actualidad, así como los resultados de algunas investigaciones que buscaron desarrollar sistemas de inspección de fajas o métodos para detectar fallos en ellas. Por último, la sección metodológica establece los temas a desarrollar en los capítulos posteriores.

Las inspecciones de fajas transportadoras son realizadas por personas y sistemas robóticos. Sin embargo, las personas enfrentan entornos peligrosos y largas distancias, lo que ponen en riesgo su seguridad. Además, los datos visuales recopilados son subjetivos, lo que aumenta la posibilidad de errores.

En contraste, los sistemas robóticos permiten llevar a cabo inspecciones de forma remota, evitando exponer a los operarios a situaciones peligrosas. Estos sistemas utilizan métodos como el procesamiento digital de imágenes, corrientes inducidas de campo remoto y la

Detección de fugas de campos magnéticos, lo que les brinda una mayor precisión en la recopilación de datos [7]. La recopilación de información se lleva a cabo mediante el uso de sensores especiales, y posteriormente, los datos se analizan en computadoras con una gran capacidad de procesamiento [8]. En la actualidad, ha habido un aumento en el número de robots móviles diseñados para realizar inspecciones. Sin embargo, todavía no son suficientes para satisfacer las necesidades globales en este campo. Se han presentado diversos tipos de robots para la inspección de fajas transportadoras y tuberías, tanto en el ámbito comercial como en investigaciones científicas. Estos robots tienen como objetivo principal recopilar datos a través de inspecciones visuales. Este enfoque de inspección ha demostrado ser efectivo para obtener información sobre el deterioro de la superficie interna de las fajas y tuberías para detectar la presencia de grietas y puntos calientes.

A continuación, se presenta una tabla que resume las principales características y aplicaciones de los robots de inspección mencionados en las referencias:

Tabla 1.1 Tipos de Robots de Inspección y sus Aplicaciones Principales

Referencia	Tipo de Robot	Aplicación Principal	Tecnologías Utilizadas	Eficacia en la Detección
INLOC Robotics (2021)	Robot de inspección de tuberías	Inspección de tuberías estrechas y pequeñas	Cámaras de visión, sensores de defectos	Alta precisión en detección de obstrucciones y defectos
CORDIS (2014)	THERMOBOT	Detección de grietas en infraestructuras	Termografía, automatización robótica	Eficaz en la detección automatizada de grietas
Robotnik (2023)	Robots móviles autónomos	Inspección industrial general	Cámaras térmicas, navegación autónoma	Precisión en la detección de anomalías térmicas
Ultralytics (2023)	Modelos de IA para segmentación	Detección y segmentación de grietas	Inteligencia artificial, visión por computadora	Mejora la rapidez y precisión en la detección de grietas

CAPITULO II: Marco teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

En esta sección se proporciona una descripción detallada de los fundamentos teóricos necesarios para alcanzar el objetivo del presente documento. Para este propósito, se han extraído los conceptos fundamentales de los artículos [9] y [10], los cuales respaldan el uso de robots móviles en tareas como la inspección y el monitoreo. Además, se ha utilizado la investigación sobre el sistema de monitorización de fajas transportadoras basado en un robot de inspección de suspensión [11], se describen en detalle en los artículos [12] y [13] los métodos de sensado empleados para la reconstrucción de entornos y la adquisición de imágenes.

2.1.1 Robots móviles

La robótica ha surgido como una solución para abordar una amplia gama de problemas tanto en la industria como en la vida cotidiana. Un ejemplo destacado es la implementación de brazos robóticos o manipuladores en las plantas de producción, lo cual ha permitido mejorar la productividad y la calidad de los productos fabricados. Sin embargo, estos brazos robóticos suelen estar fijos en una posición y aunque pueden realizar procesos dentro de su área de trabajo, carecen de la capacidad de moverse a otras posiciones dentro de una planta. Los robots que tienen la capacidad de desplazarse se conocen como "robots móviles" y abarcan aquellos que utilizan ruedas o sistemas de articulaciones y piernas. En la figura 2.1 se presentan diferentes configuraciones de piernas para crear sistemas móviles.

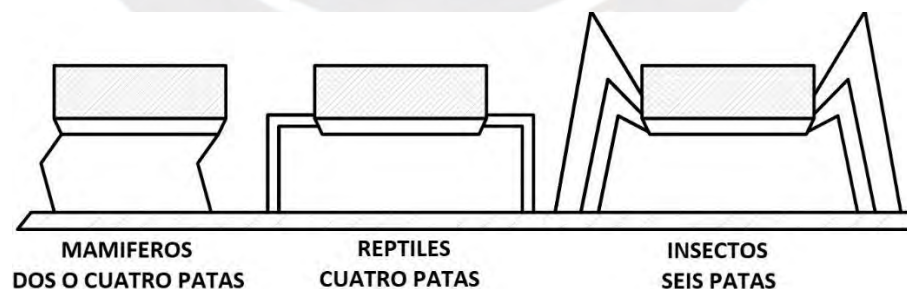


Figura 2.1: Sistemas de locomoción basado en piernas

Este tipo de robots se inspiran en los movimientos de los seres humanos (bípedos) o en animales e insectos (cuadrúpedos o hexápodos, respectivamente).

Sistemas de locomoción basado en piernas

Aunque las configuraciones de locomoción ilustradas en la figura 1 cumplen con el objetivo de movilidad, el sistema más eficiente es aquel que se basa en ruedas, debido a su menor complejidad mecánica y su mayor eficiencia en rieles y/o terrenos planos.

2.1.1.1 Investigación sobre el sistema de monitorización de fajas transportadoras basado en un robot de inspección de suspensión

Se propuso en este artículo [14] el uso de un robot para llevar a cabo la inspección en tiempo real de la cinta transportadora, debido a los problemas comunes que pueden ocurrir durante su funcionamiento. Estos problemas incluyen desviación de la cinta, deslizamiento y fractura, así como anomalías de temperatura en el vertido de materia prima y acumulación de material. Estas situaciones pueden provocar daños en el equipo e incluso causar accidentes [15] y [16].

No obstante, debido a las características de la transmisión a larga distancia, la complejidad de la estructura y el entorno de trabajo desfavorable, el método tradicional de inspección manual resulta ineficiente y no permite detectar los problemas de manera oportuna. Además, los sistemas de monitoreo automático existentes también presentan altos costos y baja eficiencia debido a la gran cantidad de puntos y dispositivos de monitoreo requeridos [17] y [18].

Este artículo propone el uso de un robot para llevar a cabo la inspección dinámica de la faja transportadora de mineral. Este enfoque busca superar las limitaciones de los métodos tradicionales y mejorar la eficiencia de detección al realizar inspecciones en tiempo real.

La inspección de suspensión incluye componentes esenciales: como el cuerpo del robot, el sistema de control, la percepción de la información, el posicionamiento y la comunicación. La Figura 2.2 muestra el entorno en el que opera este robot de inspección de suspensión.

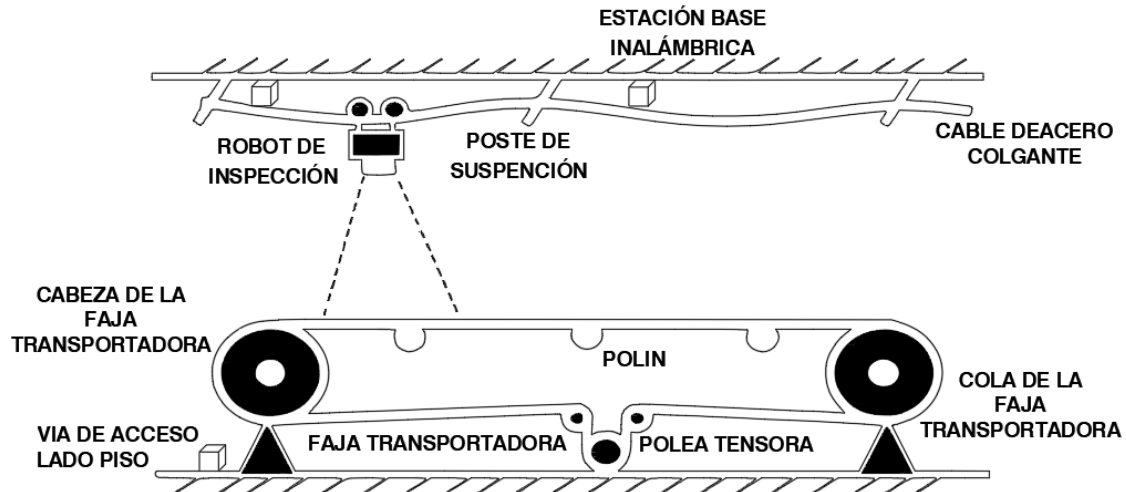


Figura 2.2: El entorno de trabajo del robot de inspección de suspensión

El cuerpo del robot de inspección de suspensión tiene una estructura que se ilustra en la Figura 2.2, y está compuesto principalmente por diferentes componentes, como el mecanismo de conducción, el mecanismo de desplazamiento, el mecanismo de flexión, el marco de transporte del módulo, el mecanismo de obstáculos, entre otros [19] y [20].

Módulo de Control

El sistema de control del robot de inspección de suspensión, basado en una computadora industrial PC104, incluye una máquina de control, varios tipos de sensores, una tarjeta de placa de conducción, servomotores y un instrumento de adquisición de datos de imagen. La comunicación se realiza a través del puerto serial de RS232 para transmitir instrucciones y datos interactivos.

La máquina de control PC104 gestiona la adquisición y procesamiento de datos de temperatura, video y otros sensores, la transmisión de comunicación, la gestión de la batería, entre otras. Estas funciones permiten el control del movimiento del robot y la interacción con el sistema de monitoreo de tierra [21]. El flujo de trabajo principal del robot de inspección se presenta en la Figura 2.3, mientras que el flujo de trabajo del módulo de control se muestra en la Figura 2.4.

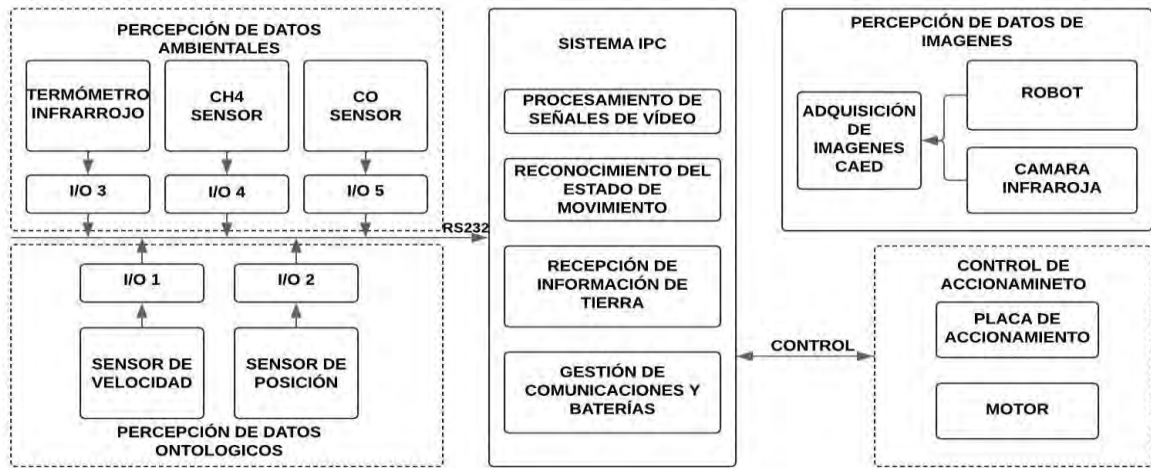


Figura 2.3: El diagrama de estructura del robot de inspección de suspensión

En la figura se muestra la integración de sistema de monitoreo que captura datos ambientales (temperatura, metano, CO) y ontológicos (velocidad, posición), procesados por un sistema IPC que gestiona comunicaciones, baterías y señales de video. Además, un robot con cámara infrarroja adquiere imágenes para el control y accionamiento del sistema.

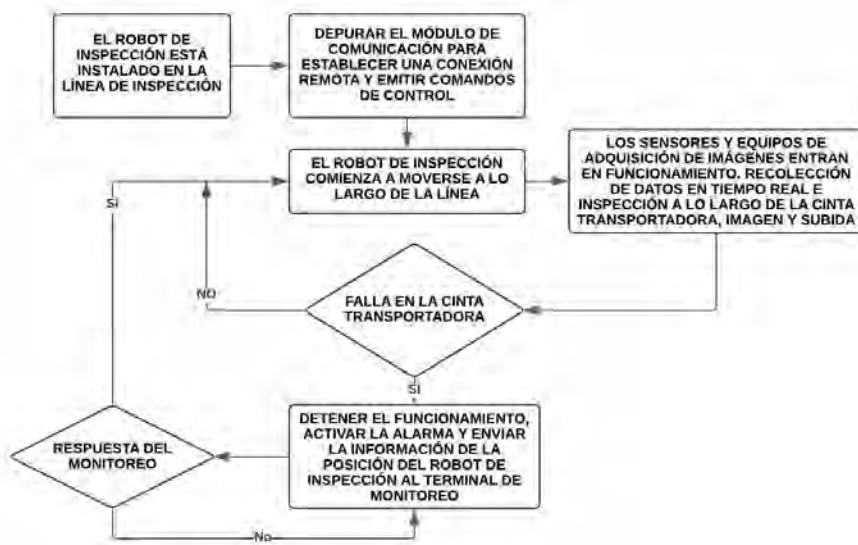


Figura 2.4: El flujo de trabajo del módulo de control del robot de inspección

La figura muestra el proceso de inspección automatizada, donde un robot recorre la línea de inspección, recolectando datos en tiempo real mediante sensores e imágenes. Si se detecta una falla en la cinta transportadora, el sistema detiene el funcionamiento, activa una alarma y envía la ubicación del robot al terminal de monitoreo para su respuesta.

Módulo de Detección de Información

Este módulo se compone principalmente de una cámara de luz visible, una cámara termográfica infrarroja, un sensor de CO, un sensor de CH₄, entre otros. La cámara termográfica infrarroja permite obtener videos infrarrojos con una resolución de 640 * 480 y adquirir datos de mapas térmicos individuales. Por otro lado, la cámara de luz visible proporciona información sobre las condiciones de trabajo reales. Estos sensores trabajan en conjunto para llevar a cabo el monitoreo en línea de diversas condiciones, como desviaciones en la banda, patinaje y rotura de la banda, temperaturas anormales en los rodillos, dispersión y apilamiento.

La arquitectura de Red del Sistema de Monitoreo

En la Figura 2.5 se muestra la estructura de red del sistema de monitoreo de cinta transportadora basado en el robot de inspección de suspensión. En esta configuración, se instala una estación base inalámbrica UWB dentro del rango de la ruta de caminata del robot. Esto permite establecer una red de transmisión de datos inalámbrica que cumple funciones de comunicación y posicionamiento del robot, además de recibir los datos de detección transmitidos por la antena ubicada en el cuerpo del robot.

La transmisión de datos entre las estaciones base inalámbricas se realiza mediante cables ópticos y se envía a través de todos los conmutadores hasta llegar al centro de monitoreo terrestre.



Figura 2.5: La arquitectura de red del sistema de monitoreo de cinta transportadora

La figura muestra un sistema de monitoreo distribuido, donde los robots de inspección subterráneos están conectados a un centro de monitoreo y salas subterráneas mediante una red de comunicación, controlada por conmutadores. Incluye un interruptor de tierra

y permite la conexión de dispositivos de control para gestionar las inspecciones en tiempo real.

La Función de Software del Sistema de Monitoreo

Con el objetivo de satisfacer las necesidades del robot para llevar a cabo la tarea de inspección de la cinta transportadora y facilitar la labor del personal de monitoreo remoto, el diseño de las funciones de software del sistema de control incluye cinco módulos principales. Estos módulos son la función de control de movimiento del robot de inspección, la recopilación de datos del entorno de inspección, el seguimiento del estado del equipo en funcionamiento, la generación de alarmas y la ubicación de las mismas, y el almacenamiento de datos históricos. Estos módulos se presentan en la Figura 2.6.

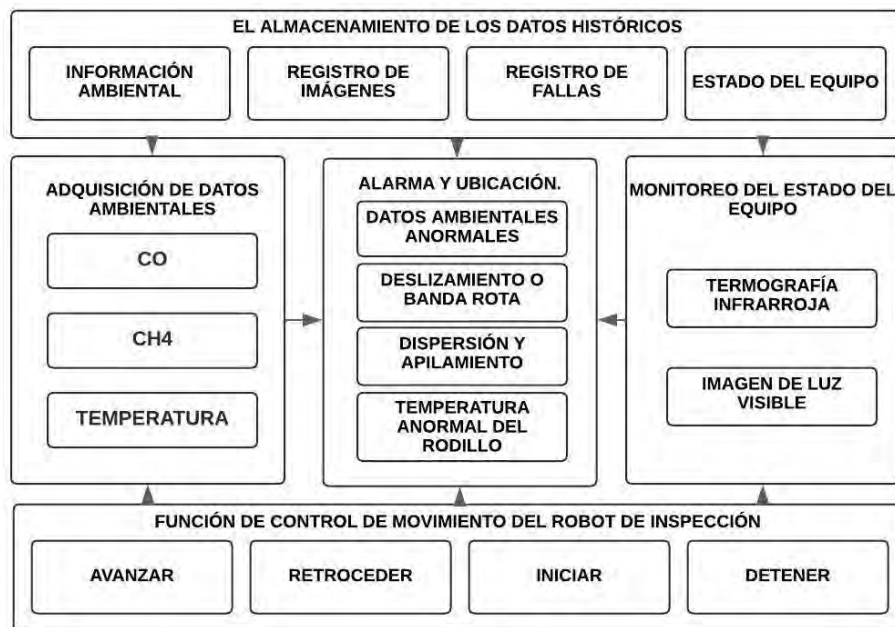


Figura 2.6: La función de software del sistema de monitoreo de cinta transportadora

La función de adquisición de datos ambientales recopila información como la concentración de CO, CH₄ y temperatura transmitiéndola a un terminal remoto para visualizar la información ambiental en tiempo real y realizar un seguimiento dinámico de las tendencias.

La función de visualización de imágenes térmicas utiliza cámaras infrarrojas para obtener información sobre el campo de temperatura en el área de falla de la faja transportadora. Comparando estas imágenes con las de una cámara estándar para localizar con precisión las fallas.

Se realiza un almacenamiento de los datos históricos para mantener un registro térmico de las áreas inspeccionadas de la faja transportadora, lo que facilita la identificación precisa de fallas al comparar imágenes actuales y pasadas.

La función de alarma y ubicación del robot de inspección consiste en que, durante el proceso de inspección, el robot emite una alarma cuando detecta datos fuera de los valores normales, deteniendo su avance y enviando su ubicación al terminal remoto. Así se pueden detectar problemas como derrames o temperatura anormal en rodillos, entre otros.

Una vez que se haya resuelto la anomalía, el terminal remoto puede emitir un botón de liberación de incidente para reiniciar la inspección del robot.

La función de control de movimiento del robot de inspección permite que patrulle a lo largo de la faja transportadora en una vía suspendida, manteniéndose a una distancia segura del suelo y del personal. El control remoto envía instrucciones de avanzar, retroceder, iniciar o detener el movimiento, permitiendo gestionar su desplazamiento durante la inspección.

Diseño de Software del Sistema de Monitoreo

Según las funciones del sistema, el programa se puede dividir en cuatro partes: control de movimiento del robot de inspección, visualización de información en tiempo real, consulta de datos históricos y monitoreo de ubicación de alarma. El diagrama de flujo del programa principal se presenta en la Figura 2.7, mostrando la secuencia y la interacción de estas partes en el programa.

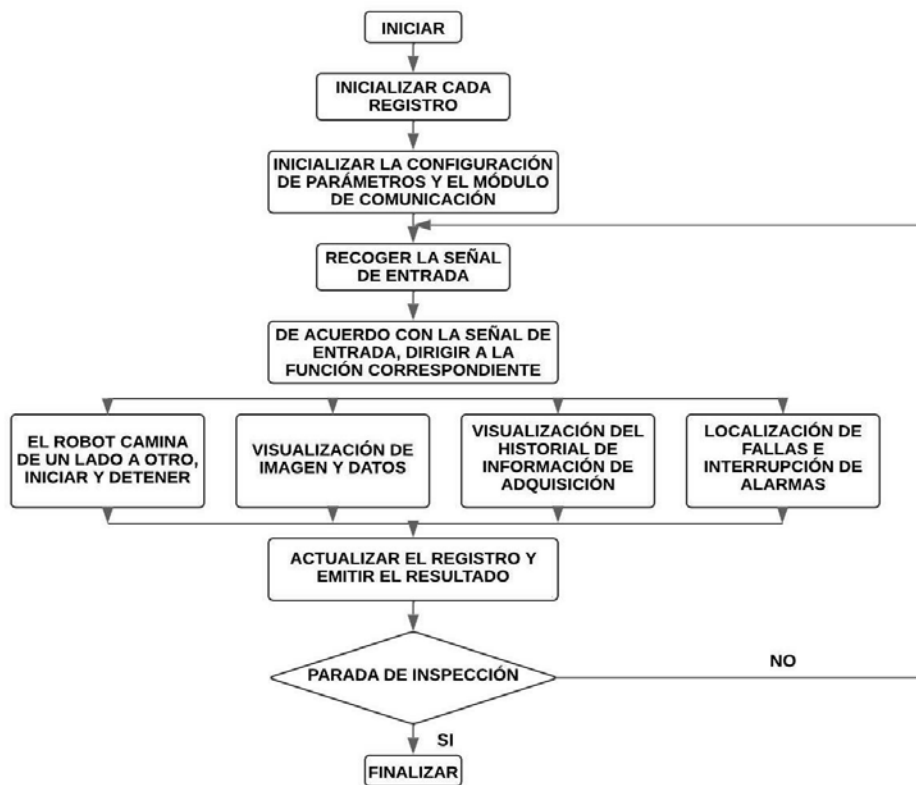


Figura 2.7: El diagrama de flujo del programa Principal

Basándose en las funciones y el diagrama de flujo del software, se desarrolla la interfaz del cliente de control remoto para el robot de inspección de suspensión de la cinta transportadora utilizando el software de configuración como base. Esto se ilustra en la Figura 2.8, donde se muestra cómo se ha diseñado la interfaz del cliente de control remoto para facilitar la interacción con el robot de inspección.

2.1.1.2 Diseño de Sistema de patrulla Robótica para Fajas Transportadoras Mineras

En [22] se describe que debido a la gran distancia a recorrer y la cantidad de puntos de monitoreo en la cinta transportadora, el sistema de control a larga distancia se vuelve complicado, lo que implica una diversidad de equipos de monitoreo, una gran cantidad de dispositivos y un costo elevado. Con el objetivo de reducir la cantidad de equipos de monitoreo y los costos asociados, al mismo tiempo que se logra un monitoreo integral de la cinta transportadora minera, este documento describe un sistema de patrulla de cinta transportadora minera basado en robots. Este sistema se trata de un sistema de monitoreo automático que combina la automatización, los sensores, la informática y la comunicación en red. No solo permite reducir la necesidad de inspecciones manuales y

la carga de trabajo de los operarios, sino que también ayuda a prevenir accidentes peligrosos. Mediante este sistema, se ofrece una nueva forma de mejorar el entorno de trabajo de la cinta transportadora y prevenir o incluso reducir las fallas en todo el proceso [23].

Diseño del Sistema de Hardware

La Figura 2.8 ilustra el sistema de transmisión. Tanto el motor impulsor como la rueda del cable impulsor se ubican en la parte trasera de la cinta transportadora. Un cable metálico se extiende a lo largo de la cinta transportadora. El robot se encuentra fijado al cable de acero y se desplaza en la dirección de la cinta transportadora gracias al impulso proporcionado por el cable [24]

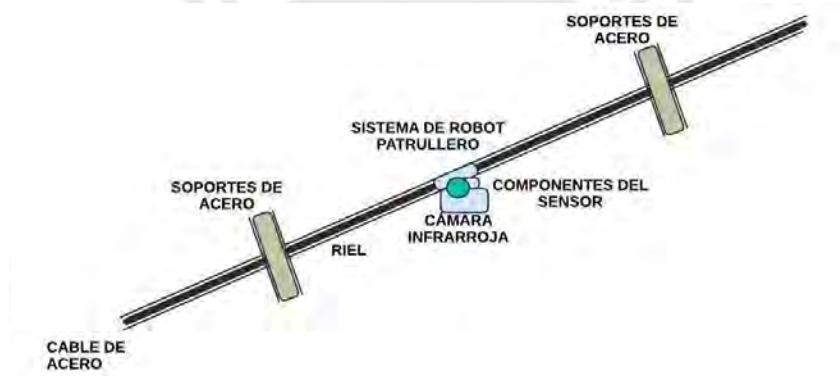


Figura 2.8: Composición del sistema de accionamiento del robot de patrulla

La Figura 2.9 representa la ubicación de la estación base inalámbrica, la cual se encuentra instalada a lo largo del recorrido del robot de patrulla. El número de estaciones base inalámbricas instaladas dependerá de la longitud de la cinta transportadora.

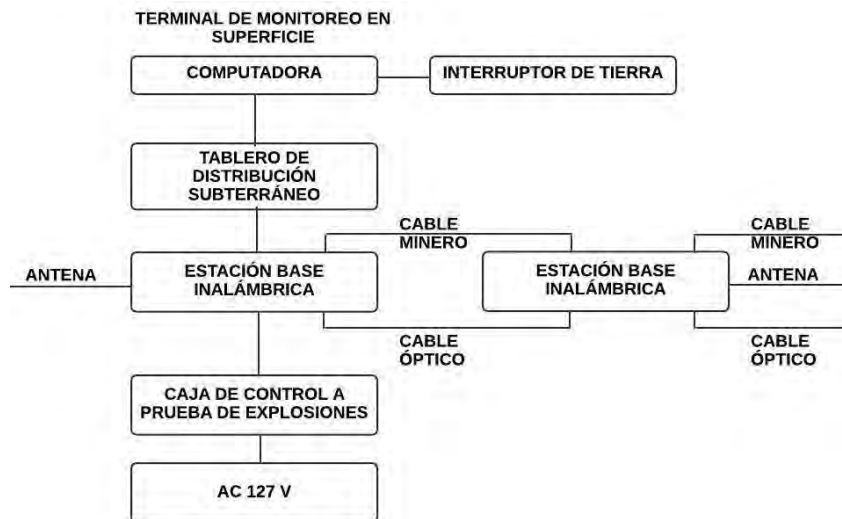


Figura 2.9: Sistema de accionamiento del robot de patrulla

La estación base inalámbrica se alimenta mediante el cable de minería y la transmisión de datos entre estas estaciones se realiza a través de un cable óptico. Además, se instala una antena en cada estación base inalámbrica para recibir los datos de detección transmitidos por la antena en el cuerpo del robot. La caja de control a prueba de explosiones y las estaciones base inalámbricas adyacentes transmiten datos a través de interfaces RJ45 o cables ópticos. La caja de control a prueba de explosiones puede almacenar los datos de detección y actuar como una terminal de monitoreo, siendo alimentada por una fuente de alimentación AC127 V. La estación base inalámbrica se conecta al interruptor en la mina, a través del cual se transfieren los datos al monitor de tierra [25].

El cuerpo del robot está unido al cable de acero mediante un dispositivo de sujeción. Impulsado por el sistema de transmisión con el cable de acero, el cuerpo del robot se desplaza a lo largo de la cinta transportadora. equipado con sensores que recopilan datos del entorno para monitorear su funcionamiento. La caja de carga a prueba de explosiones suministra energía de carga al robot. El terminal de control y la caja de control a prueba de explosiones gestionan el movimiento del robot a través de un sistema de comunicación. La transmisión de datos a larga distancia se realiza a través de la estación base inalámbrica [26].

Principio de Adquisición y Control de Datos

La Figura 1.10 muestra el diagrama de control y adquisición de datos del sistema. En el cuerpo del robot se encuentran instalados sensores de audio, sensores de humo, sensores

de temperatura infrarrojos y cámaras. Estos sensores se encargan de recolectar señales de sonido, humo, temperatura y video en el entorno de trabajo de la cinta transportadora. La información de salida de los datos es codificada y comprimida por el controlador de adquisición [27]. Posteriormente, se transmite de forma inalámbrica a la caja de control a prueba de explosiones.

La señal del codificador de eje, el interruptor a prueba de explosiones, el interruptor de parada y el interruptor de límite de giro se conectan con el PLC a través de la interfaz de entrada/salida para recopilar y controlar los datos y el funcionamiento del sistema de transmisión. El PLC se conecta al control industrial de PC mediante Ethernet industrial y a la unidad de control industrial de PC. Esto posibilita la comunicación con el cuerpo del robot y el PLC, mostrando y reproduciendo diversos datos, imágenes de video, señales de audio y parámetros de estado del sistema de transmisión controlado por PLC. Además, el PC de control industrial envía datos de control tanto al cuerpo del robot como al PLC [28].

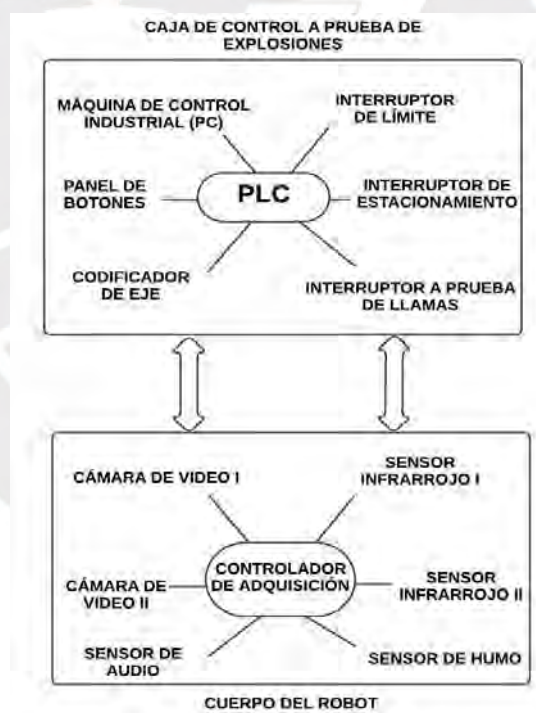


Figura 2.10: Diagrama de bloques de recopilación de datos y control

2.1.1.3 Modelo y Simulación del Robot de Inspección para Faja Transportadora

Es esencial modificar el enfoque de la tarea de inspección. Sin embargo, debido a la tediosa naturaleza de la labor de inspección prolongada, ha habido una disminución en la calidad del trabajo, lo que podría resultar en la incapacidad de cumplir con los plazos de

inspección habituales [29] . Con esto en mente, se ha desarrollado un robot de inspección con el objetivo de completar la tarea de inspección dentro de los plazos y ubicaciones establecidos, lo cual mejorará tanto la seguridad como la eficiencia del proceso de inspección

Análisis de movimiento plano

El diseño del robot de inspección se basa en una configuración de rueda-riel, como se puede apreciar en la Figura 2.11. El robot de inspección está compuesto por dos ruedas motrices y dos juegos de ruedas de soporte, que se encuentran instalados a cada lado del robot. Cada juego de ruedas de soporte está formado por dos ruedas que pueden girar a lo largo del eje. Las ruedas motrices están fabricadas con material de goma, mientras que las ruedas de soporte están hechas de acero.

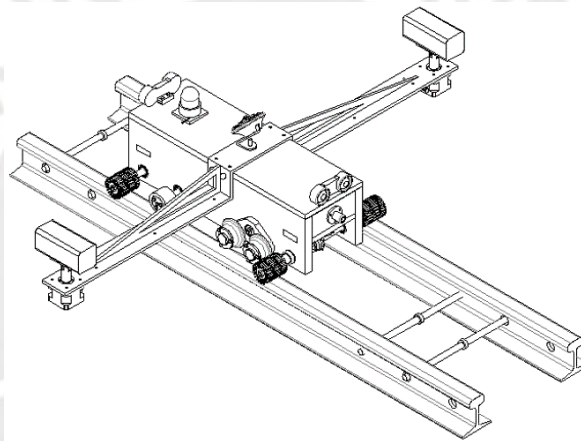


Figura 2.11: Estructura del robot de inspección

El análisis de fuerza de las ruedas motrices se presenta en la Figura 13. Se puede observar que puede haber un fenómeno de histéresis debido a la deformación elástica de las ruedas, lo que resulta en fuerzas asimétricas en los puntos A y B, donde la fuerza en A es mayor que en B [30]. En la Figura 2.12 y Figura 2.13 se muestran algunos parámetros de fuerza cuando el robot se desplaza a una velocidad constante. P_z representa la fuerza de carga sobre la rueda, v indica la dirección y magnitud de la velocidad de la rueda, w es la velocidad angular de la rueda, P_x es la fuerza horizontal del eje de la rueda sobre la rueda, F_z es la fuerza ejercida por el riel sobre la rueda y es igual pero opuesta a P_z , y F_f es la fuerza de reacción del riel sobre la rueda en la dirección tangencial. La distancia de movimiento de F_z debido al fenómeno de histéresis se denota como d_1 .

Se analiza la rueda impulsada en condiciones de velocidad constante, y el análisis de fuerza se muestra en la Figura 2.12 considerando la influencia de la "ilusión de la fuerza".

Análisis de la tasa de Deslizamiento

Debido a que la rueda motriz del robot es un cuerpo viscoelástico no lineal, la rueda motriz no solo rueda sobre el riel cuando se conduce o frena. Por lo general, la tasa de deslizamiento “s” se usa para mostrar la cantidad de deformación del componente en movimiento. La velocidad “v” es más lenta que la velocidad de la rueda “wr” bajo la influencia del deslizamiento. La velocidad relativa de la rueda motriz y el riel se puede expresar como en (5):

$$\Delta v = v - wr \dots\dots (5)$$

Y la tasa de deslizamiento se puede expresar como en (6):

$$s = \left| \frac{v-wr}{wr} \right| \times 100\% \dots\dots (6)$$

En las ecuaciones anteriores, “r” es el radio de rodadura efectivo, “v” es la velocidad del robot y “w” es la velocidad angular de la rueda motriz.

Análisis de Modelado y Simulación de Robot de Inspección

La creación del modelo de prototipo virtual. El modelo del robot se simplificó utilizando el software de simulación ADAMS, hasta finalmente quedar conformado por 24 componentes rígidos, como se muestra en la Figura 1.14. El modelo de prototipo virtual del robot incluye 12 articulaciones giratorias, 11 articulaciones fijas, 4 movimientos y 2 acopladores, lo que da lugar a un sistema con 12 grados de libertad. Dentro de estos 12 grados de libertad se encuentran tres grados de libertad de rotación en las ruedas de soporte en los lados izquierdo y derecho. Como resultado, el robot cuenta con 6 grados de libertad y no se encuentra completamente restringido en todas las direcciones.

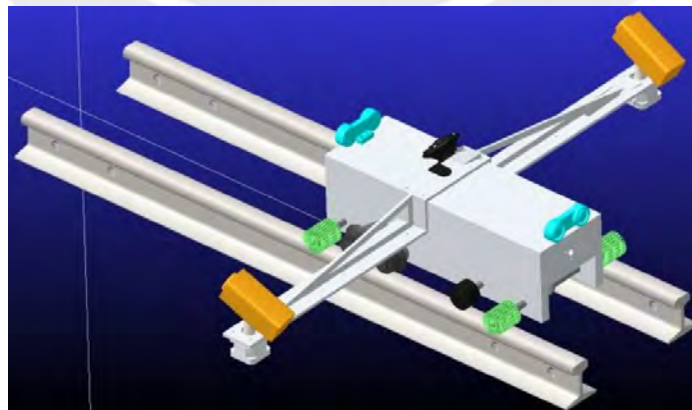


Figura 2.14: Modelo prototipo virtual del robot.

2.1.1.4 Un Robot de Inspección que Utiliza Termografía Infrarroja para Fajas Transportadoras

En este artículo [31]. Se propone un programa de inspección robótica utilizando un termómetro infrarrojo para cintas transportadoras. A lo largo de la ruta de inspección, el robot utiliza un termómetro infrarrojo para capturar imágenes térmicas del motor, poleas, rodillos y otros componentes clave del sistema de transmisión. Estas imágenes se procesan mediante técnicas de segmentación, extracción y clasificación para identificar automáticamente los elementos. Con los valores de temperatura de advertencia y una base de datos de fallas, se desarrolla un Sistema de Pronóstico de Fallas (FRS) que permite la identificación automática y la advertencia de fallas en caso de un aumento anormal de temperatura en los componentes.

Procesamiento de Imágenes Infrarrojas y Sistema de Pronóstico de Fallas (FPS) del Robot de Inspección para Faja Transportadora

El sistema de inspección robotizada por infrarrojos para fajas transportadoras se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 2.15. El robot de inspección opera en la faja transportadora con una cámara termográfica infrarroja que captura imágenes en tiempo real. Si se detecta una temperatura superior a un umbral, las imágenes son procesadas para identificar automáticamente componentes clave como el motor y los rodillos. Consultando una biblioteca de fallas, el sistema combina la temperatura y el tipo de componente identificado para establecer jerarquías de fallas y emitir alertas tempranas de posibles averías.

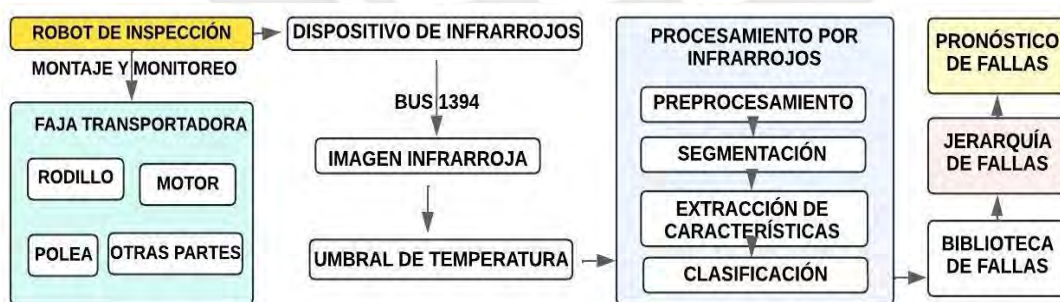


Figura 2.15: Diagrama de bloques del robot de inspección de cinta transportadora basado en infrarrojos.

Robot de Inspección por Infrarrojos de Faja Transportadora

El robot de monitoreo infrarrojo se desplaza a lo largo de las pistas y captura en tiempo real imágenes térmicas infrarrojas de los componentes mecánicos de transmisión en la cinta transportadora, como el motor, el rodillo y la polea. Para su desplazamiento, se

utiliza un mecanismo de engranaje y cremallera. Se instalan pistas de doble cremallera a lo largo de ambos lados de los soportes de la cinta transportadora, entre la cinta superior e inferior. El motor impulsa el eje del engranaje superior doble, que se mueve a lo largo de la pista de la cremallera, mientras que el robot de monitoreo infrarrojo está fijo en dicho eje del engranaje. La Figura 2.16 es el diagrama de estructura del robot.

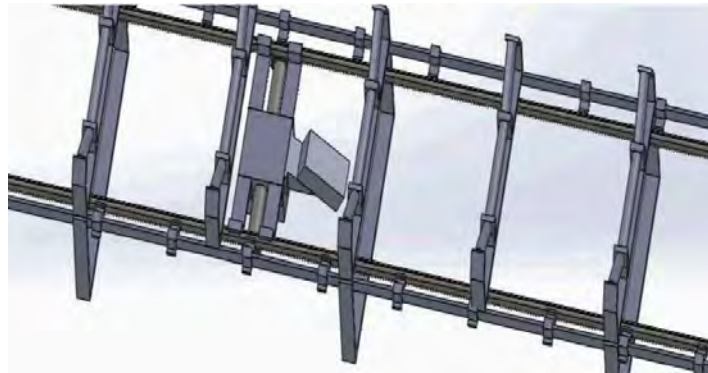


Figura 2.16: Robot de inspección por infrarrojos y órbita de inspección

2.2 Descripción del problema de investigación

Los daños de fajas transportadoras de mineral en la “Planta Ampliación Mina Zona Seca Shougang Hierro Perú” son críticos, ya que provocan paradas prolongadas y grandes pérdidas económicas. Implementar un sistema de monitoreo inteligente mejoraría el tiempo de respuesta las dichas fallas, reduciendo los impactos en la producción. En la planta se cuenta con: 5 equipos móviles, 3 Chancadoras secundarias, 2 Zarandas lineales, 2 Zarandas Bananas, 5 separadores magnéticos, 1 Tolva Estéril y 25 fajas trasportadoras de mineral, siendo el de mayor longitud y más critica el de 8,8 Km, esta faja transportadora de mineral presenta 54 empalmes a lo largo esto hace que se requiera tener un sistema de tensado (winche, polea móvil , motor , freno) para poder arrancarlo adicional a esto cuenta con cuatro trenes de potencia (motor 875 Kw, reductor, freno), 9 poleas, cuatro variadores de media tensión y un motor de tensado con un variador de baja tensión.

La instalación y operación de un sistema de monitoreo para una faja transportadora de mineral, representa un gran desafío, ya que se requieren inspecciones exactas para diagnosticar tempranamente y en tiempo real. Por esta razón, se busca cada vez más el uso de sistemas robóticos remotos para realizar estas tareas. En La Planta Ampliación Producción Mina Zona Seca, desde su inicio, se han presentado problemas como cortes en la zona de empalmes, amago de incendios por polín desbocado, desalineamiento de la faja y atoros en las descargas de mineral de la faja.

Las fallas y roturas de la faja transportadora de mineral son causadas por patinado, desalineamiento, pérdida de tracción, desgarrado de empalmes y polines desgastados. Estas fallas provocan pérdidas económicas, desgastes de equipos y reducción de tiempo de vida de los equipos, sometiendo a los reductores, poleas y los motores eléctricos a sobreesfuerzos y mayor consumo de energía.

En la Planta Ampliación Producción Mina Zona Seca de Shougang Hierro Perú, la inspección y mantenimiento de fajas transportadoras de mineral se realizan periódicamente, pero conlleva a un alto riesgo para los operarios y un alto costo económico. A lo largo de tres años se han producido numerosas fallas en los empalmes causando cortes en la faja transportadora.

Durante la etapa de chancado, el transporte de mineral de hierro del tajo hacia el stock de crudos es crítico, ya que se realiza mediante una única línea de transporte, sin línea alterna para el traslado del mineral.

2.2.1 Problemática principal

El principal problema del estudio es la falta de monitoreo, detección y diagnóstico de fallas en la faja transportadora de longitud 8,8 Km de la Planta Ampliación Producción Mina Zona Seca y por el cual se tiene pérdidas económicas y productivas.

2.2.2 Problemas específicos

- Deficiencia en la inspección y mantenimiento de fajas transportadoras ha provocado que a lo largo de los tres años se produzcan una gran cantidad de fallas por corte de fajas en los empalmes.
- Alto riesgo para operarios y personal de mantenimiento que realiza esta inspección además un alto costo económico
- Daños causados a los puntos de unión de la faja transportadora, donde se produce un desgaste o ruptura en la unión de los segmentos de la faja utilizada para el transporte de mineral.
- Deficiencia en el diagnóstico de los empalmes por desgaste al momento de los tensados de la faja transportadora.
- Los polines o rodillos no cuentan con un tiempo de cambio programado, generando elevadas temperaturas y ocasionando amagos de incendios en la faja transportadora de mineral.

- Alta vibración generada por los desalineamientos de la faja transportadora de mineral ocasiona desgastes en los componentes de la misma
- Reducción en la duración efectiva de la vida útil de los equipos, que produce una disminución en el tiempo de funcionamiento óptimo y eficiente de los componentes utilizados.

2.3 Objetivo del estudio

Los objetivos generales y específicos del presente estudio son:

2.3.1 Objetivo general

El objetivo general de la tesis es la Implementación y operatividad del sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral de 8.8 km de longitud de longitud en una unidad minera (Shougang Hierro Perú).

2.3.2 Objetivos específicos

Para poder alcanzar este objetivo es necesario realizar los siguientes trabajos de investigación y desarrollo:

- Desarrollar un sistema metodológico de inspección para fajas transportadoras de mineral, definiendo métodos, técnicas y parámetros operativos para la detección de fallas, sin realizar simulaciones computacionales ni validaciones experimentales.
- Diseñar y simular un sistema de inspección de fajas transportadoras, creando un modelo operativo, simulando fallas computacionalmente y validando la eficacia del sistema mediante pruebas de precisión, sensibilidad y tasa de falsos positivos
- Implementación de inspección de forma remota, con mayor precisión al utilizar métodos como procesamiento digital de imágenes, corrientes inducidas de campo remoto y detección de fuga de campos magnéticos.
- Adecuar y evaluar la alimentación de energía al control del sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral.
- Distribución mecánica y electrónica de un sistema de inspección de faja transportadora de mineral.
- Recolección de datos a partir de sensores, y los datos son analizados en computadoras con una elevada capacidad de procesamiento

- Diseñar políticas y estrategias de mantenimiento de los equipos, sistemas, procesos más críticos.
- Proponer planes de mantenimiento preventivo y predictivo para la faja transportadora de la planta Ampliación Mina Zona seca, en base a la inspección y detección de fallas.

2.4 Hipótesis del estudio

Las hipótesis generales y específicas del presente estudio son:

2.4.1 Hipótesis general

La Implementación y operatividad del sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral, permitirá tener un mejor programa de mantenimiento de la faja transportadora de mineral de acuerdo a los diagnósticos de falla.

2.4.2 Hipótesis Específicas

- Se podrá realizar un monitoreo eficiente de fallas y una aplicación para diagnosticar y tener un mejor mantenimiento.
- Es posible realizar la integración de las señales de campo, como son temperatura, vibración, velocidad, desalineamiento, scanner, vibración, termografía de los componentes de la faja transportadora de mineral como es motores eléctricos, reductores, poleas y polines hacia el sistema de control principal de la planta.
- Es posible realizar una toma de datos adecuada de los parámetros para hacer un programa de mantenimiento.

CAPÍTULO III: Diseño de sistema mecatrónico

En este capítulo se aborda el diseño de un sistema de inspección y detección de fallas en una faja transportadora de mineral. esto implica la creación de un sistema mecatrónico integral que pueda identificar y diagnosticar problemas potenciales en la operación de la faja transportadora. Se comienza por explicar la configuración de las estaciones de control y se analizan los criterios empleados para elegir sus componentes. El diseño del robot móvil se segmenta en cinco áreas: energético, mecánico, sensores y comunicación del robot al centro de control. Por último, se proporciona una descripción del software y se presenta su respectivo diagrama de flujo.

3.1 Diseñar un sistema de inspección y detección de fallas en una faja transportadora de mineral.

En la actualidad el sector minero de la industria peruana viene experimentando cambios en la optimización de sus recursos tales como la conservación de sus activos implementando técnicas modernas para mejorar la gestión del mantenimiento, debido a la necesidad de elevar los volúmenes de producción y la constante aparición de las nuevas tecnologías, la mecanización y automatización de los procesos obligan a las empresas a convivir con la filosofía de “mejora continua”. Existe cada vez más una notoria influencia de los robots autómatas en los procesos de la industria minera, esto genera grandes ventajas que reporta el trabajo realizado por dichas máquinas, extendiendo los límites del hombre de forma segura e incrementando la vida útil de los equipos siendo precisa y confiable, hacen de su desarrollo y mejora continua.

La faja transportadora 014003 donde se desarrollará el diseño de un sistema de inspección, es de longitud 8.8 km de longitud. de longitud debido a esta extensión se hace complicado el monitoreo de fallas mediante operadores en este caso se requiere la utilización de sistemas robóticos remotos móviles para el cumplimiento de dicha tarea.

3.1.1 Entorno Operacional.

Los sistemas robóticos remotos móviles se clasifican según su entorno operativo donde se desarrollarán, y el diseño mecánico se ajusta en consecuencia. En el caso del sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas, que operara en una faja transportadora. El entorno de operación de un robot encargado de detectar fallas en una faja transportadora es habitualmente complejo y puede estar sujeto a diversas condiciones desafiantes. A continuación, se detallan las características de este entorno:

- Faja Transportadora: El robot opera en las proximidades de la faja transportadora, una estructura industrial que puede estar expuesta a polvo, suciedad y materiales abrasivos. La faja misma puede estar en constante movimiento, lo que añade un factor dinámico al entorno.
- Condiciones de Iluminación: Las condiciones de iluminación pueden variar según el entorno en el que se encuentre la faja transportadora, incluyendo áreas bien iluminadas, así como zonas con iluminación deficiente o irregular.
- Ruido y Vibraciones: El entorno puede ser ruidoso debido al funcionamiento de la maquinaria circundante, como motores, rodillos y la propia faja transportadora. Además, pueden existir vibraciones significativas debido al movimiento de la faja y otras máquinas cercanas.
- Espacio Restringido: El espacio alrededor de la faja transportadora puede ser limitado, lo que dificulta el movimiento del robot y la realización de tareas de inspección.
- Temperatura y Humedad: La temperatura y la humedad pueden variar considerablemente según el entorno de trabajo, lo que puede afectar tanto al robot como a sus componentes electrónicos y sensores.
- Presencia de Objetos y Obstáculos: El entorno puede contener diversos objetos, como piezas de mineral, herramientas u otros equipos, así como obstáculos imprevistos como estructuras metálicas, soportes o cables.
- Riesgos de Seguridad: Dado que se trata de un entorno industrial, pueden existir riesgos de seguridad adicionales, como la posibilidad de atrapamiento, contacto con partes móviles de la maquinaria o la presencia de sustancias peligrosas.

El entorno operacional de un robot destinado a detectar fallas en una faja transportadora es complejo y presenta una variedad de desafíos, incluyendo factores ambientales adversos, riesgos de seguridad y limitaciones espaciales. Es esencial que la selección del robot móvil y sus sistemas consideren estos aspectos para asegurar un rendimiento eficaz y seguro en dicho entorno.

3.1.2 Selección de tecnologías de detección.

La selección de las tecnologías para detectar y monitorear fallas en fajas transportadoras puede variar dependiendo de diversos elementos, como el tipo de faja (Dimensiones y

Características Físicas), las condiciones de trabajo, el presupuesto disponible y los requerimientos particulares de supervisión. Algunas tecnologías comunes utilizadas para este propósito.





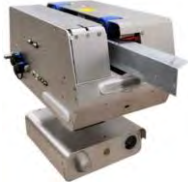
- **Sensores de Vibración:** Estos dispositivos pueden registrar vibraciones inusuales en la faja transportadora, indicando posibles problemas como desalineación, desgaste de rodillos o fallos en componentes mecánicos. Los datos de vibración se emplean para anticipar fallos potenciales y planificar labores de mantenimiento preventivo.
- **Sensores de Temperatura:** Estos sensores detectan zonas con temperatura elevada en la faja transportadora, señalando posibles problemas como fricción excesiva, sobrecarga o fallos en los rodamientos. La detección temprana de temperaturas anormales puede prevenir el sobrecalentamiento y el desgaste prematuro de los componentes.
- **Sistemas de Inspección Visual:** Mediante cámaras y sistemas de visión artificial, se realiza una inspección visual de la faja transportadora para identificar defectos, daños o desgaste. Estos sistemas pueden instalarse en diferentes puntos de la faja para lograr una cobertura completa.
- **Sensores de Desalineación:** Estos sensores detectan cuando la faja transportadora se desvía de su trayectoria correcta, lo que puede indicar problemas en los rodillos, poleas o la estructura de soporte. La detección temprana de desalineaciones puede prevenir daños adicionales en la faja y otros componentes.
- **Sistemas de Monitoreo de Tensión:** Estos sistemas miden la tensión en la faja transportadora para detectar cambios que puedan indicar problemas como desgaste excesivo, carga desbalanceada o tensión inadecuada. El monitoreo continuo de la tensión puede prevenir roturas y prolongar la vida útil de la faja.
- **Sistemas de Monitoreo de Velocidad:** Estos sistemas detectan cambios en la velocidad de la faja transportadora, señalando posibles problemas como obstrucciones, carga desbalanceada o fallos en los motores. La detección temprana de cambios en la velocidad puede prevenir daños y paradas no planificadas.
- **Sistemas de Detección de Metales:** En industrias donde la presencia de metales es un riesgo, como la minería o el reciclaje, se utilizan sistemas de detección de metales para identificar objetos extraños que puedan dañar la faja transportadora u

otros equipos.

A diferencia de robots utilizados para el monitoreo de fallas en fajas transportadoras, el robot remoto móvil debe ser capaz de operar en condiciones ambientales adversas, incluyendo exposición a temperaturas extremas. En la tabla 3.1, Incluye detalles como el modo de transporte, dimensiones, peso, autonomía, alcance de inspección y tipos de sensores utilizados. También presenta imágenes de cada sistema, destacando sus aplicaciones en la detección de fallas.



Tabla 3.1: Sistemas Comerciales de Inspección de Fajas Utilizados para el Monitoreo de Fallas en Fajas Transportadoras:

Fabricante	Hengsheng S.R. L	DeepTrekker	Shenzhen Schroder	Aero Drones	Hengsheng S.R. L
Modelo	LB_V6.0	DT340S	SINGA300	Agras T40	Saturno 1S
Modo de Transporte	Sobre Rieles	Terrestre	Terrestre	Aire	Sobre Rieles
Dimensiones	345 x 280 x 70 mm	141 x 151 x 610 mm	450 x 65 x 575 mm	2800 × 3125 × 640 mm (brazos y hélices desplegados)	320 x 210 x 317
Peso	7 kg	15.5 kg	11 kg	32 kg	10 kg
Material	Latón Acero inoxidable	Aluminio	Aluminio	Fibra de carbono	Latón Acero inoxidable
Diámetro de la tubería o faja inspeccionar	Aire Libre	200 - 915 mm	300 – 2000 mm	Aire Libre	Aire Libre
Método de conexión	Inalámbrica	Alámbrica	Alámbrica	Inalámbrica	Inalámbrica
Energía (Autonomía)	Baterías (5 Horas)	Baterías (4 Horas)	Baterías	Baterías	Baterías (5 Horas)
Distancia de inspección máxima	6000m	400m	300m	2000m	6000m
Sensores	Cámara, Infrarrojo, detección de gases y humos	Cámara	Cámara	Infrarrojo,Camara, multiespectrales, magnetometria aerea	Cámara, Infrarrojo, detección de gases y humos
Imagen					

3.1.3. Diseño e Implementación del Modelo Matemático

3.1.3.1 Modelo Matemático para la Faja Transportadora

La ecuación de movimiento que rige el comportamiento dinámico de la faja transportadora (7), se basa en la segunda ley de Newton, la cual establece que la suma de las fuerzas aplicadas a un cuerpo es igual a la masa multiplicada por su aceleración. [32]

Esta ecuación diferencial se expresa de la siguiente forma:

3.1.3.2 Ecuaciones de Movimiento

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = F_{ext} \dots\dots (7)$$

Donde:

m: Masa efectiva de la faja (kg)

c: Coeficiente de amortiguamiento (Ns/m)

k: Constante de rigidez (N/m)

F_{ext}: Fuerza externa aplicada (N)

describe el comportamiento dinámico de un sistema mecánico bajo el efecto de una fuerza externa. Cada término de esta ecuación representa diferentes aspectos de la dinámica, y su interacción es clave para entender cómo responde el sistema. A continuación, se explica cada parámetro y su interacción:

- Parámetros de la ecuación:

$m \frac{d^2x}{dt^2}$, (Inercia): Representa la fuerza inercial del sistema, que depende de la masa (**m**) y la aceleración ($\frac{d^2x}{dt^2}$). Cuanto mayor sea la masa o la aceleración, mayor será la resistencia del sistema al cambio de movimiento (N).

$c \frac{dx}{dt}$, (Amortiguamiento): Representa la fuerza de amortiguamiento, que depende del coeficiente de amortiguamiento (**c**) y la velocidad $\frac{dx}{dt}$. Esta fuerza disipa la energía del sistema, reduciendo oscilaciones y estabilizando el movimiento (N).

kx (Rigidez): Representa la fuerza elástica, que depende de la constante de rigidez (**k**) y el desplazamiento (**x**). Define la capacidad del sistema de recuperar su posición original tras una deformación (N).

F_{ext} (Fuerza externa): Es la fuerza aplicada al sistema desde el exterior. Actúa como el agente que induce movimiento en el sistema (N).

- Interacción entre los parámetros:

a) Inercia vs. Rigidez

- Si el sistema tiene una alta masa (m) y baja rigidez (k), responderá más lentamente a las perturbaciones externas y mostrará oscilaciones amplias.
- Por el contrario, un sistema con alta rigidez y baja masa será más rápido y menos oscilatorio.

b) Amortiguamiento vs. Rigidez

- Un amortiguamiento alto (c) reduce significativamente las oscilaciones, incluso en sistemas con alta rigidez. Sin embargo, un exceso de amortiguamiento puede hacer que el sistema sea más lento para responder.
- La rigidez (k) trabaja en conjunto con el amortiguamiento para determinar la frecuencia natural del sistema.

c) Fuerza externa vs. Respuesta del sistema

- La fuerza externa (F_{ext}) determina la amplitud de la respuesta del sistema. Si F_{ext} coincide con la frecuencia natural del sistema, puede ocurrir resonancia, amplificando las oscilaciones.

d) Relación dinámica global

- Cuando F_{ext} varía en el tiempo, los términos de inercia (m), amortiguamiento (c) y rigidez (k) interactúan para determinar cómo el sistema responde al estímulo:
 - El término inercial domina en frecuencias altas, retrasando la respuesta.
 - El término elástico domina en frecuencias bajas, permitiendo movimientos más rígidos.
 - El término amortiguador controla la disipación de energía en todo el rango de frecuencias.

- Aplicación práctica en la faja transportadora

- Inercia $m \frac{d^2x}{dt^2}$: La masa efectiva de la faja influye en cómo responde a variaciones en la carga o cambios en la velocidad.
- Amortiguamiento ($c \frac{dx}{dt}$): El coeficiente de fricción y los polines proporcionan resistencia al movimiento, estabilizando el sistema.
- Rigidez (kx): La rigidez de la faja y las conexiones determina cómo se distribuyen las tensiones a lo largo de la longitud.
- Fuerza externa (F_{ext}): Las tensiones generadas por los motores o las cargas adicionales afectan el comportamiento global.
- Esta interacción permite diseñar y ajustar el sistema para operar de manera eficiente bajo diversas condiciones dinámicas.

3.1.3.3 Ecuación de Tensión

La ecuación de tensión en una faja transportadora (8), describe la fuerza de tracción que se genera a lo largo de la faja debido a la interacción de diversas fuerzas estáticas y dinámicas. [33]

La expresión matemática de la tensión se representa de la siguiente forma:

$$T(x, t) = \mu gh + \frac{1}{2} \rho v^2 \dots \dots (8)$$

Donde:

- $T(x, t)$: Tensión en la faja (N)
- μ : Coeficiente de fricción
- g : Aceleración gravitacional (9.81 m/s²)
- h : Altura de la faja (m)
- ρ : Densidad del material transportado (kg/m³)
- v : Velocidad de la faja (m/s)

Describe la tensión dinámica $T(x, t)$ que actúa en una faja transportadora en función de diferentes parámetros. Esta tensión se compone de dos términos principales: uno

relacionado con el peso del material y otro con las fuerzas dinámicas debidas al movimiento. A continuación, se explica cada parámetro y su interacción:

- Parámetros de la ecuación

$T(x, t)$ (Tensión en la faja): Es la fuerza total que actúa en un punto específico de la faja (x) en un momento dado (t). Depende tanto de los factores estáticos (peso del material y pendiente) como de los factores dinámicos (velocidad y densidad del material), (N).

μ (Coeficiente de fricción): Descripción: Representa la resistencia al movimiento debido al contacto entre la faja y las superficies de soporte (como los polines o poleas). A mayor valor de μ , mayor será la resistencia al deslizamiento, lo que incrementa la tensión necesaria para mover la faja.

g (Aceleración gravitacional): Representa la fuerza de gravedad que actúa sobre el material transportado en la faja. Es un factor constante que afecta directamente la componente estática de la tensión. Su valor típico es 9.81 m/s^2 .

h (Altura o pendiente de la faja): Es la diferencia de altura entre el punto de inicio y el final de la faja. A mayor altura (h), se requiere mayor fuerza para vencer la componente gravitacional, aumentando la tensión estática. (m)

ρ (Densidad del material transportado): Es la cantidad de masa por unidad de volumen del material que se mueve en la faja. Influye en la componente dinámica de la tensión, ya que mayor densidad implica mayor energía cinética. (kg/m^3)

v (Velocidad de la faja): Es la rapidez con la que se mueve la faja transportadora. A velocidades más altas, la energía cinética del material transportado aumenta exponencialmente, lo que incrementa la tensión dinámica. (m/s)

- Interacción entre los parámetros

a) Tensión estática (μgh)

- Esta componente es independiente de la velocidad (v) y depende directamente del peso del material (μgh).
- Aumenta cuando:
 - Incrementa la fricción (μ).

- La pendiente de la faja (h) es mayor.
- b) Tensión dinámica ($\frac{1}{2}\rho v^2$)
- Esta componente depende del movimiento del material, especialmente de la velocidad (v).
 - Aumenta de forma cuadrática con la velocidad (v^2), lo que significa que pequeños incrementos en (v) tienen un impacto significativo en esta tensión.
 - También depende de la densidad del material (ρ).
- c) Relación entre tensión estática y dinámica
- A bajas velocidades ($v \approx 0$), la tensión estática (μgh) domina, ya que la componente dinámica es insignificante.
 - A altas velocidades ($v \gg 0$), la componente dinámica ($\frac{1}{2}\rho v^2$) predomina, requiriendo mayor potencia para mantener el sistema en operación.
- d) Pendiente y velocidad
- En sistemas con pendientes elevadas (h grande), incluso bajas velocidades pueden generar tensiones significativas.
 - A velocidades altas en pendientes pronunciadas, el sistema puede llegar a niveles críticos de tensión, lo que aumenta el riesgo de fallas.
- f) Densidad y material transportado
- Si el material tiene alta densidad (ρ), tanto la tensión estática como la dinámica aumentan, afectando directamente la potencia requerida por los motores.
- g) Aplicaciones prácticas en fajas transportadoras
- Diseño del sistema: Los motores deben ser dimensionados considerando tanto la componente estática (μgh) como la dinámica ($\frac{1}{2}\rho v^2$).
 - Prevención de fallas: A velocidades altas, es crucial monitorear la tensión para evitar deslizamientos o roturas de la faja.
 - Optimización: Ajustar la velocidad y el material transportado (ρ) puede reducir la tensión total y mejorar la eficiencia energética.

Esta ecuación proporciona una base sólida para diseñar, monitorear y optimizar el funcionamiento de las fajas transportadoras en entornos industriales.

3.1.3.4 Ecuación de Energía

La ecuación de potencia en una faja transportadora (9), describe la cantidad de energía requerida para operar el sistema bajo condiciones de carga y movimiento. [34]

Esta ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$P = \frac{T(x, t) \cdot v}{\eta} \dots\dots (9)$$

Donde:

- P: Potencia requerida (W)
- T(x, t): Tensión en la faja (N)
- v: Velocidad de la faja (m/s)
- η : Eficiencia del sistema de transmisión (sin unidad, entre 0 y 1)

Describe la potencia requerida (P) para operar una faja transportadora. En esta fórmula, cada parámetro interactúa para determinar cuánta energía se necesita para mover el material transportado, considerando tanto las propiedades físicas del sistema como las pérdidas por ineficiencia. A continuación, se explican los parámetros y cómo interactúan entre sí:

- Parámetros de la ecuación

T(x, t), (Tensión dinámica en la faja): Es la fuerza tensil en la faja en función de la posición (**x**) y el tiempo (**t**). Incluye tanto las tensiones estáticas (por el peso del material) como las dinámicas (debidas al movimiento de la faja y el material transportado) (N). La tensión puede aumentar debido a cargas más pesadas, fricción, o mayores inclinaciones de la faja.

η (Eficiencia del sistema): Es un factor adimensional que representa las pérdidas de energía debido a fricción, disipación térmica, y otras ineficiencias mecánicas o eléctricas. Varía entre 0 y 1, donde **$\eta = 1$** corresponde a un sistema perfecto sin pérdidas.

- Interacción entre los parámetros

Relación entre tensión ($T(x, t)$) y velocidad (v):

La expresión $T(x, t) \cdot v$ representa la energía por unidad de tiempo transferida a través de la tensión aplicada y la velocidad de la faja. Este producto da lugar a la potencia teórica requerida, que se ajusta por el factor de eficiencia η para obtener el valor real de potencia disponible. Si la tensión o la velocidad aumentan, el esfuerzo sobre los motores será mayor.

a) Eficiencia (η) y pérdidas de energía:

- La eficiencia ajusta el producto $T(x, t) \cdot v$ para considerar las pérdidas reales en el sistema.
- En un sistema menos eficiente (η), más potencia será requerida para compensar las pérdidas.

b) Condiciones operativas y demanda de potencia (P):

- Alta carga (mayor $T(x, t)$):
 - Si la carga de material es alta, $T(x, t)$ aumentará, incrementando la potencia necesaria.
- Alta velocidad (v):
 - Si la velocidad de la faja aumenta, la potencia requerida se incrementará proporcionalmente.
- Ineficiencia (η):
 - Si la eficiencia disminuye, el sistema requerirá más energía para mantener las mismas condiciones de operación.

Tabla 3.2 Entradas y Salidas de las Ecuaciones Fundamentales del Modelo Matemático de la Faja Transportadora"

Ecuación	Entrada	Salida
Ecuaciones de Movimiento	F_{ext}, m, c, k	x (<i>posición</i>), $\frac{dx}{dt}$ (<i>velocidad</i>), $\frac{d^2x}{dt^2}$ (<i>aceleración</i>)
Ecuación de Tensión	μ, g, h, ρ, v	$T(x, t)$ (<i>tensión</i>)
Ecuación de Energía	$T(x, t), v, \eta$	P (<i>potencia</i>)

3.1.4 Algoritmo de detección de fallas.

Algoritmos de Detección de Fallas: Se crearán algoritmos específicos para identificar distintos tipos de fallas en la faja transportadora, basados en la información recopilada por los sensores. Estos algoritmos podrían abarcar análisis de vibraciones para detectar desgastes en los componentes mecánicos, análisis de temperatura para reconocer sobrecalentamientos, entre otros métodos.

3.1.5 Sistema de Alerta y Notificación

En caso de detectar una posible falla, el sistema enviará una alerta inmediata para informar a los operadores o al personal de mantenimiento. Esta alerta puede adoptar diversas formas, como una señal visual, una alarma sonora o incluso una notificación automática a través de un sistema de gestión de mantenimiento asistido por computadora.

3.1.6 Análisis y Diagnóstico

Además de simplemente detectar la falla, el sistema también podrá suministrar información adicional para facilitar el diagnóstico y la solución del problema. Esto puede implicar el acceso a datos históricos de mantenimiento, recomendaciones de acciones correctivas e incluso instrucciones detalladas paso a paso para resolver la situación.

De acuerdo las opciones presentadas en la tabla 3, el modelo LB_V6.0 sobresale como la elección preferida gracias a su robustez, amigable traslado y sistema de baterías, para el monitoreo e inspección de la faja transportadora adicional a esto cuenta con sistema de sensores y cámara de mayor resolución. Es inalámbrico debido a la extensión de la faja, facilitando así la realización de inspecciones incluso en entornos adversos al aire libre.

3.2 Algoritmo de la implementación de un sistema de monitoreo inteligente para la detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de 8.8 km de longitud de longitud

Las fajas transportadoras de mineral desempeñan un papel fundamental en las operaciones mineras, ya que permiten el traslado continuo y eficiente del mineral desde el yacimiento hacia las plantas de procesamiento. No obstante, debido a su considerable extensión y constante uso, son propensas a sufrir fallas tanto mecánicas como eléctricas, lo que puede impactar negativamente la producción. Tradicionalmente, la detección de problemas en estos sistemas se ha basado en inspecciones manuales regulares, un enfoque que puede resultar ineficiente y costoso debido a las paradas imprevistas.

La implementación de un sistema de monitoreo inteligente para la detección y diagnóstico de fallas es una solución innovadora. Este sistema empleará un algoritmo diseñado específicamente para la faja transportadora de mineral de 8.8 km de longitud. de longitud, utiliza tecnologías avanzadas de sensores y análisis de datos en tiempo real para anticipar posibles fallas antes de que se conviertan en incidentes graves. El algoritmo emplea análisis predictivo y aprendizaje automático para interpretar señales clave como vibración, temperatura y velocidad, entre otras variables críticas, identificando desviaciones en las condiciones de operación.

3.2.1 Algoritmo

Este algoritmo representa el flujo de trabajo de un sistema de monitoreo inteligente para una faja transportadora de mineral, diseñado para detectar y diagnosticar fallas en tiempo real. La secuencia es iterativa y sigue un ciclo de monitoreo continuo hasta que la operación finaliza.

El pseudocódigo se muestra a continuación:

INICIO

1. MOSTRAR "Inicio del Sistema de Monitoreo de la Faja Transportadora"
2. CONFIGURAR sistema de adquisición de datos
3. INICIAR monitoreo continuo de la faja transportadora

4. MIENTRAS (Faja en operación = VERDADERO)
 - 4.1. RECOGER datos de sensores

4.2. SI (Se detecta alguna anomalía) ENTONCES

4.2.1. MOSTRAR "Se detecta alguna anomalía"

4.2.2. ACTIVAR sistema de diagnóstico inteligente

4.2.3. SI (La anomalía es crítica) ENTONCES

4.2.3.1. MOSTRAR "Anomalía crítica detectada"

4.2.3.2. DETENER la faja transportadora

4.2.3.3. ANALIZAR Imágenes, Datos y Videos

4.2.3.4. GENERAR alerta de emergencia

4.2.3.5. NOTIFICAR al personal de mantenimiento (REPORTE)

SINO

4.2.3.6. MOSTRAR "Anomalía no crítica detectada"

4.2.3.7. REGISTRAR anomalía para análisis posterior

4.2.3.8. CONTINUAR operación con advertencia (MONITOREO)

FIN SI

SINO

4.3. CONTINUAR monitoreo (INSPECCIÓN)

FIN SI

4.4. SI (Fin de operación) ENTONCES

4.4.1. MOSTRAR "La faja transportadora ha dejado de operar"

4.4.2. DETENER operación del sistema

SALIR del ciclo

FIN SI

4.5. ESPERAR 5 segundos

FIN MIENTRAS

5. DETENER monitoreo

6. MOSTRAR "Fin del sistema"

FIN

3.2.2 Descripción y explicación detallada de cada parte del algoritmo

La faja transportadora de mineral de 8.8 km de longitud es vital para el transporte continuo de mineral desde la chancadora primaria hasta la planta de chancado secundario. La detección temprana de fallas es crucial para mantener la eficiencia operativa y evitar interrupciones que generen grandes pérdidas. El algoritmo creado para este sistema de monitoreo inteligente está compuesto por diversas etapas, cada uno con una función específica dentro del proceso de detección y diagnóstico de fallas. A continuación, se detallan cada una de las partes del algoritmo.

3.2.2.1 Inicio del Sistema

El sistema comienza iniciando la operación de monitoreo de la faja transportadora de mineral. En este punto, se configuran los sensores y cámaras que realizarán la adquisición de datos en tiempo real.

3.2.2.2 Lectura de Sensores y Configuración del Sistema

Se realiza una configuración inicial de los sensores de monitoreo (temperatura, vibración, tensión, etc.), que están distribuidos a lo largo de la faja. Este paso es crucial para obtener datos precisos y estandarizados de la operación.

3.2.2.3 Inicio de Monitoreo Continuo

El monitoreo de la faja transportadora de mineral se ejecuta continuamente, mientras el sistema esté en funcionamiento. Se inicia un ciclo que toma lecturas de los sensores de manera constante para supervisar el estado de la faja transportadora de mineral.

3.2.2.4 Ciclo de Monitoreo

El sistema entra en un bucle (while) que continuará mientras la faja esté operativa. Durante cada iteración, se recopilan datos de los sensores y se analizan para identificar posibles anomalías.

3.2.2.5 Detección de Anomalías

Cada vez que se recopilan datos, el sistema evalúa si existe una anomalía en los valores medidos (por ejemplo, vibración excesiva o temperaturas anormales). Si no hay anomalías, el sistema continúa monitoreando en modo de inspección.

Si se detecta una anomalía, el sistema activa el módulo de diagnóstico inteligente, que evalúa la severidad de la falla.

3.2.2.6 Diagnóstico de Anomalías

Si la anomalía es considerada crítica, el sistema inmediatamente:

- Detiene la faja transportadora de mineral para prevenir daños mayores.
- Analiza las imágenes, datos de sensores y videos grabados por las cámaras.
- Genera una alerta de emergencia que notifica al personal de mantenimiento, emitiendo un reporte detallado de la situación.

Si la anomalía no es crítica, el sistema continúa registrando la falla para análisis posterior y permite que la faja transportadora de mineral siga operando, pero con una advertencia activa para su monitoreo continuo.

3.2.2.7 Final de la Operación

Durante cada ciclo de monitoreo, el sistema también evalúa si ha llegado el fin de la operación. Esto puede ocurrir cuando la faja transportadora de mineral deja de funcionar por razones operativas planificadas o debido a una falla crítica.

Si se detecta el fin de la operación, el sistema:

- Detiene el monitoreo automáticamente.
- Se asegura de que no se continúe recopilando datos innecesarios.
- Finaliza el proceso de monitoreo.

3.2.2.8 Esperar 5 Segundos

Dentro del ciclo de monitoreo, el sistema incorpora una espera de 5 segundos entre cada iteración de recopilación de datos y análisis. Esto simula el tiempo que toma en la vida real el sistema para procesar datos y actualizar el estado de los sensores antes de la siguiente lectura.

3.2.2.9 Fin del Sistema

Una vez que la faja ha dejado de operar y el monitoreo ha finalizado, el sistema se apaga. Se garantiza que todos los procesos se detengan y que los datos registrados queden almacenados para análisis posterior.

3.2.2.10 Puntos Clave del Algoritmo:

- **Monitoreo en Tiempo Real:** El algoritmo simula un proceso de monitoreo en tiempo real, donde los sensores detectan condiciones críticas en la faja transportadora. Las condiciones como temperatura, vibración, tensión, etc., son vigiladas constantemente para asegurar la integridad de la faja transportadora de mineral.

- **Diagnóstico Basado en Umbrales:** El sistema permite la identificación automática de fallas mediante la comparación de los valores de los sensores con límites operativos preestablecidos. Este enfoque facilita la distinción entre anomalías críticas (que requieren detener la faja) y no críticas (que permiten continuar la operación con advertencias), aunque no se considera un diagnóstico inteligente, ya que no emplea técnicas avanzadas de modelado o inteligencia artificial para el análisis de la información.
- **Generación de Alertas:** En caso de que se detecte una anomalía crítica, el sistema automáticamente genera alertas y notifica al personal de mantenimiento para que tomen acciones inmediatas. Este reporte incluye datos específicos sobre el tipo de falla, su ubicación y las condiciones del sistema.
- **Detección de Fallas y Seguridad:** La detección de anomalías críticas es una de las partes más importantes del algoritmo. Si se detecta una falla que podría comprometer la operación de la faja, se detiene de inmediato, lo que ayuda a prevenir daños mayores o costosos en el equipo.

Este algoritmo ofrece un proceso automatizado y eficiente de monitoreo, detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora, asegurando tanto la seguridad del equipo como la optimización de costos y eficiencia operativa.

3.3 Diseño de la implementación de un sistema de monitoreo inteligente para la detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de 8.8 km

3.3.1. Diseño del Sistema de Detección de Fallas

El diseño del sistema se implementa en Python, incluyendo fórmulas para la detección y clasificación de fallas.

Entradas del Modelo

Las **entradas** son los parámetros, señales o condiciones que afectan el funcionamiento del sistema. Estas entradas se utilizan en cada parte del sistema para calcular tensiones, velocidad, temperatura, vibración y, finalmente, la potencia.

Entradas Principales

1. Parámetros Físicos y Operativos

- **Longitud de la faja (8.72 km)** – Define la longitud total de la faja.

- **Velocidad nominal** (4.2 m/s – Es la velocidad con la que la faja debe operar.
- **Eficiencia** ($\eta=0.9$) – Factor de eficiencia de la transmisión de potencia.

2. Condiciones Operativas Simuladas (en el código)

- **Tensión dinámica** (entre 300–600 kN) – Se genera de forma aleatoria y se utiliza para calcular la potencia.
- **Velocidad de la faja** (entre 3–5 m/s) – Se genera de forma aleatoria para cada sensor.
- **Temperatura** (entre 20–120°C) – Se utiliza para diagnosticar fallas.
- **Vibración** (entre 0–10 mm/s) – Permite diagnosticar problemas de vibración en la faja.

3. Umbrales de Fallas (parámetros de control)

- **Temperatura:**
 - Normal: $T \leq 50$ °C
 - Inspección: 50 °C $< T < 100$ °C
 - Alarma: $T \geq 100$ °C
- **Vibración:**
 - Normal: $V \leq 4.4$ mm/s
 - Inspección: 4.5 mm/s $\leq V \leq 7.1$ mm/s
 - Alarma: $V \geq 7.2$ mm/s
- **Tensión:**
 - Normal: 330 kN $\leq T \leq 370$ kN
 - Parada: $T > 580$ kN o $T < 360$ kN

Tabla 3.3. Parámetros de entradas y salidas

Parámetro	Tipo	Fuente	Uso
Tensión (T)	Entrada	Sensores de tensión	Usada para calcular potencia
Velocidad (v)	Entrada	Sensores de velocidad	Usada para calcular potencia
Temperatura	Entrada	Sensores de temperatura	Para diagnosticar alertas
Vibración	Entrada	Sensores de vibración	Para diagnosticar alertas
Eficiencia (η)	Parámetro	Parámetro del sistema	Usada para calcular potencia
Potencia (P)	Salida	Calculada por: calcular_potencia	Potencia requerida (W)
Alertas	Salida	Generadas en: monitorear()	Notificación de fallas críticas
Métricas	Salida	Calculadas en: validar_sistema()	Precisión y tasa de falsas alarmas

3.3.2 Pseudocódigo del Diseño de un Sistema de Detección de Fallas

El sistema de monitoreo de fallas en una faja transportadora se basa en la integración de sensores inteligentes, algoritmos de detección de fallas y procedimientos de control automatizado. Este sistema permite la supervisión continua de las condiciones operativas de la faja mediante la recolección y análisis de datos en tiempo real. Los sensores instalados miden parámetros críticos como temperatura, vibración, tensión, desalineamiento y velocidad, los cuales se comparan con umbrales predefinidos para determinar si existen condiciones de falla o anomalías [35].

INICIO

1. DEFINIR FUNCIÓN calcular_potencia(tension, velocidad, eficiencia)

SI eficiencia ≤ 0 O eficiencia > 1 ENTONCES

MOSTRAR ERROR "La eficiencia debe estar en el rango (0, 1]"

FIN SI

RETORNAR (tension * velocidad) / eficiencia

FIN FUNCIÓN

2. DEFINIR CLASE Sensor

ATRIBUTOS: tipo, ubicacion, umbrales

MÉTODO __init__(tipo, ubicacion, umbrales)

ASIGNAR tipo, ubicacion y umbrales a los atributos del objeto

FIN MÉTODO

MÉTODO leer_dato()

SI tipo == 'temperatura' ENTONCES

RETORNAR valor aleatorio entre 20 y 120

SI tipo == 'vibracion' ENTONCES

RETORNAR valor aleatorio entre 0 y 10

SI tipo == 'sonido' ENTONCES

RETORNAR valor aleatorio entre 0 y 100

SI tipo == 'humo' ENTONCES

RETORNAR valor aleatorio entre 0 y 1

SI tipo == 'tension' ENTONCES

RETORNAR valor aleatorio entre 300 y 600

SI tipo == 'desalineamiento' ENTONCES

RETORNAR verdadero o falso aleatorio

SI tipo == 'velocidad' ENTONCES

RETORNAR valor aleatorio entre 3 y 5

FIN MÉTODO

FIN CLASE

3. DEFINIR CLASE FajaTransportadora

ATRIBUTOS: longitud_km, eficiencia, sensores, camaras

MÉTODO __init__(longitud_km, eficiencia)

```
ASIGNAR longitud_km y eficiencia
INICIALIZAR sensores y camaras
LLAMAR MÉTODO inicializar_sensores_y_camaras()
FIN MÉTODO
```

```
MÉTODO inicializar_sensores_y_camaras()
    DEFINIR UMBRALES de temperatura, vibración y tensión
    CREAR sensores de tipo 'temperatura', 'vibracion', 'tension' y 'velocidad'
FIN MÉTODO
```

```
MÉTODO monitorear()
    LEER sensores de 'tension', 'velocidad', 'temperatura' y 'vibracion'
    CALCULAR tension_promedio y velocidad_promedio
    LLAMAR FUNCIÓN calcular_potencia(tension_promedio, velocidad_promedio,
eficiencia)
    MOSTRAR potencia calculada
    SI alguna temperatura > 100 ENTONCES
        MOSTRAR "ALERTA: Temperatura crítica"
    SI alguna temperatura > 90 ENTONCES
        MOSTRAR "INSPECCIÓN: Alta temperatura"
    SI alguna vibración > 7.2 ENTONCES
        MOSTRAR "ALERTA: Vibración crítica"
    SI alguna vibración > 7.1 ENTONCES
        MOSTRAR "INSPECCIÓN: Alta vibración"
FIN MÉTODO
```

```
MÉTODO diagnostico_integral()
    MOSTRAR "Realizando diagnóstico integral..."
```

LLAMAR monitorear()

FIN MÉTODO

FIN CLASE

4. DEFINIR FUNCIÓN principal()

MOSTRAR "Inicio del Sistema de Monitoreo de la Faja Transportadora"

CREAR instancia de FajaTransportadora

MIENTRAS VERDADERO

LLAMAR faja.diagnostico_integral()

ESPERAR 5 segundos

FIN MIENTRAS

FIN FUNCIÓN

5. EJECUTAR principal()

FIN

Para la implementación del sistema, se define la **clase de la FajaTransportadora**, que gestiona la inicialización de los sensores y las cámaras de monitoreo. Los sensores de temperatura, vibración, tensión y velocidad generan lecturas aleatorias, y estos valores se procesan mediante la función de cálculo de potencia y la función de monitoreo. Cuando las condiciones superan los umbrales predefinidos (por ejemplo, vibración mayor a 7.2 mm/s o temperatura mayor a 100 °C), se genera una **alerta de falla crítica**, que puede activar la detención de la faja.

La detección de fallas se basa en un ciclo de monitoreo continuo donde se inspeccionan los valores de los sensores y se calculan promedios de las lecturas para realizar comparaciones con los límites establecidos por las normas operativas de la faja. Este sistema de diagnóstico integral mejora la eficiencia del mantenimiento predictivo, reduce el tiempo de inactividad no programado y optimiza el uso de los recursos energéticos [36].

Modelo Matemático

La función calcular potencia implementa el modelo:

$$P = \frac{T(x, t) \cdot v}{\eta}$$

Donde:

- **P**: Potencia requerida (W)
- **T(x, t)**: Tensión en la faja (N)
- **v**: Velocidad de la faja (m/s)
- **η**: Eficiencia del sistema de transmisión (sin unidad, entre 0 y 1)

Uso en el Código

- **Entrada:** Los datos de tensión **T(x, t)** y velocidad (**v**) son obtenidos dinámicamente de los sensores.
- **Validación:** Se verifica que **η** esté en el rango permitido ($0 < \eta \leq 1$).
- **Cálculo:** Multiplica la tensión promedio por la velocidad promedio y divide por la eficiencia (**η**).

Componentes Principales

a) Clase Sensor

Define los sensores que monitorean parámetros clave:

- **Atributos:** Tipo (temperatura, vibración, etc.), ubicación, y umbrales operativos.
- **Método leer dato:** Genera valores aleatorios dentro de rangos definidos para simular lecturas reales.

b) Clase Faja Transportadora

Gestiona el monitoreo y diagnóstico integral de la faja:

1. Inicialización de Sensores:

- Agrega sensores para temperatura, vibración, tensión, y velocidad.
- Configura umbrales específicos según el tipo de sensor.

2. Método monitorear:

- Obtiene datos dinámicos de los sensores.
- Calcula la potencia requerida usando el modelo matemático.
- Diagnostica problemas basándose en lecturas de temperatura y vibración.

3. Método diagnóstico integral:

- Ejecuta el monitoreo y genera un resumen del estado de la faja.

Flujo del Programa

a) Inicio del Sistema

El programa principal (main) inicializa la faja transportadora y ejecuta un monitoreo continuo con actualizaciones cada 5 segundos.

b) Monitoreo Dinámico

1. Lecturas de Sensores:

- Los datos de temperatura, vibración, tensión, y velocidad se obtienen mediante el método leer_dato de cada sensor.

2. Cálculo de Potencia:

- Utiliza los datos promedio de tensión y velocidad junto con la eficiencia para calcular la potencia requerida.

3. Diagnóstico de Fallas:

- Evalúa las lecturas contra los umbrales definidos:
 - Temperatura $> 100^{\circ}\text{C}$: **Alerta crítica.**
 - Vibración $> 7.2 \text{ mm/s}$: **Alerta crítica.**
 - Tensión fuera del rango de operación: **Parada inmediata.**

c) Generación de Alertas

- Si se detecta una falla, imprime un mensaje indicando:
 - El tipo de parámetro afectado.
 - El valor detectado.
 - El nivel de severidad (inspección o parada).

Interacción entre los Parámetros

1. Relación entre Tensión y Velocidad:

- **Tensión ($T(x, t)$):** La fuerza ejercida en la faja depende de la carga transportada.
- **Velocidad (v):** A mayor velocidad, aumenta el esfuerzo dinámico en la faja.
- **Interacción:** Juntas determinan la potencia requerida para operar la faja de manera eficiente.

2. Eficiencia (η):

- Representa las pérdidas energéticas del sistema (fricción, calor, etc.).
- Una eficiencia menor aumenta la potencia requerida, reflejando un sistema menos óptimo.

3. Impacto de Temperatura y Vibración:

- Incrementos en vibración pueden generar fricción adicional, aumentando la temperatura.
- Lecturas anómalas de temperatura y vibración suelen ser indicativas de fallas mecánicas (como desgaste en los polines o desalineamiento).

4. Umbrales Operativos:

- Garantizan que las condiciones de operación sean seguras:
 - $(T(x, t))$: $\in [330, 370]$ kN
 - (v) : $\in [3, 5]$ m/s
 - $T \leq 100$ C°
 - $V \leq 7.2$ mm/s

Ventajas del Código

1. Simulación Realista:

- Genera datos dinámicos para sensores clave, imitando condiciones reales de operación.

2. Cálculo de Potencia:

- Incorpora el modelo matemático para validar la eficiencia operativa.

3. **Detección de Fallas:**

- Identifica anomalías de manera integral, considerando múltiples parámetros.

4. **Alertas Claras:**

- Clasifica problemas en inspecciones preventivas o paradas críticas, según la severidad.

Ejecución y Prueba

1. **Ejecuta el código en un entorno Python.**

2. **Resultados esperados:**

- Cálculo periódico de la potencia requerida.
- Alertas generadas si los sensores detectan valores fuera de los umbrales.
- Diagnósticos detallados en caso de fallas críticas o condiciones inusuales.

3.4 Simulación de un sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral de 8.8 km de longitud de longitud en una unidad minera

La simulación de un sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral. Este tipo de sistemas permiten recopilar información en tiempo real sobre variables como la temperatura, vibración, tensión, alineamiento y otros parámetros que influyen directamente en la operatividad de la faja. Mediante el uso de algoritmos avanzados y sensores distribuidos a lo largo de la faja, es posible detectar de manera temprana anomalías y predecir fallas, lo que facilita la intervención oportuna y minimiza pérdidas de producción.

3.4.1 Procedimientos de alarmas de un equipo de monitoreo y diagnóstico de falla de una faja transportadora de mineral

En la operación de una faja transportadora de mineral, es crucial prevenir fallas para mantener la continuidad y eficiencia del transporte. Los sistemas de monitoreo inteligente, que emplean sensores avanzados para vigilar variables como vibración, temperatura y velocidad, permiten un diagnóstico en tiempo real. Cuando estos valores superan los límites establecidos, el sistema emite alarmas, clasificadas según la severidad, desde alertas menores hasta críticas que requieren intervención inmediata. Este sistema

facilita un diagnóstico preciso, optimiza la respuesta y minimiza el impacto en la operación. Además, se establecen procedimientos detallados para la configuración, monitoreo y respuesta a las alarmas, asegurando una gestión eficiente y segura del equipo.

3.4.1.1 Configuración de Alarmas

- **Identificación de Parámetros Críticos:**

Determinar los parámetros operativos críticos (como temperatura, vibración, velocidad, etc.) que necesitan monitoreo constante.

- **Establecimiento de Límites de Alarma:**

Configurar los límites de alarma para cada parámetro basado en las especificaciones del fabricante y las condiciones operativas normales.

- **Programación del Sistema de Alarmas:**

Utilizar software de monitoreo para programar los umbrales de alarma y asegurar que el sistema esté configurado para alertar al personal adecuado en caso de desviaciones.

3.4.1.2 Monitoreo de Alarmas

- **Monitoreo Continuo:**

Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para vigilar constantemente los parámetros críticos y detectar cualquier desviación que pueda activar una alarma.

- **Registro de Eventos:**

Registrar todos los eventos de alarma en un sistema de base de datos para realizar análisis posteriores y establecer patrones.

3.4.1.3 Respuesta a Alarmas

- **Procedimientos de Notificación:**

Definir un protocolo de notificación claro que incluya a los miembros del equipo responsables de responder a las alarmas, indicando los medios de comunicación (mensajes de texto, correos electrónicos, alarmas visuales y sonoras).

- **Acciones Inmediatas:**

Establecer acciones inmediatas a seguir cuando se active una alarma, como la inspección visual del equipo, revisión de los datos del sensor, y medidas correctivas temporales.

- **Documentación de la Respuesta:**

Documentar todas las acciones tomadas en respuesta a una alarma, incluyendo el tiempo de respuesta, las medidas correctivas aplicadas, y los resultados obtenidos.

3.4.1.4 Análisis y Mejora Continua

- **Análisis de Causa Raíz:**

Realizar un análisis detallado de la causa raíz para cada evento de alarma, para entender mejor las condiciones que llevaron a la alarma y cómo evitar futuros eventos similares.

- **Revisión y Ajuste de Límites de Alarma:**

Revisar periódicamente los límites de alarma y ajustarlos según sea necesario para reflejar cambios en las condiciones operativas o en las especificaciones del equipo.

- **Capacitación del Personal:**

Capacitar continuamente al personal en los procedimientos de alarma y en el manejo adecuado de los equipos, para asegurar que estén preparados para responder eficazmente a las alarmas.

3.4.2 Consideraciones para la simulación

Al desarrollar una simulación de un sistema de monitoreo inteligente en Python, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

3.4.2.1 Variables a Monitorear:

Estas variables proporcionan una visión detallada de las condiciones operativas, permitiendo detectar anomalías antes de que evolucionen en fallas graves, un aumento en la vibración puede indicar un desgaste en los rodillos, mientras que un incremento en la temperatura puede señalar problemas de fricción o falta de lubricación en los componentes. Al monitorear estas variables, el sistema de diagnóstico puede emitir alarmas y proporcionar información precisa sobre el origen del problema, lo que permite tomar acciones correctivas de manera oportuna. Estas variables son:

- **Temperatura:** Monitoreo de la temperatura en componentes críticos como poleas, polines y motores.
- **Vibración:** Medición de niveles de vibración para detectar desalineamientos o desgaste excesivo.
- **Tensión:** Verificación de la tensión aplicada en la faja para evitar daños en la estructura o accidentes.
- **Alineación:** Monitoreo de desalineamientos en la faja que podrían generar desgaste o daño.
- **Sonido y Humo:** Detección de posibles problemas como fricción excesiva o inicio de incendios.

3.4.2.2 Umbrales y Niveles de Alerta:

Cuando una variable monitoreada excede su umbral predefinido, el sistema emite una alerta con distintos niveles de severidad, desde advertencias menores que sugieren revisión hasta alarmas críticas que requieren intervención inmediata. Cada nivel proporciona información clara sobre el estado del equipo, permitiendo a los operadores tomar decisiones informadas y realizar ajustes o reparaciones preventivas para evitar fallas graves. Definir umbrales para cada variable monitoreada es esencial.

- Para la temperatura, establecer niveles que indiquen cuándo se debe realizar una inspección ($50C^{\circ} <T > 100C^{\circ}$) o cuándo es necesario detener la operación de la faja para evitar daños severos ($100C^{\circ} <T$).
- Para la vibración, valores menores de 4.4 mm/s pueden ser considerados normales, mientras que valores superiores a 7.2 mm/s indicarían la necesidad de parar la operación.

3.4.2.3 Sensores y Cámaras:

Simular el comportamiento de los sensores distribuidos a lo largo de la faja. Estos sensores deben ser capaces de proporcionar lecturas en tiempo real de las variables antes mencionadas. Las cámaras, incluidas las termográficas, pueden jugar un papel importante en la inspección visual automatizada, especialmente en zonas críticas donde se sospecha un problema.

3.4.2.4 Lógica de Detección de Fallas:

Crear un algoritmo que analice los datos de los sensores y detecte patrones que indiquen posibles fallas. Esto incluye la identificación de anomalías críticas que requieran una parada inmediata de la operación. El sistema debe generar alertas para notificar a los operadores cuando se detecte una anomalía, especificando la ubicación y la severidad del problema.

3.4.2.5 Interacción y Respuesta Automática:

Simular la respuesta del sistema ante la detección de una falla. Por ejemplo, cuando un sensor de vibración supera el umbral crítico, el sistema debe detener la faja transportadora, iniciar una inspección visual con las cámaras, y generar un reporte de mantenimiento. Incorporar un ciclo de monitoreo continuo que permita la recopilación de

datos en intervalos regulares y la ejecución automática del diagnóstico en caso de anomalías.

3.4.3 Datos y descripción de la faja 014003 para la simulación en código python

La simulación utiliza datos de especificaciones técnicas del fabricante y registros históricos de operación, como velocidad de la faja, capacidad de carga, tiempos de operación y mantenimiento, y mediciones de sensores en la faja. Estos datos son para ajustar umbrales de alerta y parámetros de diagnóstico, permitiendo anticipar problemas y evitar interrupciones inesperadas en la operación.

3.4.3.1 Características de la Faja Transportadora de Mineral

- **Capacidad de Transporte:** 3050 tn/h
- **Dimensiones y Especificaciones:**
 - Ancho de la faja: 1.2 metros
 - Longitud: 8720 metros
 - Velocidad lineal: 4.2 m/s
 - Tiempo de transporte de cola a cabeza: 2076.19 segundos
 - Consumo de energía: 3259 kW
 - Total, de uniones de faja (pegas): 50
 - Mesas de polines: 850 (lado izquierdo, central y derecho)

3.4.3.2 Componentes de la Faja Transportadora y Sensores

- **Motores Eléctricos Principales:**
 - ✓ 3 motores de 845 kW ubicados en la cabeza
 - ✓ 1 motor de 724 kW ubicado en la cola
- **Reductores Principales:**
 - ✓ 3 reductores en la cabeza
 - ✓ 1 reductor en la cola
- **Poleas y Chumaceras:**
 - ✓ 7 poleas en la cabeza (14 chumaceras)
 - ✓ 2 poleas en la cola (4 chumaceras)
- **Pegas a lo largo de la faja: 50 pegas**
- **Cámaras:**
 - ✓ 1 cámara de video (graba y guarda en base de datos por 2 semanas)
 - ✓ 3 cámaras termográficas
- **Sensores:**

- ✓ 1 sensor de sonido
- ✓ 1 sensor de humo
- ✓ 24 sensores de temperatura (°C)
 - según ISO 108436-7:
 - ≤ 50 °C: Operación satisfactoria (seguir trabajando)
 - ≥ 90 °C: Alerta (inspección requerida)
 - ≥ 100 °C: Alarma (parar la faja)
- ✓ 24 sensores de vibración (mm/s)
 - Según ISO 10816-3:
 - 0-4.4 mm/s: Operación satisfactoria (seguir trabajando)
 - 4.5-7.1 mm/s: Alerta (inspección requerida)
 - ≥ 7.2 mm/s: Alarma (parar la faja)
- ✓ 2 sensores de tensión:
 - Encender la faja cuando la tensión alcance 580 kN
 - Valor de operación: 370-330 kN (el valor de trabajo baja a 360 kN)
- ✓ 42 sensores de desalineamiento:
 - 21 en el lado A de la faja
 - 21 en el lado B de la faja
- ✓ 4 encoders de velocidad: Ubicados en los cuatro motores. Monitoreo continuo de la velocidad de la faja transportadora de mineral.

3.4.3.3 Ubicación de los Polines a Monitorear

Lado izquierdo, central y derecho en las 850 mesas enumeradas a lo largo de la faja transportadora

3.4.3.4 Input del Sistema de Monitoreo de Parámetros

- Inicio del Monitoreo: Arranque y parada de la faja transportadora

3.4.3.5 Output del Sistema de Monitoreo de Parámetros

El sistema debe generar las siguientes alertas y recomendaciones de acción:

- Estado de operación de la faja:

- ¿Parar la faja?
- ¿Realizar inspección de la faja?
- ¿Requiere intervención la faja?
- Reemplazo de componentes:
 - ✓ ¿Cambio de polín (basado en temperatura y vibración)?
 - ✓ ¿Cambio de polea?
 - ✓ ¿Cambio de reductor?
 - ✓ ¿Cambio de motor?
- Ubicación del componente:
 - Indicar si el componente está en la cabeza, la cola, o en las mesas de los polines numerados (también puede incluir el número de pega, polín, polea, motor o reductor correspondiente).

3.4.4 Código en lenguaje Python

Este código simula un sistema de monitoreo inteligente para una faja transportadora mediante la lectura de datos de varios sensores y la generación de alertas en caso de detectar fallas. El código está diseñado para funcionar de manera continua, recopilando datos y evaluando el estado de la faja en tiempo real.

INICIO

1. DEFINIR CLASE Sensor

ATRIBUTOS: tipo, ubicacion, umbrales

MÉTODO __init__(tipo, ubicacion, umbrales)

ASIGNAR tipo, ubicacion, umbrales

FIN MÉTODO

MÉTODO leer_dato()

SI tipo == 'temperatura' ENTONCES

RETORNAR valor aleatorio entre 20 y 120

SI tipo == 'vibracion' ENTONCES

RETORNAR valor aleatorio entre 0 y 10
SI tipo == 'sonido' ENTONCES
RETORNAR valor aleatorio entre 0 y 100
SI tipo == 'humo' ENTONCES
RETORNAR valor aleatorio entre 0 y 1
SI tipo == 'tension' ENTONCES
RETORNAR valor aleatorio entre 300 y 600
SI tipo == 'desalineamiento' ENTONCES
RETORNAR valor aleatorio entre 0 y 1
SI tipo == 'velocidad' ENTONCES
RETORNAR valor aleatorio entre 3 y 5
FIN MÉTODO
FIN CLASE

2. DEFINIR CLASE Camara

ATRIBUTOS: tipo, grabacion_almacenada_hasta

MÉTODO __init__(tipo)

ASIGNAR tipo

GRABAR fecha y hora de almacenamiento de grabación

FIN MÉTODO

MÉTODO grabar_video()

MOSTRAR "Grabando video con cámara (tipo)"

FIN MÉTODO

FIN CLASE

3. DEFINIR CLASE FajaTransportadora

ATRIBUTOS: longitud_km, sensores, camaras

MÉTODO __init__(longitud_km)

ASIGNAR longitud_km

INICIALIZAR sensores y cámaras

FIN MÉTODO

MÉTODO inicializar_sensores_y_camaras()

AÑADIR cámaras de video y cámaras termográficas
DEFINIR umbrales de sensores de temperatura, vibración y tensión
CREAR sensores de temperatura, vibración, tensión, desalineamiento, velocidad
FIN MÉTODO

MÉTODO monitorear()

PARA cada sensor EN lista de sensores
LEER dato del sensor
DETECTAR si hay una falla comparando el dato con los umbrales
SI hay una falla ENTONCES
GENERAR alerta con el tipo de falla y el valor

FIN MÉTODO

MÉTODO detectar_falla(tipo, dato, umbrales)

SI tipo == 'temperatura' ENTONCES
SI dato >= umbrales["parar"] ENTONCES
RETORNAR "parar"
SI dato >= umbrales["inspección"] ENTONCES
RETORNAR "inspección"

FIN SI

SI tipo == 'vibracion' ENTONCES
SI dato >= umbrales["parar"] ENTONCES
RETORNAR "parar"
SI dato >= umbrales["inspección"] ENTONCES
RETORNAR "inspección"

FIN SI

SI tipo == 'tension' ENTONCES
SI dato >= umbrales["arranque"] O dato <= umbrales["parada"] ENTONCES
RETORNAR "parar"

FIN SI

RETORNAR "sin falla"

FIN MÉTODO

MÉTODO generar_alerta(ubicacion, tipo, dato, nivel_alerta)

```
MOSTRAR "ALERTA: (nivel_alerta) - (tipo) en (ubicacion) con valor (dato)"
FIN MÉTODO
FIN CLASE
```

4. DEFINIR FUNCIÓN main()

```
MOSTRAR "Inicio del Sistema de Monitoreo de la Faja Transportadora"
CREAR instancia de FajaTransportadora
MIENTRAS la faja esté en operación
    LLAMAR método monitorear()
    GENERAR probabilidad de detección de anomalía
    SI se detecta anomalía crítica ENTONCES
        MOSTRAR "Anomalía crítica detectada"
        DETENER la faja transportadora
        GENERAR reporte de anomalía
    SI NO SI se detecta una anomalía no crítica
        MOSTRAR "Anomalía no crítica detectada"
    FIN SI
    SI probabilidad de fin de operación se cumple ENTONCES
        DETENER la operación de la faja
    FIN MIENTRAS
    MOSTRAR "Fin del sistema"
FIN FUNCIÓN

LLAMAR main()
```

```
FIN
```

3.4.5 Descripción de resultado de la simulación

El sistema se encarga de monitorear continuamente diversos sensores instalados a lo largo de la faja transportadora de mineral, midiendo variables críticas como temperatura, vibración, y tensión. También se emplean cámaras que graban imágenes y videos para complementar el monitoreo.

3.4.5.1 Detalles de la Simulación

Inicio del Sistema:

- Se configuran los sensores y cámaras.
- Se inicia el monitoreo continuo para recopilar los datos de las diferentes mediciones.

Alertas por Sensores:

- Durante la operación, el sistema detecta que varios sensores reportan valores que superan los umbrales de seguridad definidos.
- Los umbrales de "parar" e "inspección" son los límites que, al ser superados, generan alertas en el sistema.
- Las alertas incluyen valores de temperatura superiores a los 100°C y valores de vibración que exceden los 7.2 mm/s, indicando posibles problemas en componentes clave de la faja transportadora como poleas o polines.

Acciones del Sistema:

- Cuando se detectan valores críticos (como temperaturas superiores a 100°C o vibraciones por encima de 9 mm/s), el sistema genera una alerta para detener la operación de la faja transportadora de mineral.
- Se activa un diagnóstico inteligente, que analiza los datos recogidos y realiza una inspección más detallada de las cámaras y sensores.

Diagnóstico y Respuesta:

- En caso de detectar una anomalía crítica, como ocurrió en la simulación, el sistema ordena la detención inmediata de la faja para evitar daños mayores y notifica al personal de mantenimiento para que actúe según lo detectado.
- El sistema también clasifica algunas anomalías como "no críticas", permitiendo que la faja continúe en operación, aunque con un monitoreo más cercano.

Fin de la Operación:

- Finalmente, después de varias iteraciones de monitoreo y tras la detección de múltiples alertas críticas, el sistema simula el fin de la operación de la faja.

- Se detiene el monitoreo y el sistema finaliza su ciclo de operación.

3.4.5.2 Interpretación de Resultados

- **Temperatura:** Se registraron valores críticos de temperatura superiores a 100°C, lo que podría sugerir problemas en las poleas o polines que necesitan intervención inmediata.
- **Vibración:** Se detectaron vibraciones por encima de 9 mm/s, lo que indica desalineamientos u otros problemas mecánicos que requieren acción urgente.
- **Tensión:** También se observó que la tensión en algunos puntos cayó por debajo del umbral de operación, lo que podría causar fallas en la estructura de la faja si no se corrige.

La simulación muestra cómo un sistema de monitoreo inteligente puede detectar, diagnosticar y responder a condiciones de operación anómalas en tiempo real. En esta ejecución, el sistema detectó múltiples fallas críticas, ordenó la parada de la faja y generó reportes de alerta para el mantenimiento. Este tipo de sistema mejora la seguridad y eficiencia operativa, previniendo fallos mayores en una faja transportadora tan extensa.

3.5 Distribución mecánica y electrónica del sistema de inspección de faja transportadora de mineral.

La distribución mecánica y electrónica de un sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral puede variar según el diseño específico del sistema. Aquí hay una descripción general de cómo podría ser esa distribución:

- **Sensores Mecánicos:** Los sensores mecánicos se instalan en puntos estratégicos de la faja transportadora para monitorear variables como la vibración, la temperatura, la carga y la tensión de la correa. Estos sensores pueden ser dispositivos físicos que miden directamente estas variables o pueden estar conectados a componentes mecánicos de la faja para registrar su estado.
- **Sistema de Transmisión de Datos:** Los datos recopilados por los sensores mecánicos se transmiten a través de un sistema de transmisión de datos, que puede incluir cables o tecnologías inalámbricas como Wifi, Bluetooth o redes celulares. Este sistema garantiza que la información llegue al centro de monitoreo de manera oportuna y confiable.

- **Unidad de Procesamiento Central:** En el centro de monitoreo, una unidad de procesamiento central recibe los datos de los sensores mecánicos. Esta unidad puede estar compuesta por hardware especializado, como servidores o computadoras de alto rendimiento, y software diseñado específicamente para analizar y procesar los datos recibidos.
- **Algoritmos de Análisis de Datos:** Los datos recopilados son analizados por algoritmos de inteligencia artificial y técnicas de análisis de datos. Estos algoritmos pueden detectar patrones anómalos, identificar posibles fallas y proporcionar diagnósticos precisos sobre el estado de la faja transportadora.
- **Interfaz de Usuario:** Los resultados del análisis de datos se presentan a los operadores y personal de mantenimiento a través de una interfaz de usuario intuitiva. Esta interfaz puede incluir paneles de control, gráficos de tendencias, alertas automáticas y herramientas de visualización de datos para facilitar la toma de decisiones.

La distribución mecánica y electrónica de un sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral involucra la instalación de sensores mecánicos en la faja, la transmisión de datos a través de un sistema de comunicación, el procesamiento de datos en un centro de monitoreo y la presentación de resultados a través de una interfaz de usuario amigable.

CAPÍTULO IV: Implementación del sistema de inspección y detección de fallas en una faja transportadora de mineral

Los sistemas de inspección emplean plataformas de hardware y tecnologías autónomas de inteligencia artificial, como la inspección visual, recopilación de audio y la fusión de imágenes térmicas en fajas transportadoras de mineral. Esto permite la detección en tiempo real y el mantenimiento predictivo, eliminando riesgos de accidentes, paradas por fallas y sustituye tareas de alto riesgo. Además, reduce la labor manual y mejora la eficiencia del proceso.

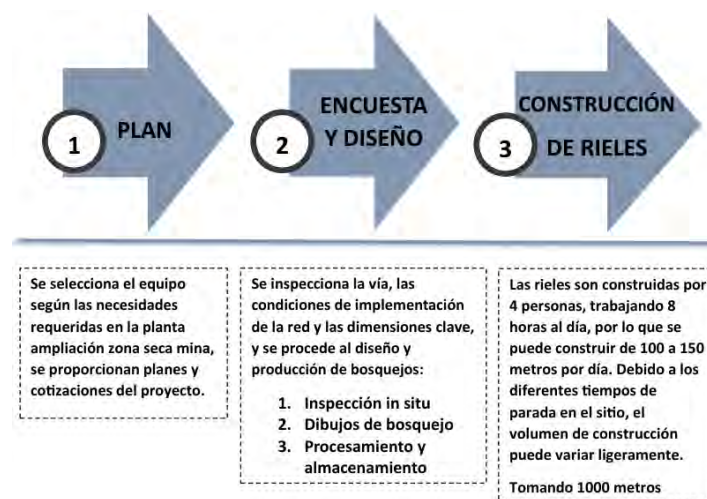


Figura 4.1: Se muestra las etapas iniciales de la implementación y operatividad del sistema de monitoreo inteligente, detección y diagnóstico de fallas

La figura se muestra las tres fases iniciales de construcción de rieles. En la fase de planificación (1), se selecciona el equipo necesario y se elaboran planes y cotizaciones. En la fase de encuesta y diseño (2), se inspecciona la vía, se realizan dibujos y se almacenan los datos para el diseño. Finalmente, en la fase de construcción (3), un equipo instala los rieles, construyendo de 100 a 150 metros por día, dependiendo de las condiciones del sitio.

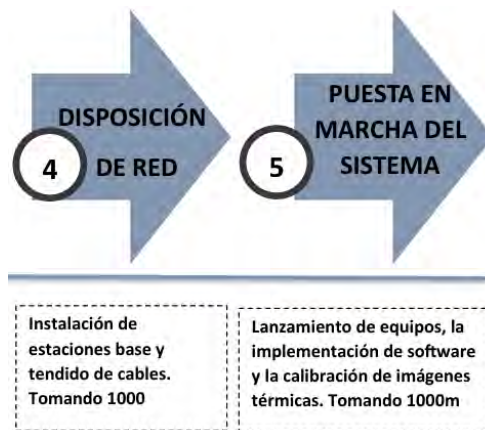


Figura 4.2: Se muestra las etapas finales de la implementación y operatividad del sistema de monitoreo inteligente, detección y diagnóstico de fallas

La figura muestra las últimas dos fases. En la fase de disposición de red (4), se instalan las estaciones base y se tienden los cables necesarios. En la fase de puesta en marcha del sistema (5), se lanzan los equipos, se implementa el software y se calibran las imágenes térmicas, completando 1000 metros en ambas etapas.



Figura 4.3: Extensión del sistema

Se muestra la extensión del sistema de monitoreo inteligente, detección y diagnóstico de fallas en la faja transportadora de mineral 014003.

En este capítulo se aborda la implementación del sistema de inspección y detección de fallas en una faja transportadora de mineral. La configuración de sus estaciones de control y se analizan los criterios empleados para elegir sus componentes. El diseño del robot móvil se segmenta en cinco áreas: energético, mecánico, sensores y comunicación del

robot al centro de control. Por último, se proporciona una descripción del software y se presenta su respectivo diagrama de flujo.

4.1 Introducción de robot móvil

Las características principales del robot móvil para el monitoreo de inspección y detección de fallas en una faja transportadora de mineral son:



Figura 4.4: Se muestra las características tanto propias del robot como la inspección y detección de fallas en la faja transportadora de mineral.

La figura muestra dos áreas clave de un sistema autónomo de inspección: en autonomía, se destacan el control de crucero, posicionamiento, carga y eliminación de polvo autónomos; en inspección on-site, se incluyen inspecciones de polines, estructuras de acero y detección de humo, ruido y altas temperaturas, ofreciendo un monitoreo integral para las fajas transportadoras.



Figura 4.5: Composición estructural del robot móvil de monitoreo de faja transportadora de mineral.

La figura se muestra un dispositivo robótico con ruedas motrices, módulo de carga inalámbrico, módulo RFID, luces de visión nocturna, una cámara de alta resolución (1920x1080) y cámaras termográficas con un rango de -20°C a 120°C. También incluye un botón de freno, interruptor de reinicio y encendido.

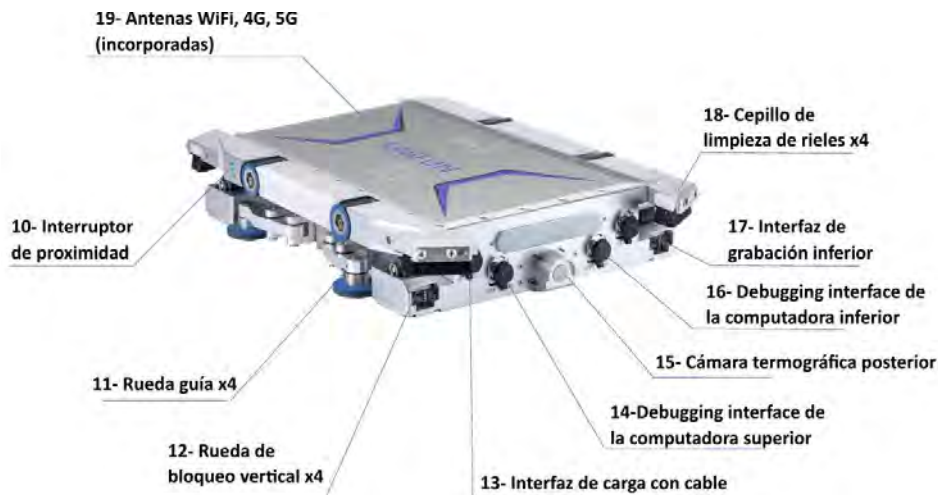


Figura 4.6: Composición estructural parte posterior del robot móvil de monitoreo de faja transportadora de mineral.

La figura muestra la parte posterior del dispositivo robótico, con componentes clave como antenas WiFi, 4G y 5G, cepillos de limpieza, cámara termográfica, interfaces de depuración, ruedas guía y de bloqueo, y una interfaz de carga. Estos elementos complementan las funciones de la figura anterior para garantizar un funcionamiento eficiente y adaptable del robot.

4.2 Descripción general de la implementación del robot móvil

La implementación de un sistema de monitoreo inteligente para detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral de 8.8 km de longitud de longitud. Mediante un equipo que proyecta imágenes en una computadora industrial. Este sistema ofrece operaciones de alta velocidad, transmisión inalámbrica de datos, y permite diagnosticar problemas en tiempo real. El equipo incluye carga y comunicación inalámbrica, monitoreo en tiempo real de imágenes, sonido, temperatura, humo, vibración. Los datos recopilados se analizan automáticamente en el software para detectar o prevenir posibles fallas en la faja transportadora de mineral 014003.



Figura 4.7: Instalación de La Pista Del Robot Móvil– rieles 8800 metros, entre el lado carga y el retorno.

En la figura se muestra la instalación de la pista del robot móvil, con trabajadores realizando tareas debajo de una faja transportadora. Se observa la estructura de soporte, mientras el equipo instala el riel que permitirá el desplazamiento del robot para futuras inspecciones.

Se instaló cuatro equipos de monitoreo a lo largo de la faja transportadora de mineral 014003, que tiene una longitud total de 8.8 km de longitud. Cada equipo se ubica a una distancia de 2.2 km entre sí y su recorrido se realiza a través de rieles.



Figura 4.8: Cierre de la instalación de rieles para 4 Robots Móviles de inspección El kilometraje total de inspección para cada robot móvil es de 2200 metros.

En la figura se muestra el resultado final de la instalación del riel del robot entre la sección de carga y retorno de la faja transportadora de mineral. Se puede observar el riel correctamente fijado a la estructura de soporte, permitiendo el desplazamiento del robot móvil.



Figura 4.9: Se Muestra el robot móvil instalado en el riel para sus pruebas de traslación.

En la figura se muestra el robot móvil instalado sobre el riel en la faja transportadora de mineral en su posición operativa, preparado para realizar tareas de inspección y monitoreo. Se observan claramente los componentes del robot y su integración con el sistema de transporte de mineral.

4.2.1 Cableado de Fibra Óptica

La instalación de la red de cable de fibra óptica, tipología de red en anillo, se instaló en la bandeja de comunicaciones existente a lo largo de la faja transportadora 014003.



Figura 4.10: Tendido del cable fibra óptica a lo largo de la faja transportadora de mineral.

La figura se muestra el proceso de tendido de cable de fibra óptica a lo largo de la faja transportadora de mineral. Los trabajadores están manejando el equipo desde la parte trasera de un vehículo para extender el cable a lo largo de la faja para asegurar la conectividad y comunicación del sistema de monitoreo.



Figura 4.11: Tendido del cable fibra óptica por las bandejas

La figura muestra la instalación del cable de fibra óptica en las bandejas de la faja transportadora de mineral. Un trabajador asegura el cable para garantizar una conexión estable en el sistema de monitoreo y comunicación.

Tabla 4.1: Requerimiento de energía para el proyecto robot

NOMBRE DEL EQUIPO	CORRIENTE (A)	CANTIDAD	TENSIÓN (V)	FUENTE DE ENERGIA
Estación de carga	11.5A	2	220	Generación Híbrida Eólica Solar 5000W
Switch, estación base	1.8A	82	220	Generación Híbrida Eólica Solar 1000W
Sensor de vibración	5A	26	110	Cableado fuente cercana

La tabla muestra los requerimientos energéticos:

- Estación de carga: Cada estación requiere 11.5 amperios (A) de corriente para funcionar y se han dispuesto 2 unidades, las cuales operan con una tensión de 220 voltios (V) alimentadas por una fuente de energía híbrida eólica y solar con una capacidad de 5000W.
- Switch y estación base: Se necesitan 1.8A para cada uno de los 82 equipos que componen este sistema, con una tensión de 220V, alimentados también por una fuente híbrida eólica y solar de 1000W.

- Sensores de vibración: Cada sensor utiliza 5A de corriente, hay 26 unidades en total, y funcionan con una tensión de 110V, conectados a una fuente cercana a través de cableado.

Se detalla los requerimientos en términos de corriente, cantidad de unidades, tensión y fuentes de energía utilizadas para cada equipo en el proyecto.

Tabla 4.2: Características de la generación Híbrida Eólica solar de 1000w y 5000w

ITEM	NOMBRE	POTENCIA	RENDIMIENTO
1	Sistema de Generación de Energía Complementaria Eólica-Solar	1000w	Capacidad de Almacenamiento de Carga 2.4 KWH
2	Sistema de Generación de Energía Complementaria Eólica-Solar	5000w	Capacidad de Almacenamiento de Carga 14.4 KWH

La tabla describe las características de dos sistemas de generación de energía híbrida eólica-solar:

- Sistema de 1000W: Tiene una capacidad de almacenamiento de carga de 2.4 KWH, lo que le permite almacenar energía suficiente para aplicaciones de menor demanda.
- Sistema de 5000W: Ofrece una capacidad de almacenamiento de carga de 14.4 KWH, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de mayor demanda energética.
- Este resumen muestra que los sistemas se diferencian por su potencia de salida y capacidad de almacenamiento, siendo el de 5000W más robusto en términos de energía almacenada.

4.2.2 Descripción Técnica de los Equipos Híbridos Solar-Eólica

Los modelos de los equipos adquiridos provienen de fabricantes chinos con una reconocida trayectoria en el sector energético. A continuación, se detallan las características completas de los equipos para el montaje de los aerogeneradores:



Figura 4.12: Panel Solar Instalado en la faja Transportadora de Mineral 014003

La figura se muestra paneles solares instalados en la faja transportadora de mineral 014003, como parte de un sistema de generación de energía renovable. Estos paneles alimentan equipos como los sistemas de monitoreo y sensores, contribuyendo a una operación sostenible y eficiente.

Tabla 4.3: Datos Técnicos del Panel Solar

Descripción	Valor	Descripción	Valor
Marca	Utilización	Peso del panel solar	6.5 Kg
Modelo	QY-100w	Tamaño del panel solar	670*920*30mm
Tensión máxima del sistema	18v	Resistencia al fuego	Clase A
Corriente máxima del sistema	5.55A	Corriente de cortocircuito	6.94A

La tabla presenta las características técnicas de un panel solar:

- Marca: Utilización
- Modelo: QY-100W
- Peso: 6.5 kg
- Tamaño: 670 x 920 x 30 mm
- Tensión máxima del sistema: 18V
- Corriente máxima: 5.55A
- Corriente de cortocircuito: 6.94A
- Resistencia al fuego: Clase A

Este panel solar de 100W es compacto y liviano, con una alta resistencia al fuego, diseñado para proporcionar energía eficiente con una tensión máxima de 18V y una corriente máxima de 5.55A.

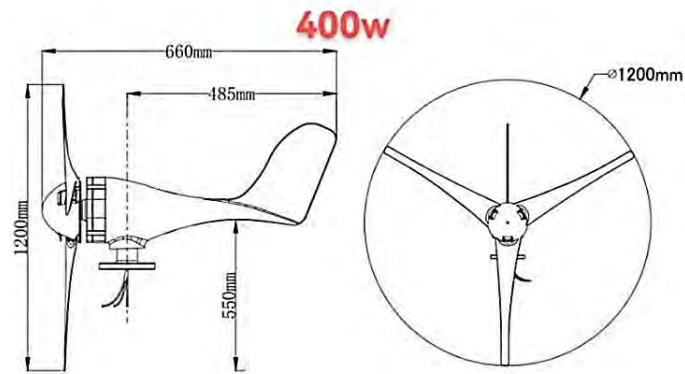


Figura 4.13: Generador Eólico

La figura se muestra las dimensiones de un generador eólico de 400W. Se detalla el tamaño de las aspas, con un diámetro total de 1200 mm, y las medidas del cuerpo del generador, que tiene una altura de 1200 mm y una longitud de 660 mm. Este generador está diseñado para capturar la energía del viento y convertirla en electricidad, contribuyendo a la generación de energía renovable.

Tabla 4.4: Datos Técnicos del Generador Eólico

Descripción	Valor
Marca	Utilización
Modelo	QYS-400w
Potencia Nominal	400w
Voltaje Nominal	24v

La tabla presenta las especificaciones técnicas de un generador eólico:

- Marca: Utilización
- Modelo: QYS-400W
- Potencia Nominal: 400W
- Voltaje Nominal: 24V

Este generador está diseñado para producir 400W de potencia a un voltaje de 24V, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de generación de energía a pequeña escala, utilizando energía eólica.



Figura 4.14: Fabricación del mástil mecánico.

La figura se muestra la fabricación del mástil mecánico para montar el aerogenerador y los paneles solares. Los trabajadores, en un taller de robótica, ensamblan los tubos que conformarán la estructura, clave para la instalación del sistema de energía renovable.

4.2.3 Detalle de la Arquitectura de Comunicaciones del Proyecto

Este apartado describe la arquitectura de red del robot. Los tableros de comunicaciones, instalados cada 100 metros a lo largo de la faja transportadora 014-003, estructuran la red mediante fibra óptica. La fibra óptica llega a una caja de distribución, desde donde se conecta a un switch transceptor mediante un patch cord. A partir del switch, se conecta un access point a través de un POE con un cable ethernet, lo que permite emitir señal WiFi mediante antenas instaladas a lo largo de la faja transportadora.

Listado de equipos de comunicaciones para acceso del robot a la red:

- Switch Transceiver Fiber Optic
- POE
- Access Point
- Antena para Estación Base
- ODF box Fiber Optic

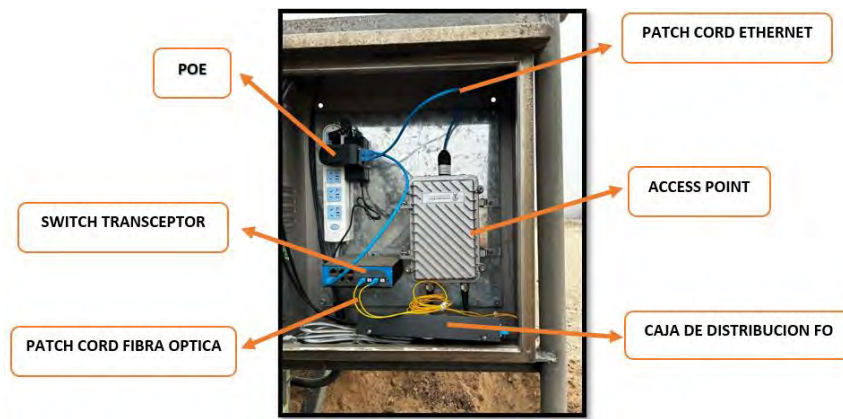


Figura 4.15: Distribución de componentes de comunicación en el tablero.

La figura se muestra la disposición de los componentes de comunicación en un tablero, donde un switch transceptor está conectado a una caja de distribución de fibra óptica. A través de un POE y un cable ethernet, el switch se conecta a un access point que emite señal WiFi, asegurando una comunicación eficiente a lo largo de la faja transportadora de mineral.

Inicialmente, se instalaron antenas WiFi de alta ganancia para la comunicación del robot con la sala de monitoreo, pero surgieron problemas de velocidad de transmisión debido a la interferencia causada por el hierro transportado por la faja. Para garantizar una señal estable y confiable en tiempo real, se reemplazaron las antenas WiFi con cable coaxial con fugas RF, dirigido hacia el riel del robot. Este cambio solucionó los problemas de estabilidad en la red y se implementó a lo largo de toda la faja transportadora de mineral 014-003.



Figura 4.16: Lado izquierdo se muestra las antenas (antes) en lado derecho el después (cable **coaxial**)

La figura se muestra una comparación entre el antes y el después de la instalación de los componentes de comunicación en la faja transportadora. A la izquierda está la antena original, y a la derecha, la instalación del cable coaxial tras su actualización, mejorando la conectividad y el rendimiento del sistema.

4.2.4 Sistema de Carga y Limpieza del Robot

El robot dispone de dos estaciones de carga a lo largo de la faja 014-003, con la primera estación ubicada cerca del parante 634 y la segunda cerca del parante 224. La energía de las estaciones de carga proviene de fuentes renovables, eólica y solar. En el interior de cada estación de carga hay un gabinete eléctrico similar a los instalados en los mástiles cada 100 metros, pero con la diferencia de que estos gabinetes son de mayores dimensiones y ofrecen una mayor potencia, alcanzando los 5000W.



Figura 4.17: Estación de carga del robot móvil.

En la figura se muestra la estación de carga de manera inalámbrica y autónoma, cuenta con un sistema de limpieza que utiliza una compresora de 3HP y un tanque de agua. La limpieza se controla mediante un equipo neumático conectado a la compresora y el tanque, operado por electroválvulas instaladas junto al cargador inalámbrico.



Figura 4.18: Lado izquierdo vista de planta y lado derecho vista frontal del sistema de carga y limpieza del robot móvil.

La figura se muestra dos vistas. A la izquierda se observa la vista de planta del sistema, destacando el cargador inalámbrico y el equipo de control neumático que gestiona la limpieza del robot. A la derecha, la vista frontal muestra el robot en su estación de carga, conectado al sistema de limpieza, lo que asegura su mantenimiento mientras se carga automáticamente.

4.2.5 Sistema de Monitoreo

En el interfaz se observa los datos en tiempo real adicional se muestra el mapa electrónico de cada nodo y en este la tarea lleva de nombre el número de rodillo real, y se puede hacer clic manualmente en el nodo de tarea para controlar el movimiento del robot a la posición correspondiente.



Figura 4.19: Se Muestra en tiempo real de cámaras termográficas infrarrojas y de luz visible

La figura se muestra un monitor con imágenes en tiempo real captadas por cámaras termográficas e infrarrojas del robot. Estas imágenes permiten monitorear el estado de la faja transportadora y su entorno, facilitando la detección temprana de fallas o anomalías.

4.2.5.1 Monitoreo por Sensor de Sonido

El robot cuenta con un sensor de sonido, por el cual capta ondas sonoras y las transforma en pequeñas señales eléctricas que posteriormente se escala y se programa para así poder mostrar en la pantalla un valor en decibeles.

4.2.5.2 Monitoreo por Sensor de Humo

El robot cuenta con un sensor de humo, la cual cuenta con una cámara de detección y un LED infrarrojo ubicado dentro de esta cámara, cuando las partículas de humo entran en la cámara, dispersan la luz, lo que se detecta como una interrupción en el patrón de luz. Esto desencadena el aviso de la existencia de humo en el lugar por donde se encuentra el robot.

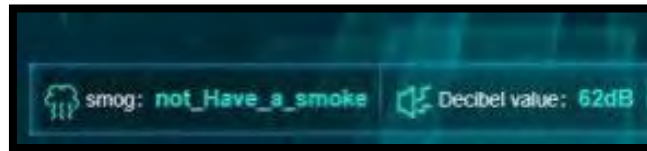


Figura 4.20: Se muestra en la interface el monitoreo de humo y el valor de decibeles.

La figura se muestra un panel de control en tiempo real donde se visualizan dos indicadores clave: la ausencia de humo y el valor de decibeles registrado, que es de 62 dB. Esto forma parte del sistema de monitoreo del entorno en la faja transportadora, verificando condiciones de seguridad y ruido.

4.2.5.3 Monitoreo por Sensores de Vibración

Este sistema cuenta con 26 acelerómetros piezoeléctricos (20 sensores en la cabeza de la faja y 6 sensores en la cola), gracias a estos equipos se detecta la vibración y temperatura de las distintas poleas, motores y reductores. Toda esta información se podrá monitorear desde el apartado de sensores de vibración, con esta implementación se facilitará realizar los distintos análisis de vibración de los equipos ya mencionados, ya que la información se puede observar en gráficos de onda de vibración en el dominio del tiempo para identificar patrones o anomalías evidentes.

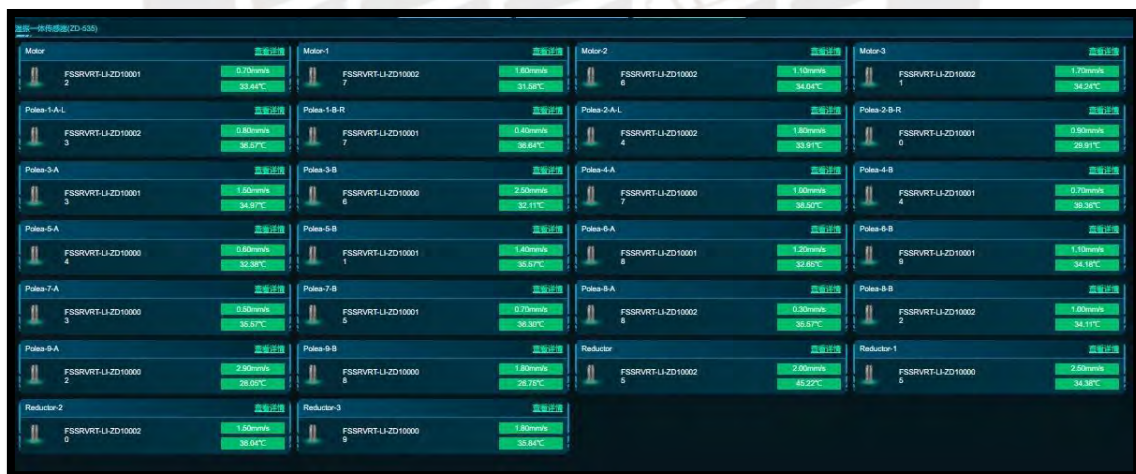


Figura 4.21: Se muestra la interface del monitoreo de vibración de los componentes de la faja transportadora de mineral 014003.

En figura se muestra la interfaz del sistema de monitoreo de vibración de los componentes de la faja transportadora de mineral 014003. La pantalla detalla las lecturas de vibración

en diferentes motores, poleas y reductores, con valores de amplitud en milímetros y temperaturas en grados Celsius.

4.2.6 Procedimientos de Alarmas del Equipo

Para asegurar la operación eficiente y segura de una faja transportadora de mineral, es fundamental establecer procedimientos claros para la gestión de alarmas del sistema de monitoreo y diagnóstico de fallas. A continuación, se muestra los pasos para la configuración, monitoreo y respuesta a las alarmas:



Figura 4.22: Gestión de operación del sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas.

La figura describe el proceso de gestión de fallas en el sistema de monitoreo inteligente, optimizando el diagnóstico y manejo de fallas.

4.2.6.1 Asuntos importantes

- Las causas principales de la desconexión del dispositivo incluyen cortes de energía o daños en el servidor, fallas en la red 5G, fallas en la red interna, etc. Analice la causa en función de la situación específica y comuníquese con las partes relevantes para coordinarla y manejarla. Además, puede ponerse en contacto con nuestro ingeniero de operación y mantenimiento remoto para ayudar en el análisis en el sitio de la causa fuera de línea.
- La velocidad operativa máxima teórica del robot es de 0,26 m/s, y las circunstancias especiales extremas prohíben el uso de velocidades extremas. La velocidad máxima es de 0,2 m/s.

- Está prohibido rociar agua a alta presión directamente sobre el robot y otros equipos auxiliares durante las operaciones de riego y rociado en el lugar de trabajo.
- En circunstancias extremadamente especiales, los servidores, los gabinetes de control principal y los gabinetes de distribución de red no deben apagarse. Si se produce un corte de energía, el robot no podrá conectarse a la red ni cargarse, y un corte de energía prolongado hará que este se apague.
- Todas las instalaciones de distribución de energía en el sistema de inspección no deben usarse como fuentes de energía temporales, lo que puede provocar una sobrecarga de la línea, un corte de energía y otras situaciones.
- Cuando el mantenimiento en el sitio o el robot no ha sido inspeccionado durante mucho tiempo, es necesario revisar la pista del robot antes de realizar otra pasada de inspección con el robot, limpiar materiales grandes, lodo, hielo en la pista y operar recién después.
- Si se agregan equipos u otros soportes fijos a lo largo de la faja transportadora (cerca de la pista del robot), es necesario evitar los rieles del robot y, por lo general, se requiere reservar un espacio de seguridad de más de 50 mm con las cuatro direcciones de movimiento.
- Tenga cuidado de no deformar los rieles y las instalaciones auxiliares debido a fuerzas externas durante el reemplazo de polines y la reparación y mantenimiento de las fajas. Si ocurriera, notifique a nuestra empresa para que se comunique con nosotros para su arreglo. Después de completar la reparación y el mantenimiento, se puede restaurar la instalación.

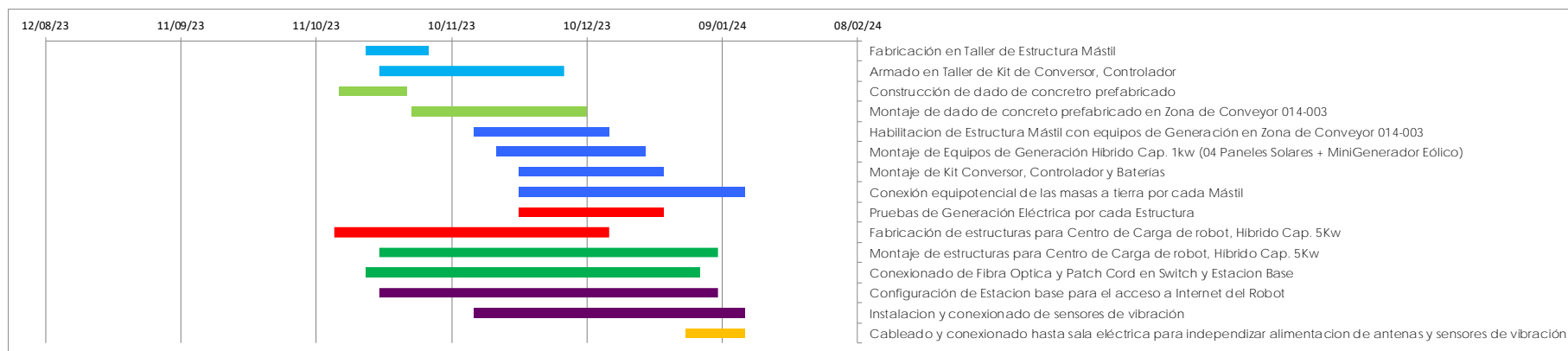


Figura 4.23: Línea de tiempo de la implementación, operatividad y entrega del sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral de 8.8 km de longitud de longitud en una unidad minera (Shougang Hierro Perú).

La figura se muestra la línea de tiempo de la implementación del sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de 8.8 km de longitud de longitud en la unidad minera Shougang Hierro Perú. La gráfica detalla las actividades clave, como la fabricación y montaje de estructuras, la instalación de equipos de generación híbrida, la conexión de fibra óptica, la instalación de sensores de vibración, y la configuración del sistema base para acceso a Internet del robot. La línea de tiempo abarca desde la construcción y armado hasta la operatividad y entrega del sistema, mostrando las fechas estimadas para la finalización de cada tarea.

CAPÍTULO V: Resultados del sistema de inspección y detección de fallas en una faja transportadora de mineral

En el sector industrial, la disponibilidad constante de equipos productivos es esencial para el éxito de la organización. Por ello, el departamento de mantenimiento debe programar y ejecutar un mantenimiento preventivo óptimo en equipos críticos como la faja 014003, asegurando su funcionamiento continuo y seguro. Para alcanzar este objetivo, es clave capacitar al personal en confiabilidad y mantenimiento, promover prácticas de mejora continua y realizar auditorías periódicas que detecten áreas de mejora. Además, se deben cumplir las normas de seguridad, ambientales y los lineamientos corporativos, reforzando así la eficiencia y sostenibilidad del sistema de mantenimiento.

5.1 Recolección de datos a partir de sensores, y los datos son analizados en computadoras con una elevada capacidad de procesamiento

Como resultado de la implementación del sistema de inspección y detección de fallas en la faja transportadora de mineral 014003, se ha establecido un sistema de vigilancia en tiempo real que captura imágenes, sonidos, temperatura, humo y vibraciones. Estos datos alimentan una base de datos fiable y en tiempo real, gestionada por un software de monitoreo automatizado que permite la detección temprana de fallas. Los sensores ubicados en puntos estratégicos de la faja (como motores, reductores, poleas y polines) han facilitado la recolección de datos críticos sobre vibraciones, temperatura y otras condiciones operativas, contribuyendo a la prevención de fallas y optimización de la eficiencia en el transporte del mineral en el sistema de 8.8 km de longitud de longitud.



Figura 5.1: Robot móvil monitoreando entre el lado de carga y retorno de la faja transportadora de mineral 014003

La figura se muestra al robot móvil monitoreando el área entre el lado de carga y retorno de la faja transportadora 014003, desplazándose por un riel y capturando datos en tiempo real para detectar fallas.

A lo largo de la faja, se colocaron etiquetas RFID cada 5 metros, las cuales almacenan información sobre su ubicación en la faja transportadora. El robot está equipado con un lector RFID que, al pasar bajo las etiquetas, recoge la información de ubicación almacenada mediante señales de radiofrecuencia. Esta información es procesada por el robot y enviada al servidor principal, lo que permite visualizar la ubicación exacta de cada robot en el sistema.

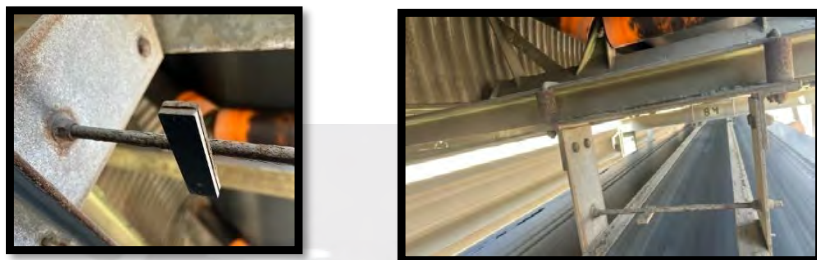


Figura 5.2: Lado derecho vista frontal de la etiqueta lado izquierdo vista frontal de la etiqueta RFID.

La figura muestra dos vistas de una etiqueta RFID instalada en la faja transportadora. Estas etiquetas permiten al robot móvil recoger información precisa sobre su ubicación mientras se desplaza, facilitando el monitoreo y control del sistema de transporte de mineral.

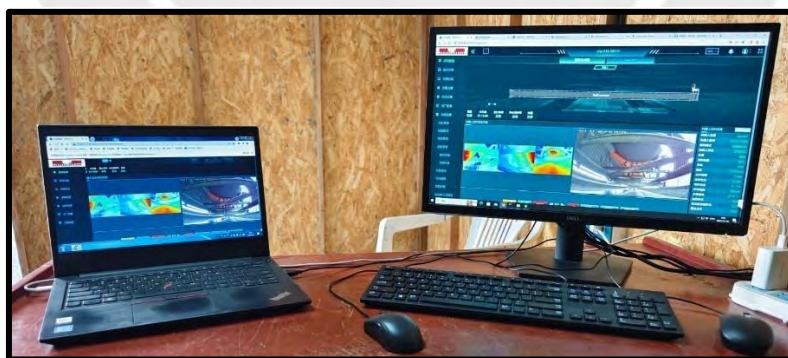


Figura 5.3: Se muestra los monitores donde se visualiza la inspección en tiempo real de la faja transportadora de mineral 014003

La figura se muestra dos monitores que visualizan en tiempo real la faja transportadora de mineral 014003, con imágenes térmicas y de luz visible capturadas por el sistema de

monitoreo. Esto permite detectar fallas de forma inmediata, mejorando la gestión y eficiencia en el transporte del mineral.

El sistema de monitoreo inteligente implementado se realizó durante el año 2023 y las pruebas operativas a partir del mes de febrero de 2024.

5.2 Eficiencia en la detección de fallas

Uno de los resultados más notables ha sido la capacidad del sistema para identificar fallas críticas antes de que provoquen interrupciones no programadas. Entre las anomalías detectadas se encontraron desalineamientos y sobrecalentamientos en poleas y motores. Durante las primeras semanas de operación en 2024, se realizaron más de 46 inspecciones con el Robot N°1, registrando un total de 215 kilómetros inspeccionados y 154 horas de monitoreo.

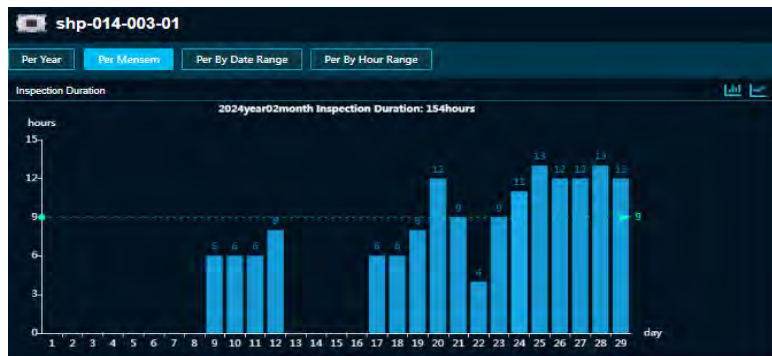


Figura 5.4: Inspección Del Dia 9 de febrero de 2024 al 29 de febrero de 2024

La figura se muestra el tiempo total de inspección realizado por el Robot N°1 entre el 9 y el 29 de febrero de 2024. Durante este período, el robot acumuló 154 horas de inspección, recorriendo aproximadamente 215 kilómetros con un total de 46 inspecciones de ida y vuelta. El promedio diario de operación fue de 7.7 horas, con un promedio de 2.3 viajes por día, lo que refleja un uso continuo y eficiente del robot para la inspección de la faja transportadora.

De acuerdo al diagnóstico del mes de febrero del año 2024 se tiene detectado dos polines para cambio inmediato por temperatura alta anormal en el primer tramo de la faja transportadora014-003

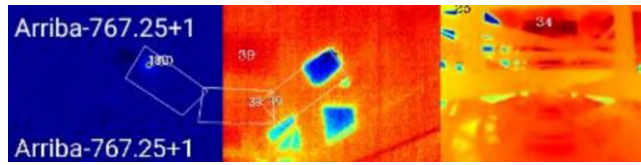


Figura 5.5: Inspección a las 16:35:25 del día 29 de febrero

La figura se muestra una detección térmica donde el polín izquierdo, en la ubicación "Arriba-767.25+1", presenta una temperatura elevada de 181 grados. Este nivel de temperatura sugiere una posible anomalía, por lo que es necesario revisar y verificar el estado del polín para evitar posibles fallas o daños en la faja transportadora.

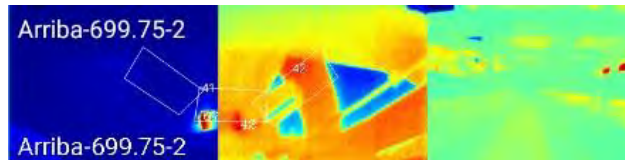


Figura 5.6: Inspección a las 16:35:25 del día 29 de febrero

La figura muestra una inspección realizada a las 16:35:25 del 29 de febrero, donde se detectó que la temperatura del polín izquierdo en la ubicación "Arriba-699.75-5" era de 42 grados, aumentando a 67 grados en inspecciones posteriores. Este incremento de temperatura indica la necesidad de revisar y verificar el estado del polín para prevenir posibles fallas en la faja transportadora.



Figura 5.7: Verificación en el sitio con una cámara termográfica

La figura muestra la verificación en sitio con una cámara termográfica, donde se detectó una anomalía de alta temperatura en un polín de la faja transportadora. La medición reveló una temperatura de 71.3 grados, confirmando la necesidad de realizar un mantenimiento o inspección adicional para evitar fallas mayores en la operación de la faja.

5.2.1 Monitoreo de las Poleas de la faja transportadora de mineral 014003

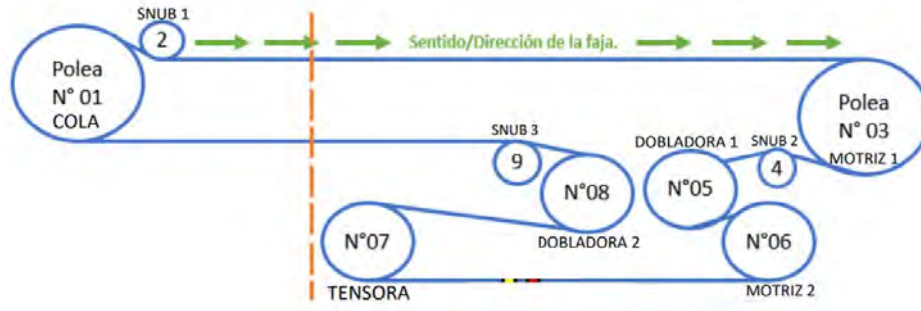


Figura 5.8: Diagrama Distribución de las 9 poleas de la faja transportadora de mineral 014003

En la figura se muestra la disposición de las poleas en la faja transportadora de mineral 014003, incluyendo de cola, tensores y motrices, además de poleas dobladoras y snub. La dirección del flujo del material se indica con una flecha verde, detallando el sentido de movimiento a lo largo de la faja transportadora.



Figura 5.9: Monitoreo de vibración y temperatura lado izquierdo de la polea N°9 A lado cola de la faja transportadora de mineral 014003

La figura se muestra el monitoreo de la vibración y la temperatura de la polea N°9 A, ubicada en el lado cola de la faja transportadora de mineral 014003. En la parte superior se registran las vibraciones promedio del 1 y el 29 de febrero de 2024, con variaciones de 0.39 mm/s hasta 2.64 mm/s. En la parte inferior, se observan los registros de temperatura máxima en el mismo periodo, variando entre 33.72°C y 41.50°C. Estos datos permiten realizar un análisis detallado del estado de la polea y anticipar posibles fallas.

Tabla 5.1: Resumen del Problema Durante Función y Mantenimiento en la Presente Etapa

Número de Serie	Ubicación	Tipo de Falla	Valor Numérico	Situación de Manejo	Observación
1	Polea 9-A	Valor de Vibración Anormal	>2.5mm	Confirmación in situ de que la polea es normal y comparación de los valores de vibración. Otros equipos ligeramente alto	Se Continúa prestando atención y monitoreo.
2	Arriba-699.75-2	Temperatura Anormal	67°C	Polín dañado	Cambiar Polín
3	Arriba-767.25+1	Temperatura Alta Anormal	180°C	Polín dañado	Cambiar Polín

- Advertencia Roja - Muy Grave,
- Advertencia Amarilla - Grave,
- Advertencia Verde - Leve,
- Advertencia Azul – Falla Solucionada

En la figura 114 se muestra el programa de mantenimiento de la planta. De acuerdo con la inspección del sistema de monitoreo inteligente, se han planificado actividades que se incluye el cambio de polines y el cambio de la polea N°9 de la faja transportadora 014003. Las actividades están distribuidas en varios días, con horas específicas de inicio y finalización.



Programa Parada de Planta Línea 01 (Chancado Primario - Stacker MN)

NUEVO SISTEMA DE CHANCADO Y TRANSFERENCIA

Jueves 18 al Domingo 21 de Abril al 2024

Disciplina: MECÁNICA-ELÉCTRICO E INSTRUMENTACIÓN

Trabajos Programados											18-Abr	19-Abr	20-Abr	21-Abr	22-Abr	Pers. Req.
N°	Actividad	Hrs	Hora Inicio	Hora Fin	Ejecutor	Disc.	PETS	Trabajos Previos.	Estado	Bloqueo de equipos	04:00 A 23:59	00:00 A 23:59	00:00 A 23:59	00:00 A 23:59	00:00 A 08:00	
FUNCION CHANCADO																
Faja Transportadora 014-003																
01	Cambio y/o regulación de mandriles en chute de descarga hacia faja 014-004	1.0	12:00	13:00	HENGSHENG	Mec	ATS	Tener herramientas listas y materiales listos	PROG.	Faja 014003	•					H6
02	Cambio de polines faja 014-003, según inspección	2.0	13:00	15:00	HENGSHENG	Mec	ATS	Tener herramientas listas y materiales listos	PROG.	Faja 014003	•					H6
03	Cambio de polea N°04 Snub 2 de la faja 014-003.	12.0	08:00	20:00	HENGSHENG	Mec	ATS	Tener herramientas listas y materiales listos	PROG.	Faja 014003		•				H4
04	Cambio de polea N°09 Snub 3 de la Faja 014-003.	4.0	08:00	12:00	HENGSHENG	Mec	ATS	Tener herramientas listas y materiales listos	PROG.	Faja 014003				•		H4
05	Cambio de 02 ruedas del sistema Take Up de la faja transportadora 014-003	8.0	12:00	20:00	HENGSHENG	Mec	ATS	Tener herramientas listas y materiales listos	PROG.	Faja 014003				•		H4
06	Retiro de componentes para cambio de reten del eje de alta del reductor M-102 de la faja transportadora 014-002	3.0	14:00	17:00	HENGSHENG	Mec	ATS	Tener herramientas listas y materiales listos	PROG.	Faja 014003	•					H4
07	Cambio de reten del eje de alta del reductor M-102 de la faja transportadora 014-002	10.0	17:00	03:00	HENGSHENG	Mec	ATS	Tener herramientas listas y materiales listos	PROG.	Faja 014003	•	•				H4 H3N
08	Montaje de componentes para cambio de reten del eje de alta del reductor M-102 de la faja transportadora 014-002	3.0	03:00	06:00	HENGSHENG	Mec	ATS	Tener herramientas listas y materiales listos	PROG.	Faja 014003		•				H3N
09	Alineamiento el sistema motriz M-102 de la faja transportadora 014-002	6.0	08:00	14:00	HENGSHENG	Mec	ATS	Coordinar con Mantenimiento SHP	PROG.	Faja 014003			•			H3
10	Calibración de sensores de pesaje ubicados en la Polea nro 9	8.0	08:00	16:00	BEIJING SP01558	ELEC	ATS	Coordinar con Mantenimiento SHP	PROG.	Faja 014003						
11	Regulación de sensor inductivo de velocidad de la polea #6	3.0	08:00	11:00	BEIJING SP01558	ELEC	ATS	Coordinar con Mantenimiento SHP	PROG.	Faja 014003						
12	Verificación de alineamiento de Motor 102 de faja curva	3.0	10:00	13:00	BEIJING SP01558	ELEC	ATS	Coordinar con Mantenimiento SHP	PROG.	Faja 014003						

CONDICIONES OPERATIVAS:

- * Limpieza en chutes de descarga, pasadizos y accesos de equipos a intervenir.
- * Realizar bloqueo de los equipos a intervenir.

CONDICIONES DE SEGURIDAD:

- * La realización de las Actividades Programadas estan sujetas, según indicaciones de las Herramientas de Gestión PETS e IPERC de cada Empresa Ejecutora.
- * Es responsabilidad del Ing. Residente o supervisor la difusión de los programas (Mec, Lub, Elec & Ist.) presentados; Así como, cualquier modificación o cambio debe ser coordinado con la supervisión de Mantenimiento SHP, bajo responsabilidad.
- * Es obligación de cada contrata el uso de mantas ignífugas para trabajos en caliente.

NOTA:

- * Las reparaciones de cuarto de compensación, tolvas y chutes de transferencia son completas no se considerará cumplimientos parciales.
- * Para el cumplimiento de las actividades será necesario el visto bueno de mantenimiento SHP
- * Para el cumplimiento de las actividades será necesario informe detallado con información técnica y fotográfica georeferenciadas
- * Para el cumplimiento de las actividades de cambio de desgastables (blindajes, repisas, etc.) será necesario adjuntar plano de ubicación.

Elaborado Analista de Planeamiento
Nuevo Sistema Chancado y Transferencia

Figura 5.10: Programa de Parada Línea 1 (Chancado Primario – Stacker MN) nuevo sistema de chancado y transferencia



Figura 5.11: El día 21/04/2024, desmontaje de la polea N°9 de la faja transportadora de mineral

La figura muestra el desmontaje de la polea N°9 de la faja transportadora de mineral 014003, realizado el 21 de abril de 2024 durante una parada programada de la línea 1. El proceso se lleva a cabo utilizando un brazo de camión grúa para retirar la polea como parte de las actividades de mantenimiento planificadas, asegurando el correcto funcionamiento de la faja transportadora.

5.3 Resultados de estrategias de mantenimiento en faja transportadora 014003: análisis de mantenimiento preventivo y predictivo

El mantenimiento preventivo de una faja transportadora de mineral de gran longitud es esencial para garantizar su funcionamiento eficiente y evitar fallos que puedan interrumpir las operaciones. A continuación, se detallan las estrategias y actividades clave para llevar a cabo un mantenimiento preventivo.

5.3.1 Inspección de la Faja Transportadora 014003

Inspección de los equipos de las salas eléctricas a la frecuencia de 10 días coincidente con las guardias del personal ejecutor.

Tabla 5.2: Matriz de inspección de la faja transportadora de mineral 014003

MATRIZ DE INSPECCION									
Equipo Critico	Actividad	Impacto	Frecuencia	Personal	Equipo e Implemento	Tiempo Real (h)	Mano Obra	Horas Hombre	H.H por Año
Faja Transportadora 014003	Inspección de reductores y poleas	medio	diario	operador		1.5	2	3	1092
Faja Transportadora 014003	Inspección y/o regulación de limpiadores	bajo	semanal	mecánico	flexómetro, escobilla de fierro y llave mixta	2	4	8	416
Faja Transportadora 014003	Inspección y/o regulación de freno	medio	quincenal	mecánico	Fild gate, llaves mixtas y allen, paños y aire comprimido	3	2	6	156
Faja Transportadora 014003	Inspección de winche	medio	quincenal	mecánico	Vernier, paños, desengrasante, lapicero y libreta.	1	2	2	52
Faja Transportadora 014003	Inspección y/o regulación de Guarderas	bajo	quincenal	mecánico	Comba	2	4	8	208

5.4 *Mantenimiento predictivo de la faja transportadora de mineral 014003*

El mantenimiento predictivo se basa en el monitoreo continuo y el análisis de datos para prever y prevenir fallas antes de que ocurran. Para la faja transportadora de mineral 014003 de 8,8 Km, este enfoque implica el uso de tecnologías avanzadas para detectar problemas in situ y tomar medidas correctivas de manera oportuna. Para lo cual se deben definir.

Sistemas ON-LINE u OFF-LINE (De acuerdo con su organización).

- En Shougang Hierro Perú, se utilizan ambos sistemas.
 - La contratista a cargo del mantenimiento usa el sistema OFF-LINE.
 - La sala de control de Shougang lleva el registro del sistema ON-LINE

Las tecnologías para usar y la Normativa (ISO) que rige.

- Termografía – ISO 18436-7
- Vibraciones – ISO-10816-3

Su monitoreo (ISO) y definir sus límites de control (valores máximo y mínimo, como el de alerta).

Tabla 5.3: Valores máximos y mínimo de los Reductores de velocidad de las fajas transportadoras.

Tecnología de Monitoreo	Parametro	Valor Satisfatorio	Valor Alerta	Valor de Alarma	Norma
Análisis de vibraciones	Velocidad (mm/s)	0 - 4.4	4.5 - 7.1	≥ 7.2	ISO 10816-3
Termografía	Temperatura (°C)	≤ 50	≥ 90	≥ 100	ISO 18436-7

Tabla 5.4: Matriz de Mantenimiento General Periódico

MATRIZ DE MANTENIMIENTO GENERAL PERIODICO									
Equipo Critico	Actividad	Impacto	Frecuencia	Personal	Equipo e Implemento	Tiempo Real (h)	Mano Obra	Horas Hombre	H.H por Año
Faja Transportadora 014003	Análisis vibracional en chumaceras de poleas	medio	semanal	predictivo	Analizador de vibraciones, paño, lapicero y libreta	2.5	2	5	260
Faja Transportadora 014003	Análisis termográfico en chumaceras de poleas	medio	semanal	predictivo	Cámara termográfica, lapicero y libreta	1.5	2	3	156
Faja Transportadora 014003	Análisis vibracional en reductores	medio	semanal	predictivo	Analizador de vibraciones, paño, lapicero y libreta	2.5	2	5	260
Faja Transportadora 014003	Análisis termográfico en reductores	medio	semanal	predictivo	Cámara termográfica, lapicero y libreta	1.5	2	3	156
Faja Transportadora 014003	Inspección termográfica y/o visual de polines	medio	semanal	predictivo	Cámara termográfica, lapicero y libreta	6	4	24	1248
Faja Transportadora 014003	Lubricación de chumaceras	alto	Semanal	lubricación	Paños adsorbentes, desengrasante ecológico, grasa, bomba neumática, aire comprimido y bolsa	6	2	12	624
Faja Transportadora 014003	Lubricación de cables acerados del winche	medio	quincenal	lubricación	Desengrasante ecológico, paños adsorbentes, escobilla de fierro, lubricante y bolsa	1	2	2	52
Faja Transportadora 014003	Lubricación - sacar muestra de aceite de reductor	bajo	mensual	lubricación	Frasco, paño adsorbente y marcador	1.5	2	3	39

Tabla 5.5: Plan Anual de Mantenimiento Predictivo

PLAN ANUAL DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO									
Equipo Critico	Actividad	Impacto	Frecuencia	Personal	Equipo e Implemento	Tiempo Real (h)	Mano Obra	Horas Hombre	H.H por Año
Faja Transportadora 014003	Análisis vibracional en chumaceras de poleas	medio	semanal	predictivo	Analizador de vibraciones, paño, lapicero y libreta	2.5	2	5	260
Faja Transportadora 014003	Análisis termográfico en chumaceras de poleas	medio	semanal	predictivo	Cámara termográfica, lapicero y libreta	1.5	2	3	156
Faja Transportadora 014003	Análisis vibracional en reductores	medio	semanal	predictivo	Analizador de vibraciones, paño, lapicero y libreta	2.5	2	5	260
Faja Transportadora 014003	Análisis termográfico en reductores	medio	semanal	predictivo	Cámara termográfica, lapicero y libreta	1.5	2	3	156
Faja Transportadora 014003	Inspección termográfica y/o visual de polines	medio	semanal	predictivo	Cámara termográfica, lapicero y libreta	6	4	24	1248
Faja Transportadora 014003	Lubricación de chumaceras	alto	Semanal	lubricación	Paños adsorbentes, desengrasante ecológico, grasa, bomba neumática, aire comprimido y bolsa	6	2	12	624
Faja Transportadora 014003	Lubricación de cables acerados del winche	medio	quincenal	lubricación	Desengrasante ecológico, paños adsorbentes, escobilla de hierro, lubricante y bolsa	1	2	2	52
Faja Transportadora 014003	LUB - sacar muestra de aceite de reductor	bajo	mensual	lubricación	Frasco, paño adsorbente y marcador	1.5	2	3	39
Faja Transportadora 014003	Inspección de reductores y poleas	medio	diario	operador		1.5	2	3	1092

PLAN ANUAL DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO									
Equipo Critico	Actividad	Impacto	Frecuencia	Personal	Equipo e Implemento	Tiempo Real (h)	Mano Obra	Horas Hombre	H.H por Año
Faja Transportadora 014003	Inspección y/o regulación de limpiadores	bajo	semanal	mecánico	flexómetro, escobilla de fierro y llave mixta	2	4	8	416
Faja Transportadora 014003	Inspección y/o regulación de freno	medio	quincenal	mecánico	Fild gate, llaves mixtas y Allen, paños y aire comprimido	3	2	6	156
Faja Transportadora 014003	Inspección de winche	medio	quincenal	mecánico	Vernier, paños, desengrasante, lapicero y libreta.	1	2	2	52
Faja Transportadora 014003	Inspección y/o regulación de Guarderas	bajo	quincenal	mecánico	Comba	2	4	8	208
Faja Transportadora 014003	Limpieza de resumen de grasa de chumaceras	bajo	Semanal	lubricación	Paños adsorbentes, desengrasante ecológico, grasa y bolsa	2	2	4	208
Faja Transportadora 014003	Limpieza de radiador y ventiladores del sistema de enfriamiento	medio	Semanal	mecánico	Aire comprimido	1	2	2	104
Faja Transportadora 014003	Limpieza de cables acerados del winche	medio	quincenal	lubricación	Desengrasante ecológico, paños adsorbentes, escobilla de fierro y bolsa	1	2	2	52

Se Detalla la relación de los equipos críticos y sus diversas actividades (rutinas por días semanas o meses) de mantenimiento, resaltando los PREDICTIVOS

5.5 Análisis de resultados de la implementación del sistema de monitoreo inteligente en faja transportadora 014003 (2019-2024)

La implementación del sistema de monitoreo inteligente de detección de fallas en la faja transportadora de mineral 014003 ha resultado en una notable disminución de las paradas no programadas en la faja transportadora de mineral 014003.

OPERACIONES AMPLIACIÓN
MINA SHOUGANG HIERRO
PERÚ

HISTORICO DE REPARACIONES PROGRAMADAS Y NO PROGRAMADAS EN FAJA 014003

EQUIPO	TAG	FAJA	FECHA	SERVICIO	FALLA	ACTIVIDAD
14003	5812CB210	FAJA CURVA	19/06/2019	REPARACION DE FAJA	CORTE	CAMBIO DE UN TRAMO DE FAJA POR CORTE LONGITUDINAL (1100 PIES)
14003	5812CB210	FAJA CURVA	8/08/2019	REPARACION DE FAJA	CORTE	CAMBIO DE UN TRAMO DE FAJA POR CORTE LONGITUDINAL (200 PIES)
14003	5812CB210	FAJA CURVA	13/11/2019	REPARACION DE FAJA	CORTE	CAMBIO DE UN TRAMO DE FAJA POR CORTE LATERAL DE FAJA (400 MTRS)
14003	5812CB210	FAJA CURVA	27/11/2019	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO DE FAJA POR DESPRENDIMIENTO DE EMPALME
14003	5812CB210	FAJA CURVA	17/12/2019	REPARACION DE FAJA	CORTE	CAMBIO DE UN TRAMO DE FAJA POR CORTE LONGITUDINAL (815 PIES)
14003	5812CB210	FAJA CURVA	25/01/2020	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO DE FAJA LUEGO DE APERTURA DE JUNTA, SEGUNDO VULCANIZADO POR SOPLO UBICADO EN INSPECCION
14003	5812CB210	FAJA CURVA	28/01/2020	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO DE FAJA, POR DESPRENDIMIENTO DE JUNTA REALIZADO 2 HORAS ANTES.
14003	5812CB210	FAJA CURVA	24/10/2020	REPARACION DE FAJA	CORTE	VULCANIZADO DE FAJA (SE CORTA PARTE DAÑADA Y SE JUNTA "15 CM X 1.15 M"), LUEGO DE CORTE LONGITUDINAL
14003	5812CB210	FAJA CURVA	8/11/2020	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO Y REPARACION FUERA DEL PM
14003	5812CB210	FAJA CURVA	30/12/2020	REPARACION DE FAJA	CORTE	VULCANIZADOS EN FAJA POR CORTES DE "30CMX30XM" APROX, LUEGO DE ATORO EN TT5-3
14003	5812CB210	FAJA CURVA	15/04/2021	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO POR DESPRENDIMIENTO DE UN EMPALME
14003	5812CB210	FAJA CURVA	17/04/2021	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	INJERTO DE 40 M POR SOPLO EN BANDA.
14003	5812CB210	FAJA CURVA	5/07/2021	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO POR DESPRENDIMIENTO DE ALAMBRE EN EMPALME N°8 DE LA FAJA 014-003
14003	5812CB210	FAJA CURVA	6/07/2021	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO POR DESPRENDIMIENTO DE ALAMBRE EN EMPALME N°6 DE LA FAJA 014-003
14003	5812CB210	FAJA CURVA	13/07/2021	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO POR CAMBIO DE EMPALME N°47 POR DAÑO EN LA JUNTA
14003	5812CB210	FAJA CURVA	1/12/2021	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO POR SOPLADURA DE EMPALME N°22,
14003	5812CB210	FAJA CURVA	4/01/2022	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO POR DAÑO DE EMPALME N°35 EN FAJA 014003
14003	5812CB210	FAJA CURVA	2/08/2022	REPARACION DE FAJA	CORTE	CORTE LONGITUDINAL 2000M, RUPTURA DE CHUMACERAS Y ESTRUCTURA DAÑADA DE POLEA TENSORA DEL TAKE-UP
14003	5812CB210	FAJA CURVA	16/06/2023	REPARACION DE FAJA	DAÑO DE JUNTA	VULCANIZADO POR PROTUBERANCIA EN EMPALME N°36 DE FAJA 014-003
14003	5812CB210	FAJA CURVA	10/11/2023	REPARACION DE FAJA	CORTE	RUPTURA LONGITUDINAL DE FAJA 014-003, 460 METROS ORIGINADO POR METAL DE COSAPI
14003	5812CB210	FAJA CURVA	3/01/2024	INSPECCION DE FAJA	REPARACIÓN MECANICA	INSPECCION DE EMPALME N°19 DE FAJA 014-003
14003	5812CB210	FAJA CURVA	16/01/2024	INSPECCION DE FAJA	REPARACIÓN MECANICA	INSPECCION DE EMPALME N°8 DE FAJA 014-003
14003	5812CB210	FAJA CURVA	4/02/2024	INSPECCION DE FAJA	REPARACIÓN MECANICA	INSPECCION DE EMPALME N°2 DE FAJA 014-003
14003	5812CB210	FAJA CURVA	1/04/2024	INSPECCION DE FAJA	REPARACIÓN MECANICA	INSPECCION DE EMPALME N°35 DE FAJA 014-003
14003	5812CB210	FAJA CURVA	17/04/2024	CAMBIO DE SELLO	REPARACIÓN MECANICA	INSPECCION REDUCTOR M102 DE FAJA 014-003,
14003	5812CB211	FAJA CURVA	21/04/2024	CAMBIO DE POLEA	REPARACIÓN MECANICA	CAMBIO DE POLEA N°9 PARADA PROGRAMADA

Figura 5.12: Histórico de Reparaciones programadas y no programadas en la faja transportadora de mineral 014003.

La figura se muestra un historial de reparaciones programadas y no programadas en la faja transportadora 014003 de 8.8 km de longitud, antes de la implementación del sistema de monitoreo inteligente. Los eventos detallan cortes y daños en las juntas de la faja, los cuales fueron corregidos mediante vulcanización y reemplazo de tramos afectados. Estos fallos recurrentes ocasionaron reparaciones significativas, lo que subraya la necesidad de

un sistema de detección y diagnóstico más eficiente para mejorar el tiempo de respuesta y reducir los paros no planificados.

5.5.1 Tiempos de Reparación:

Se analiza el tiempo de inactividad que provoca cada falla en la faja, desde la detección del problema hasta la completa restauración del servicio. Un tiempo prolongado de reparación no solo incrementa los costos de mantenimiento, sino que también afecta negativamente la cadena de producción.



Figura 5.13: Resumen del tiempo de reparación desde el año 2019-2024

En la Figura se muestra las fechas de los eventos sucedidos en la faja 014003 de 8.8 km de longitud de acuerdo a la figura 5.14. Vemos una considerable reducción en los tiempos de reparación.

5.5.2 Reducción de las Pérdidas de Producción:

Se cuantifican las pérdidas de producción ocasionadas por las interrupciones debidas a fallas. Al evaluar la cantidad de mineral no transportado durante las paradas, el análisis proporciona un cálculo del impacto económico total y la fluctuación de los precios del mineral y los tiempos de inactividad.

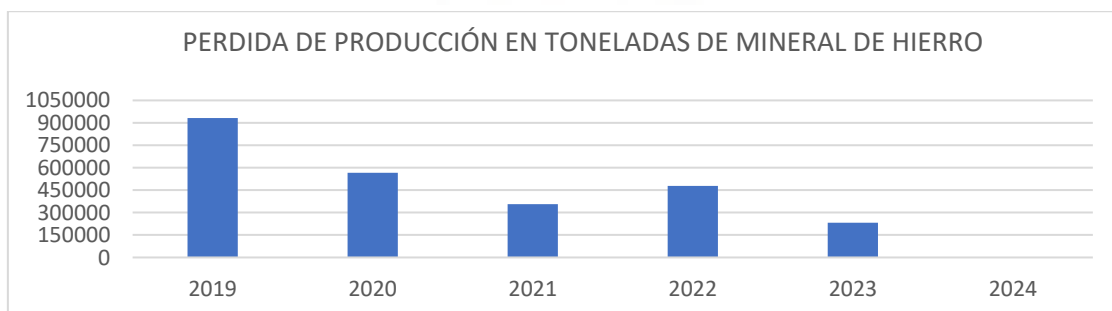


Figura 5.14: Resumen de las pérdidas de la producción en los años 2019-2023

Este análisis busca mostrar el impacto operativo de las fallas en la faja transportadora y su efecto en la rentabilidad del proceso minero. El sistema de monitoreo inteligente permite detectar fallas tempranamente, optimizando tiempos de respuesta, reduciendo pérdidas de producción y mejorando la rentabilidad y continuidad operativa.

Los resultados indican que El sistema de monitoreo inteligente ha optimizado el mantenimiento y la eficiencia operativa de la faja transportadora, reduciendo tiempos de reparación y brindando una visión detallada de las pérdidas. Su alta confiabilidad en detectar fallas y predecir problemas ha sido crucial para cumplir con los objetivos de disponibilidad y mantenimiento, mientras que la evaluación de sensores y software de diagnóstico asegura un rendimiento continuo y eficiente.

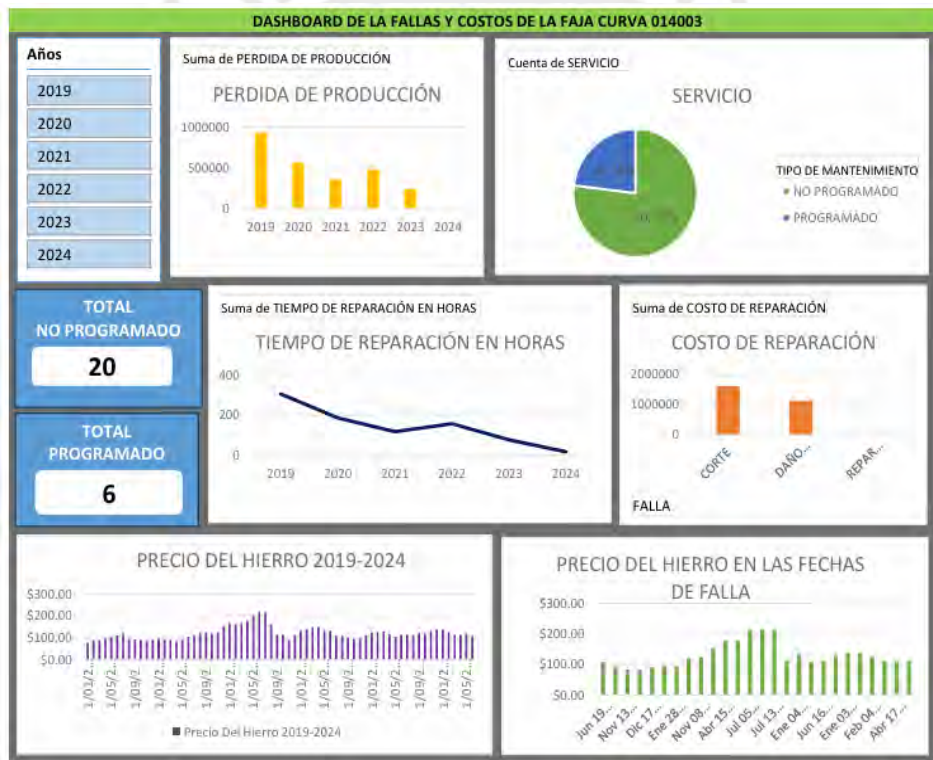


Figura 5.14: Dashboard de las fallas, costos, tiempo de reparación y pérdidas de producción de los años 2019-2024

La figura se muestra un resumen de las fallas y costos asociados a la faja transportadora 014003 tras la implementación del sistema de monitoreo y detección de fallas. En este dashboard se observa:

Pérdida de Producción: Gráfica de barras que indica la pérdida de producción por año, destacando el impacto de las fallas entre 2019 y 2024.

Tiempo de Reparación: Línea de tendencia que muestra la disminución del tiempo de reparación en horas, evidenciando una mejora progresiva.

Costo de Reparación: Distribución de costos según el tipo de falla (corte, daño, reparación), con mayores gastos en cortes y daños.

Servicio de Mantenimiento: Gráfica circular que clasifica el mantenimiento en programado y no programado, con un 77% de intervenciones no programadas.



Conclusiones

Al Implementar un sistema de monitoreo inteligente para detectar y diagnosticar fallas en la faja transportadora de mineral 014003, incremento la eficacia operativa, disminuyo los periodos de inactividad imprevistos y extendió la vida útil de la faja transportadora de mineral 014003 al identificar problemas tempranamente y llevar a cabo un mantenimiento preventivo.

Una vez puesto en marcha el sistema de inspección y detección de fallas, se notó mejora en la capacidad de detectar y diagnosticar problemas en la faja transportadora de mineral. Como resultado, se ha reducido considerablemente el tiempo de inactividad no programado y se ha logrado una mayor confiabilidad en el funcionamiento del equipo.

La adaptación y evaluación de la alimentación de energía al sistema de monitoreo inteligente ha demostrado como un aspecto fundamental para potenciar la efectividad en la detección de fallas. La capacidad de analizar datos en tiempo real y tomar decisiones informadas ha sido esencial para mejorar la eficiencia del mantenimiento.

La implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo basadas en la inspección y detección de fallas ha demostrado ser altamente efectiva. La capacidad de anticipar y abordar problemas potenciales antes de que impacten de manera significativa en la producción ha conducido a considerables ahorros en costos de mantenimiento y pérdidas de producción.

Recomendaciones

Se recomienda seguir avanzando en la investigación y desarrollo para mejorar la efectividad del sistema de detección de fallas. Esto implica explorar y desarrollar nuevas tecnologías y métodos de inspección. Entre estas innovaciones se podrían considerar tecnologías emergentes como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial para el análisis de datos.

Capacitación del personal en el manejo y mantenimiento del sistema de inspección y monitoreo de fajas, así como en la interpretación de los datos recopilados. Esto garantizará un uso óptimo del sistema y una respuesta rápida y efectiva ante cualquier anomalía detectada.

Se recomienda la incorporación del sistema de inspección y monitoreo con los sistemas de gestión de mantenimiento ya implementados en la planta, para una gestión más eficiente de los datos y la programación de actividades de mantenimiento.

Considerando el constante progreso tecnológico, se aconseja llevar a cabo actualizaciones regulares en el sistema de inspección. Esto permitirá mantenerlo al día con las últimas innovaciones y garantizar su eficacia a largo plazo.

Realizar charla periódica referente a los resultados obtenidos, con la finalidad de comprometer al personal encargado de la ejecución del mantenimiento, esto permitirá mejorar la Gestión del Mantenimiento de los equipos de la planta Ampliación Producción Zona Seca.

Esta tesis puede proporcionar una guía útil para la implementación exitosa y la mejora continua del sistema de inspección y detección de fallas en una faja transportadora de mineral en una unidad mineral.

Bibliografía

- [1] Robotnik Automation, «Robots para tareas de inspección y mantenimiento,» 2021. [En línea]. Available: <https://robotnik.eu/es/robots-para-tareas-de-inspeccion-y-mantenimiento/>.
- [2] CORREO, «UN VORAZ INCENDIO SORPRENDIO A LOS TRABAJADORES DE PLANTA 2 SHOUGANG HIERRO PERÚ,» *INCENDIO ARRAZO CON EQUIPOS EN PLANTA DE MINERLAES MARCONA*, 27 ABRIL 2018.
- [3] ISEM, «ACCIDENTE EN LA MINA RIO TURBIO,» *FALLECIMIENTO DE 14 MINEROS EN LA MINERA RIO TURBIO*, 14 JUNIO 2004.
- [4] A. F. S. RAZO, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL CON UN SISTEMA DE SENSORES INTELIGENTES PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN TUBERÍAS,» LIMA, 2020.
- [5] ABB, «ABB lanza servicio digital de monitoreo de condición para fajas transportadoras. Recuperado de,» 2020, [En línea]. Available: <https://tecnologiaminera.com/actualidad/abb-lanza-servicio-digital-de-monitoreo-de-condicion-para-fajas-transportadoras-1626842227>.
- [6] Aicad Business School, «El impacto de la robótica industrial en el mundo laboral.,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.aicad.es/el-impacto-de-la-robotica-industrial-en-el-mundo-laboral>.
- [7] H.-j. ZHONG, Z.-w. LING, C.-j. MIAO, W.-c. GUO y P. TANG, «A New Robot-Based System for In-Pipe Ultrasonic Inspection of Pressure Pipelines,» *Far East NDT New Technology and Application Forum*, 2017.
- [8] V. R. Barrientos Sotelo, J. R. García Sánchez y R. Silva Ortigoza, «Robots móviles: evolución y estado del arte. Polibits, 35, 12-17.,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/4026/402640448003.pdf>.
- [9] R. y. N. I. SIEGWART, «"Locomotion". Introduction to mobile robots. Massachusetts. The MIT Press,» 2004.
- [10] R. y. N. I. SIEGWART, «"Mobile Robot Kinematics". Introduction to mobile robots. Massachusetts: The MIT,» 2004.
- [11] X. Z. Z. J. F. G. Z. W. J. Xiangang Cao, «Research on the monitoring system of belt conveyor based on suspension,» *IEEE*, 2018.

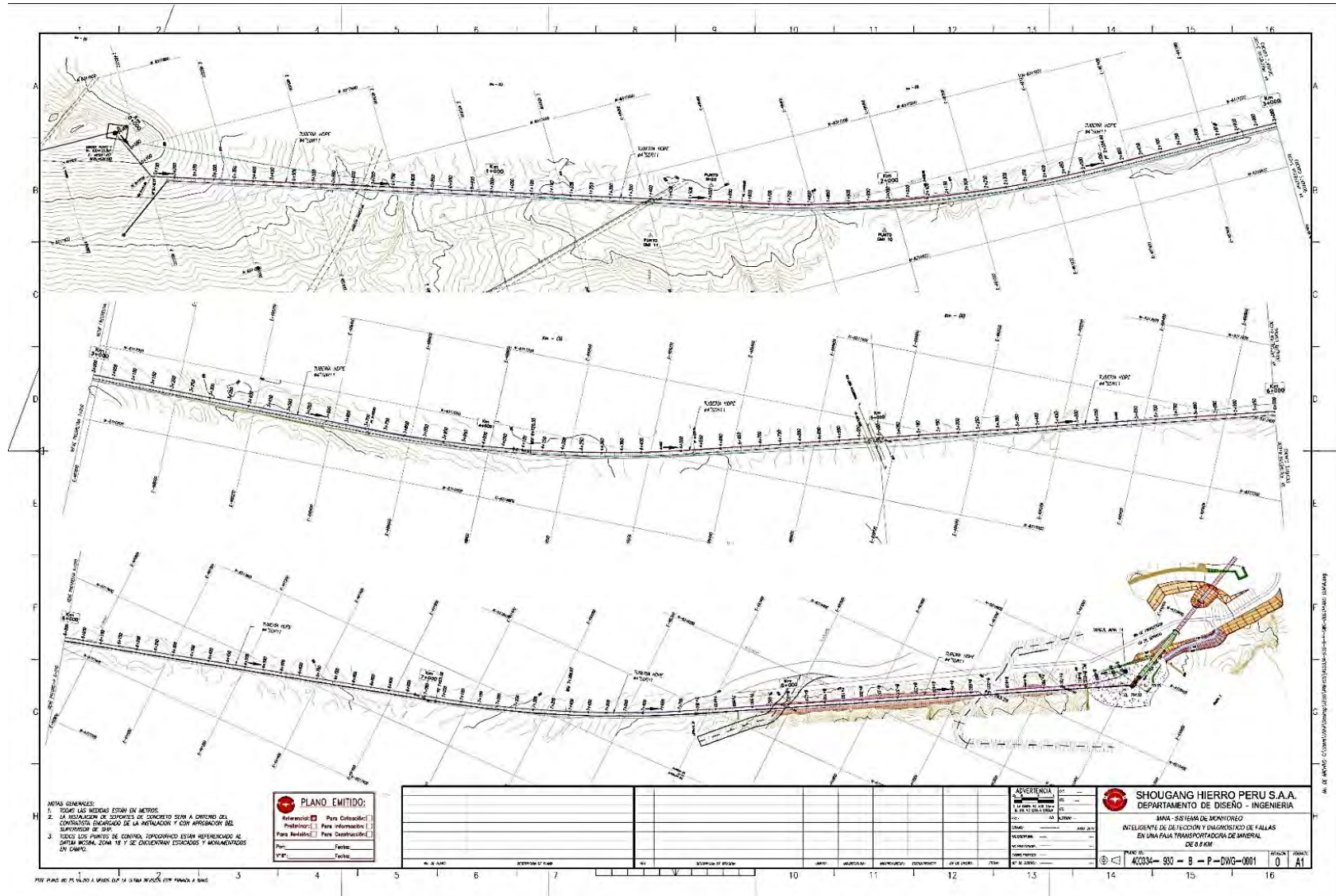
- [12] HIKVISION, «DS-2DE2A404IW-DE3,» [En línea]. Available: [https://www.hikvision.com/es-la/Products/PTZ/DE-line-Network-PTZ/4-Megapixelseries/IR/DS-2DE2A204IW-DE3\(2.8-12MM\)](https://www.hikvision.com/es-la/Products/PTZ/DE-line-Network-PTZ/4-Megapixelseries/IR/DS-2DE2A204IW-DE3(2.8-12MM)) .
- [13] I. REALSENSE, «Beginner's guide to depth.,» [En línea]. Available: <https://www.intelrealsense.com/beginners-guide-to-depth/>.
- [14] R. X. X. R. Zhu Y, « Research on fault monitoring and controlling system of main belt conveyor in coal mine,» *China Coal*, pp. 40(4):73-75, 2014.
- [15] L. C.-g. L. M. LI Ge, «Accident Analysis of Belt Conveyor Used in Coal Mine and Its Protective Measures,» *China Safety Science Journal*, pp. 140-144+148, 2006.
- [16] C. Y. Y. C. Y. F. Yu ShuZheng, «Analysis and Treatment of Belt Type Conveyor Fault,» *Coal Mine Machinery*, pp. 282-284, 2012.
- [17] Y. Y. W. F. Wu X L, «Probing into Technology Improvement of Coal Mine Safely Monitoring and Controlling System Underground,» *Safety in Coal Mines*, pp. 109-111, 2009.
- [18] Y. W. J. Z. X. H. Ma H W, « Monitoring and warning system of belt conveyor based on infrared thermography,» *Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis*, pp. 213-219+396, 2016.
- [19] J. Z. W. C. Cao X, «. Kinematics simulation of environmental parameter monitor robot used in coalmine underground,» *International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence. IEEE*, pp. 576-581, 2016.
- [20] J. Zihao, «Design of Mine Suspended Inspection Robot,» *Xi'an University of Science and Technology*, 2017.
- [21] X. Z. Z. Z. J. F. G. Z. W. J. Xiangang Cao, «Research on the monitoring system of belt conveyor based on suspension,» *School of mechanical engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xian*, pp. 710-054, 2018.
- [22] Z. Ming-hui, «Design of Patrol Robot System for Mining Belt Conveyor,» *China Coal Research Institute Shanghai* , 2018.
- [23] S. K. a. G. A. K. N. Agmon, «Multi-robot perimeter patrol in adversarial settings,» *Of the Intl.Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2339-2345, 2008.
- [24] N. Agmon, «On events in multi-robot patrol in adversarial environments,» *Of the Intl. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 591-598, 2010.
- [25] Wursth, «The conception and construction of a modular robot systems,» *Industrial Robotics. C. Belgium*, pp. 37-44, 1986.

- [26] F. Zhao, «Application and Standardization Trend of Maintenance and Inspection Robot(MIR) in Nuclear Power Station,» *Academic Exchange Information Centre(China).Proceedings of The 2017 3rd International Symposium on Mechatronics and Industrial informatics(ISMII 2017)[C].AEIC Academic Exchange Information Centre(China), 2017.*
- [27] S. Gopel W. Schierbaum KD, «Current status and future trends,» de *Sensors*, 1995, pp. 1-12.
- [28] S. J. J. R. Q. Wang T J, «Design and analysis of missing miner searching robot,» de *ICMIT 2005: Control System and Robotics, Proceedings of SPIE*, 2005, pp. 1-5.
- [29] C. H. L, «The study and design of coal cleaning plant inspection Robot,» de *China university of mining and technology*, 2014.
- [30] L. Y, «Theoretical and Experimental Study on Characteristic of Wheel rail Contact and Damage Factors of Rail,» *Lanzhou Jiaotong University*, 2016.
- [31] Z. X. a. M. H. Yang Wenjuan, «An Inspection Robot using Infrared Thermography for Belt Conveyor,» *School of Mechanical Engineering, Xi'an University of Science and Technology*, 2016.
- [32] J. R. Smith y P. M. González, *Modelado Dinámico de Sistemas de Transporte Continuo: Aplicaciones en Fajas Transportadoras.*, Editorial Ingeniería y Sistemas con ISBN 978-1-2345-6789-0., 2022.
- [33] L. M. González y J. P. Ruiz, *Análisis de la Tensión y Dinámica en Fajas Transportadoras para la Industria Minera. Revista de Ingeniería de Procesos*, 18(2), 45–67., <https://doi.org/10.1234/rip.2023.04567>, 2023.
- [34] . J. L. Pérez y . R. F. Sánchez, «Análisis de la Potencia Requerida en Fajas Transportadoras de Carga Pesada. Revista de Ingeniería Mecánica y Control de Procesos, 12(3), 54–78.,» [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1234/rimcp.2022.54321>.
- [35] . L. F. Pérez y M. A. García, *Desarrollo de un Sistema de Monitoreo y Detección de Fallas en Fajas Transportadoras Basado en Sensores Inteligentes*, Tesis de Maestría en Ingeniería de Control y Automatización, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)., 2023.
- [36] . J. P. Martínez y D. F. Ramírez, , *Sistema de Detección de Fallas en Fajas Transportadoras con Monitoreo Predictivo*. Tesis de Maestría en Ingeniería de Control y Automatización, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)., 2023.
- [37] R. B. F. L. J. M. a. X. R. D. Ponsa, «Quality control of safety belts by machine vision inspection for real-time production,» *Optical Engineering*, pp. 1114-1120, 2003.

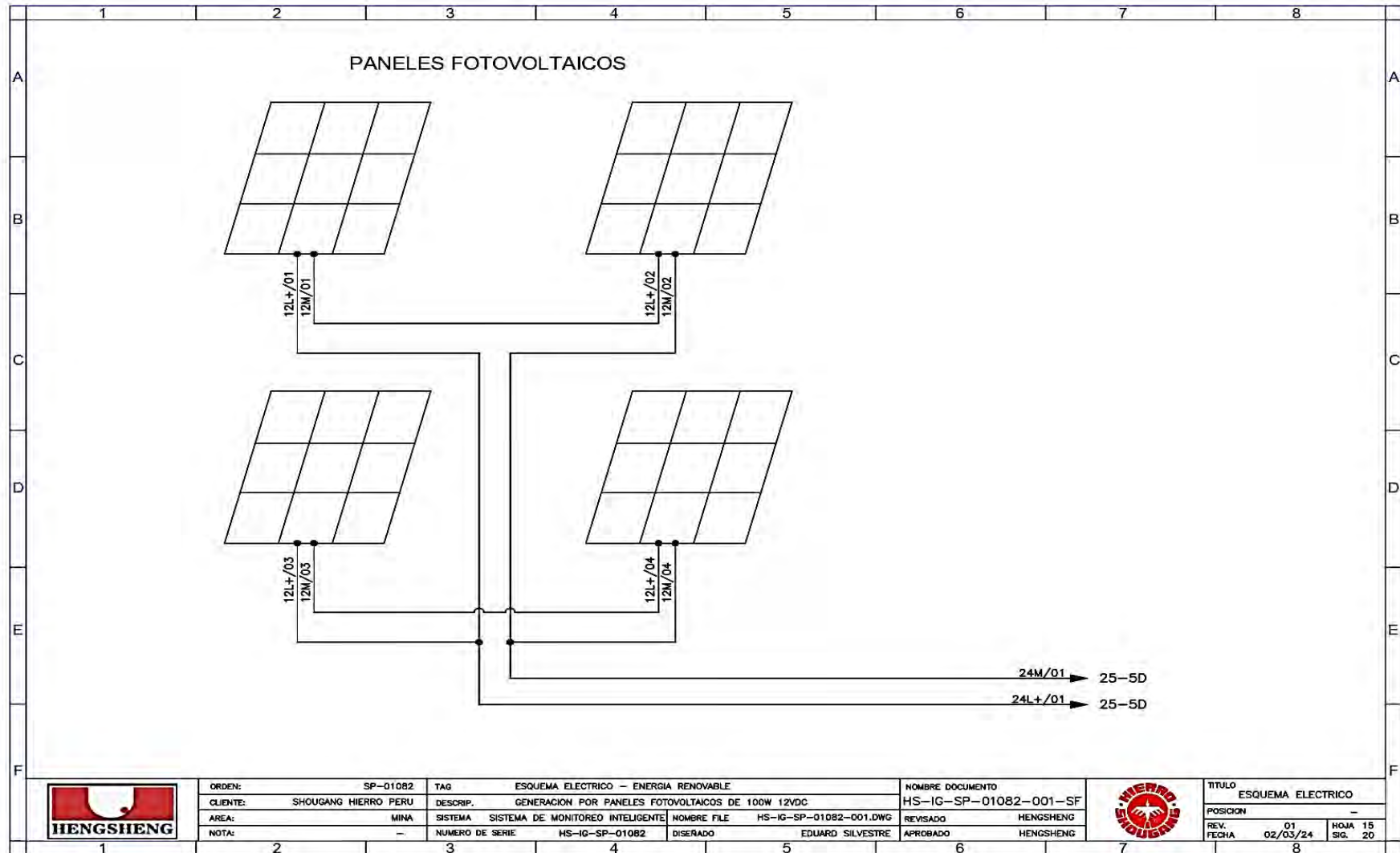
- [38] J. G. W. L. W. a. C. L. W. Q. L. Zeng, «The research of coal mine conveyor belt tearing based on digital image processing,» *American Journal of Engineering and Technology Research*, pp. 1621-1625, 2011.
- [39] D. J. S. T. E. P. B. B. T. E. C. C. Fromme, «Conveyor belt inspection system and method,» Patente WO03059789A2, 2003.
- [40] C. Y. M. X. G. L. a. X. Z. M. Y. L. Yang, «On-line conveyor belts inspection based on machine vision,» *Optik*, pp. 5803-5807, 2014.



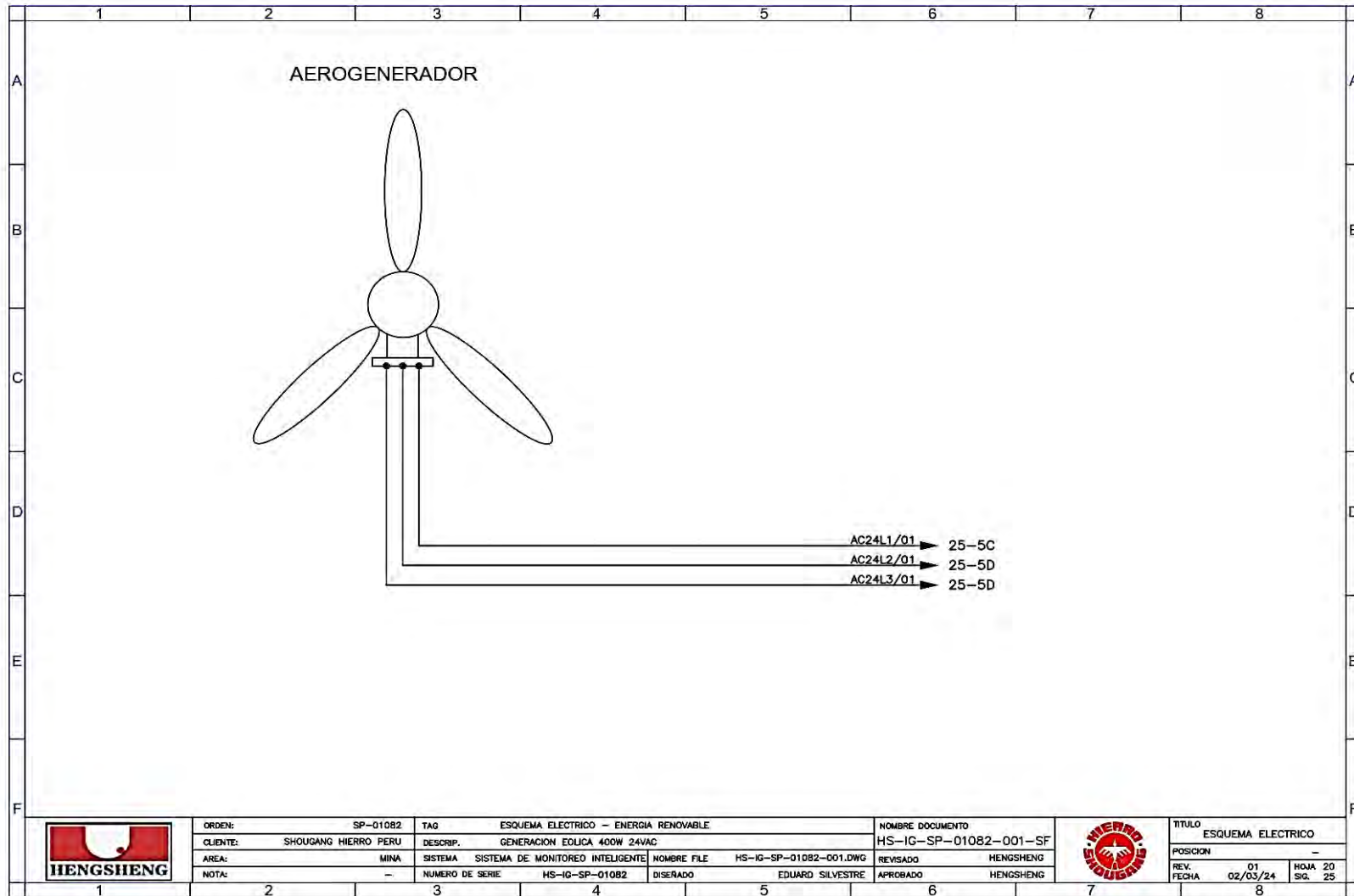
Anexo 1: Plano Topografico de la Faja Transportadora de Mineral 014003



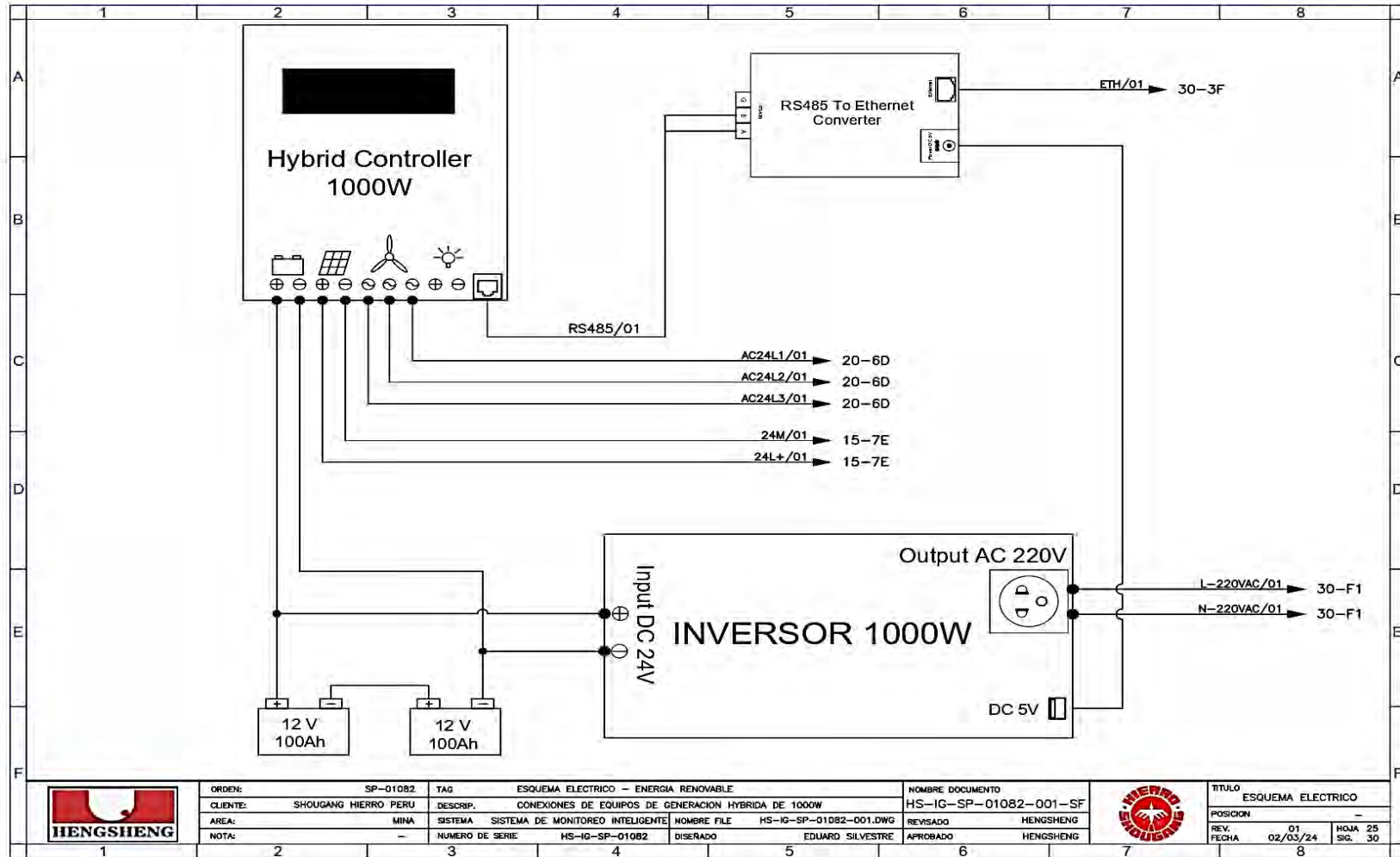
Anexo 2: Esquema Eléctrico de Energía Renovable-Paneles Fotovoltaicos 100W, 12VDC



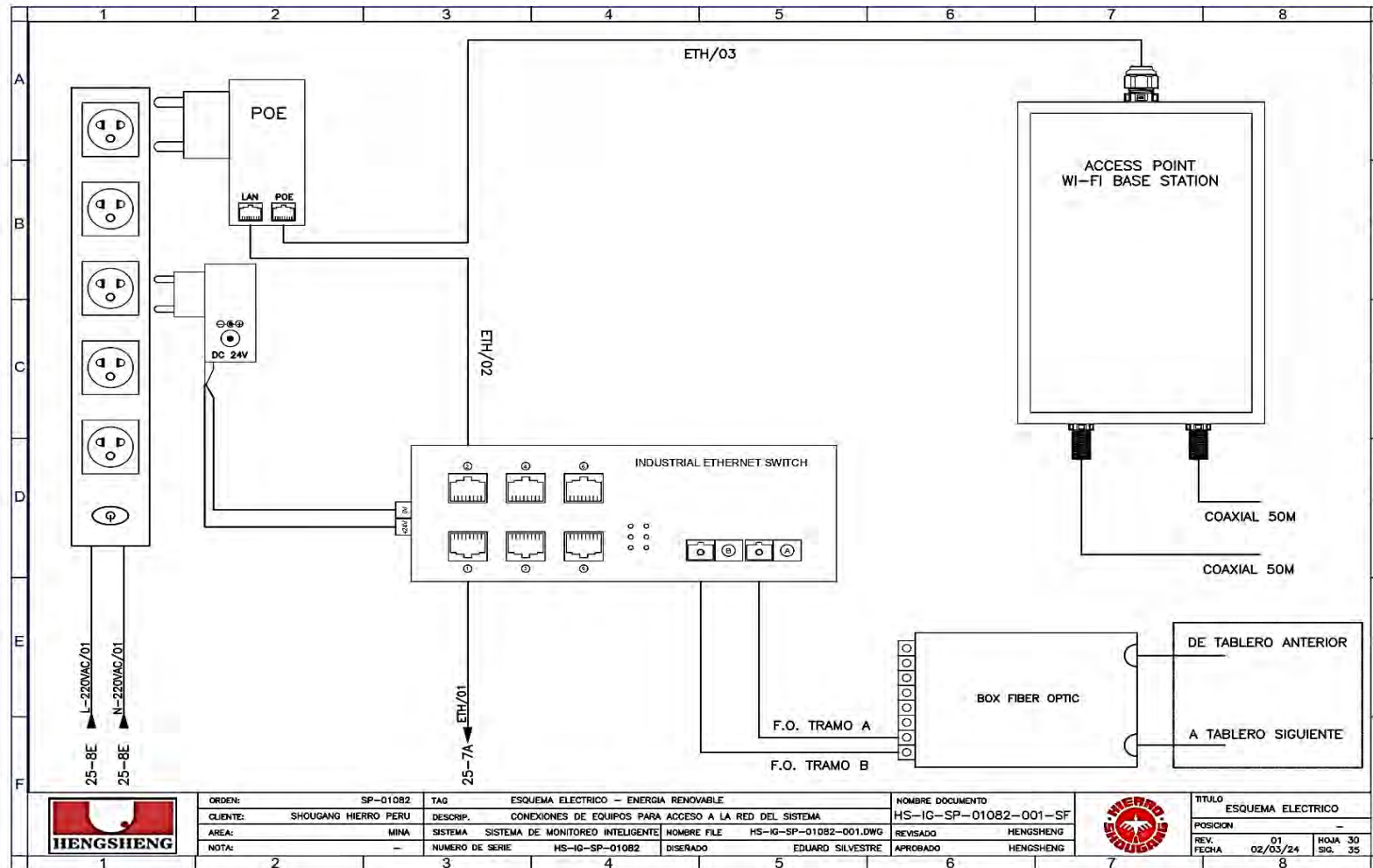
Anexo 3: Esquema Eléctrico de Energía Renovable-Generación Eólica 400W, 24VAC



Anexo 4: Esquema Eléctrico de Energía Renovable-Conexiones de Equipos de Generación Híbrida 1000W



Anexo 5: Esquema Eléctrico de energía Renovable-Para Acceso a la Red Del Sistema



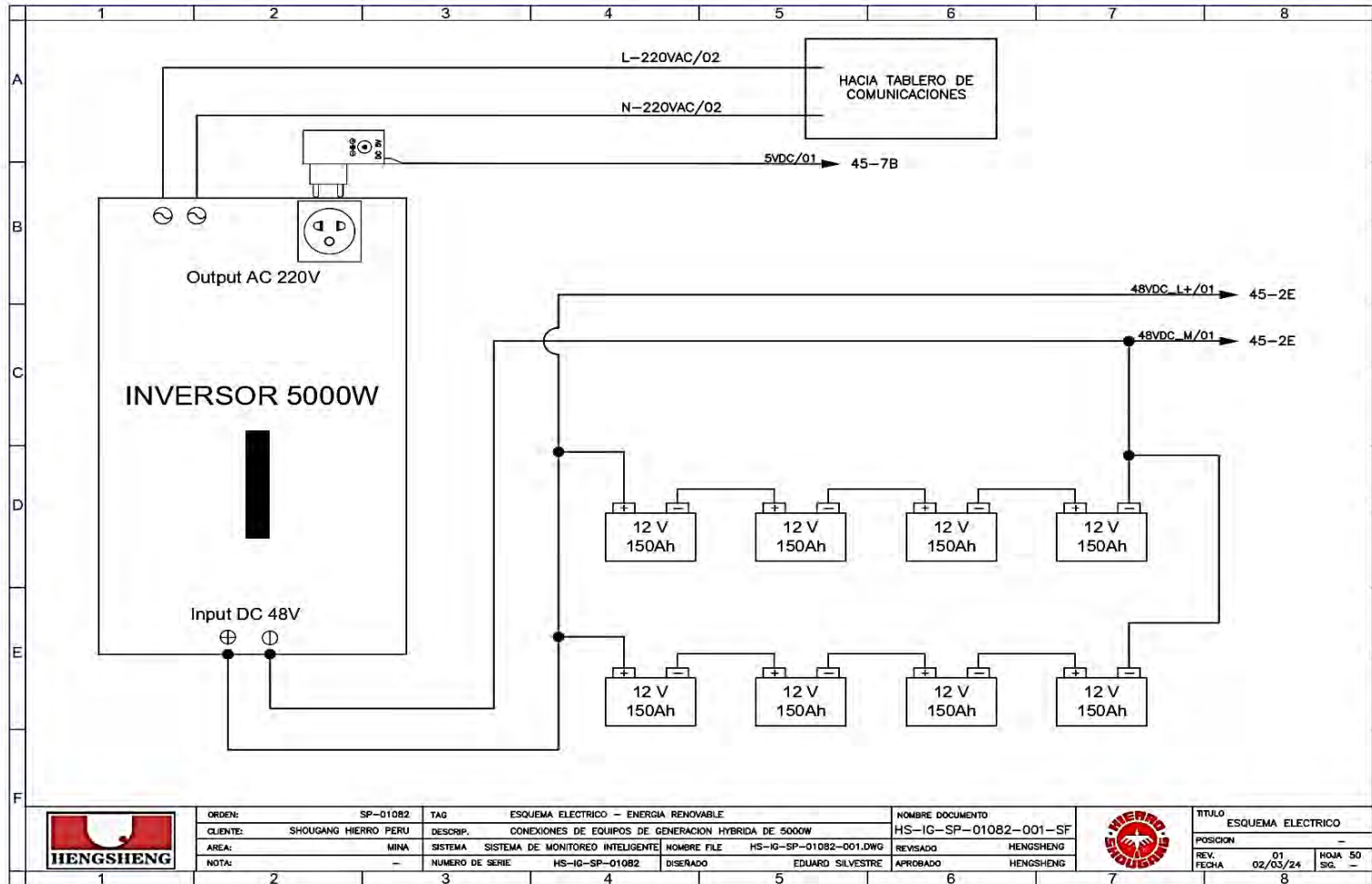
ORDEN:	SP-01082	TAG	ESQUEMA ELECTRICO - ENERGIA RENOVABLE	
CLIENTE:	SHOUGANG HIERRO PERU	DESCRIP:	CONEXIONES DE EQUIPOS PARA ACCESO A LA RED DEL SISTEMA	
AREA:	MINA	SISTEMA	SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE	NOMBRE FILE HS-IG-SP-01082-001.DWG
NOTA:	-	NUMERO DE SERIE	HS-IG-SP-01082	DISEÑADO EDUARDO SILVESTRE

NOMBRE DOCUMENTO	HS-IG-SP-01082-001-SF
REVISADO	HENGSHENG
APROBADO	HENGSHENG

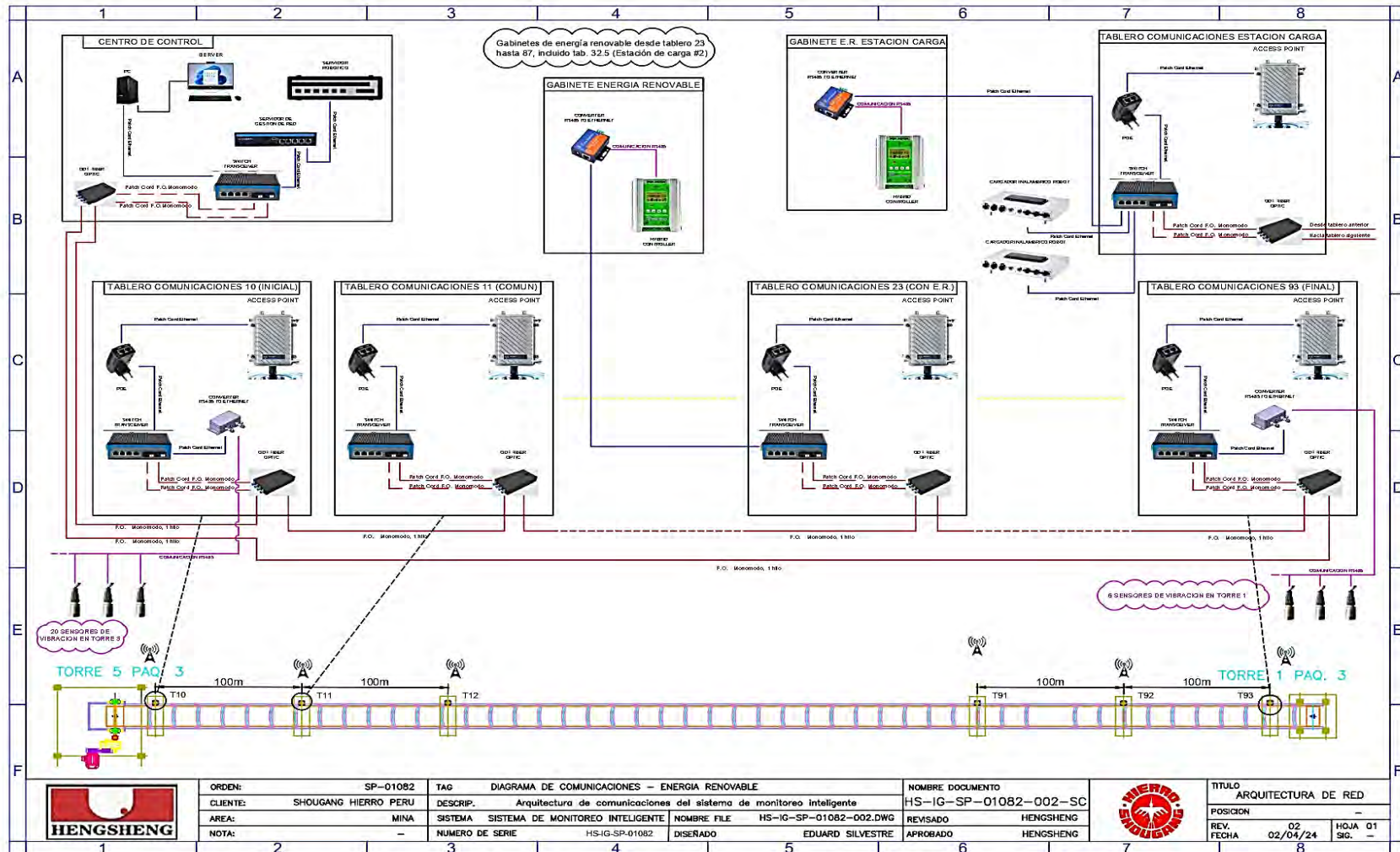


TITULO	ESQUEMA ELECTRICO	
POSICION	-	
REV.	01	HOJA 30
FECHA	02/03/24	SIG. 35

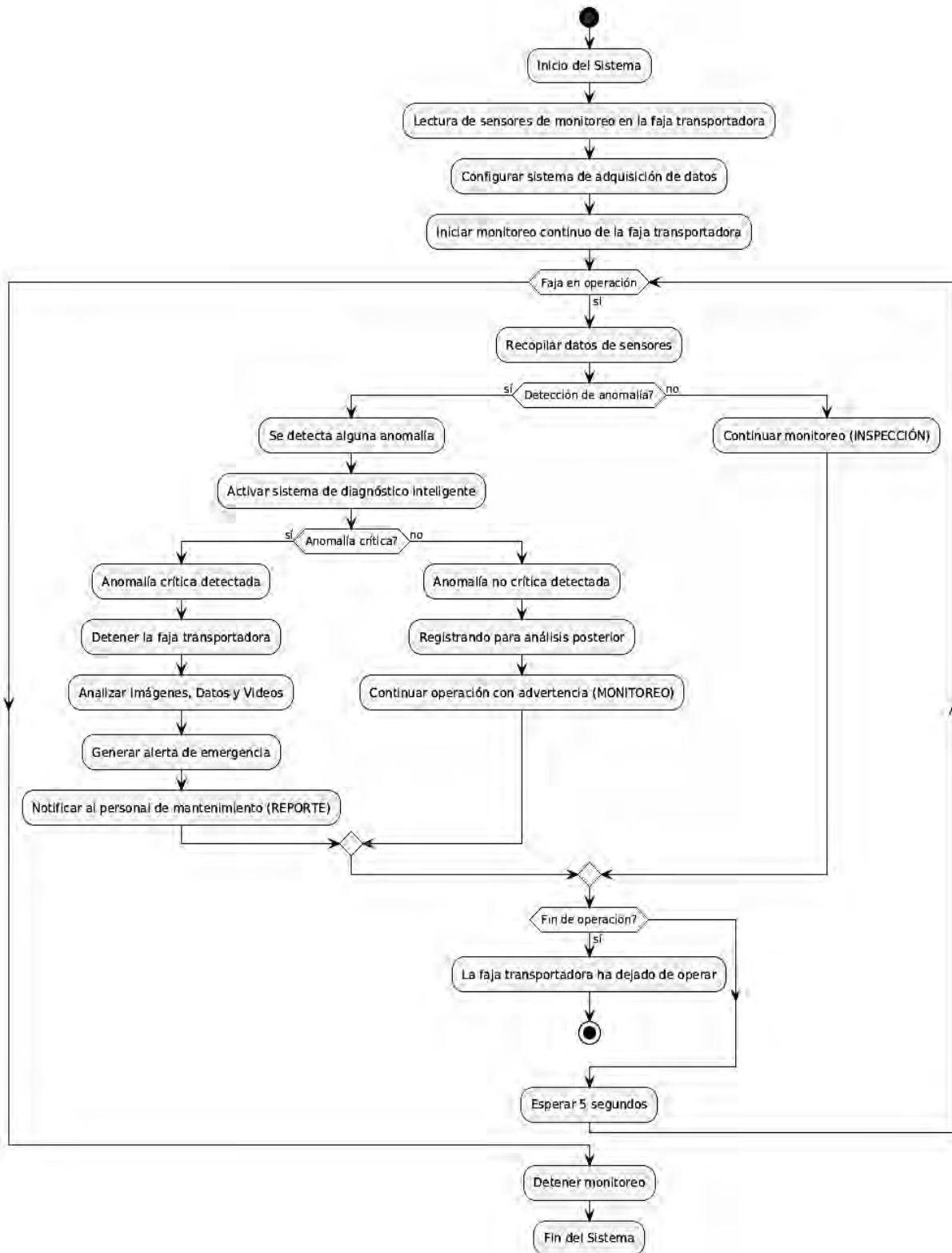
Anexo 6: Esquema Eléctrico de energía Renovable-Conexiones de Equipos de Generación Híbrida 5000W



Anexo 7: Esquema Eléctrico de energía Renovable-Arquitectura de Comunicación del Sistema de Monitoreo Inteligente de Detección y Diagnóstico de Fall



Anexo 8 Algoritmo Implementación y Operatividad de un Sistema de Monitoreo Inteligente de Detección y Diagnóstico de Fallas en una Faja Transportadora de Mineral



Anexo 9 Código de Simulación del Sistema de Monitoreo y Detección de Fallas en la Faja Transportadora

```
import random
import time
from datetime import datetime, timedelta

# Definición de la clase Sensor
class Sensor:
    def __init__(self, tipo, ubicacion, umbrales):
        self.tipo = tipo
        self.ubicacion = ubicacion
        self.umbrales = umbrales

    def leer_dato(self):
        if self.tipo == 'temperatura':
            return random.uniform(20, 120) # Simulación de temperatura en grados Celsius
        elif self.tipo == 'vibracion':
            return random.uniform(0, 10) # Simulación de nivel de vibración en mm/s
        elif self.tipo == 'sonido':
            return random.uniform(0, 100) # Simulación de nivel de sonido en decibelios
        elif self.tipo == 'humo':
            return random.uniform(0, 1) # Simulación de presencia de humo (0 o 1)
        elif self.tipo == 'tension':
            return random.uniform(300, 600) # Simulación de tensión en kN
        elif self.tipo == 'desalineamiento':
            return random.uniform(0, 1) # Simulación de desalineamiento (0 o 1)
        elif self.tipo == 'velocidad':
            return random.uniform(3, 5) # Simulación de velocidad en m/s

# Definición de la clase Camara
class Camara:
    def __init__(self, tipo):
```

```

self.tipo = tipo
self.grabacion_almacenada_hasta = datetime.now() + timedelta(weeks=2)

def grabar_video(self):
    print(f'Grabando video con cámara {self.tipo}.')
# Definición de la clase FajaTransportadora
class FajaTransportadora:
    def __init__(self, longitud_km):
        self.longitud_km = longitud_km
        self.sensores = []
        self.camaras = []
        self.inicializar_sensores_y_camaras()

    def inicializar_sensores_y_camaras(self):
        # Añadiendo cámaras
        self.camaras.append(Camara('video'))
        for _ in range(3):
            self.camaras.append(Camara('termográfica'))

        # Umbrales para sensores
        umbrales_temperatura = {"satisfactorio": 50, "inspección": 90, "parar": 100}
        umbrales_vibracion = {"satisfactorio": 4.4, "inspección": 7.1, "parar": 7.2}
        umbrales_tension = {"arranque": 580, "parada": 360, "operación_min": 330,
"operación_max": 370}

        # Añadiendo sensores
        self.sensores.append(Sensor('sonido', 'general', None))
        self.sensores.append(Sensor('humo', 'general', None))

        for _ in range(24):
            self.sensores.append(Sensor('temperatura', 'general', umbrales_temperatura))
        for _ in range(24):
            self.sensores.append(Sensor('vibracion', 'general', umbrales_vibracion))

```

```

for _ in range(2):
    self.sensores.append(Sensor('tension', 'general', umbrales_tension))
for _ in range(21):
    self.sensores.append(Sensor('desalineamiento', 'lado A', None))
for _ in range(21):
    self.sensores.append(Sensor('desalineamiento', 'lado B', None))

for _ in range(4):
    self.sensores.append(Sensor('velocidad', 'general', None))

def monitorear(self):
    for sensor in self.sensores:
        dato = sensor.leer_dato()
        falla = self.detectar_falla(sensor.tipo, dato, sensor.umbrales)
        if falla:
            self.generar_alerta(sensor.ubicacion, sensor.tipo, dato, falla)

def detectar_falla(self, tipo, dato, umbrales):
    if tipo == 'temperatura':
        if dato >= umbrales['parar']:
            return "parar"
        elif dato >= umbrales['inspección']:
            return "inspección"
    elif tipo == 'vibracion':
        if dato >= umbrales['parar']:
            return "parar"
        elif dato >= umbrales['inspección']:
            return "inspección"
    elif tipo == 'tension':
        if dato >= umbrales['arranque'] or dato <= umbrales['parada']:
            return "parar"
    return None

def generar_alerta(self, ubicacion, tipo, dato, nivel_alerta):

```

```
print(f'ALERTA: {nivel_alerta.upper()} - {tipo.capitalize()} en {ubicacion} con  
valor {dato}')
```

```
def diagnosticar_problema(self, tipo, dato):
```

```
    if tipo == 'vibracion':
```

```
        if dato > 9.0:
```

```
            print("Acción: Detener la faja y realizar intervención de faja.")
```

```
        elif dato > 8.0:
```

```
            print("Acción: Inspección de faja necesaria.")
```

```
        else:
```

```
            print("Acción: Monitorear y registrar datos.")
```

```
    elif tipo == 'temperatura':
```

```
        if dato > 90:
```

```
            print("Acción: Cambio de polea necesario.")
```

```
        elif dato > 85:
```

```
            print("Acción: Cambio de polín necesario.")
```

```
        else:
```

```
            print("Acción: Monitorear y registrar datos.")
```

```
def main():
```

```
    print('Inicio del Sistema')
```

```
    faja_transportadora = FajaTransportadora(longitud_km=8.8) # Cambié aquí el  
nombre de la variable
```

```
    print('Lectura de sensores de monitoreo en la Faja Transportadora')
```

```
    print('Configurar sistema de adquisición de datos')
```

```
    print('Iniciar monitoreo continuo de la Faja Transportadora')
```

```
    faja_en_operacion = True
```

```
    while faja_en_operacion:
```

```
        print('Recopilar datos de sensores')
```

```
        faja_transportadora.monitorear()
```

```
    # Simulación de detección de anomalía
```

```

if random.random() < 0.1: # Probabilidad de detección de anomalía
    print('Se detecta alguna anomalía')
    print('Activar sistema de diagnóstico inteligente')

if random.random() < 0.5: # Probabilidad de que la anomalía sea crítica
    print('Anomalía crítica detectada')
    print('Detener la Faja Transportadora')
    print('Analizar Imágenes, Datos y Videos')
    print('Generar alerta de emergencia')
    print('Notificar al personal de mantenimiento (REPORTE)')
else:
    print('Anomalía no crítica detectada, registrando para análisis posterior')
    print('Continuar operación con advertencia (MONITOREO)')
else:
    print('Continuar monitoreo (INSPECCIÓN)')

# Simulación de fin de operación de la Faja Transportadora
if random.random() < 0.05: # Probabilidad de fin de operación de la Faja
Transportadora
    print('La Faja Transportadora ha dejado de operar')
    faja_en_operacion = False

time.sleep(5) # Simulación del tiempo entre lecturas

print('Detener monitoreo')
print('Fin del Sistema')

if __name__ == "__main__":
    main()

```