

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS
VIBRACIONAL PARA EL CONTROL DE LOS
MÓDULOS DE PESAJE EN FAJAS
TRANSPORTADORAS EN LA INDUSTRIA MINERA DE
LA EMPRESA RTS AUTOMATION S. A. C.”**

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título

profesional de:

Ingeniero Mecatrónico

Autor:

Bell Jhon Quispe Ccolque

Asesor:

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva

<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

Lima - Perú

2024

Informe de Similitud



Página 2 of 117 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega tm:oid::1:3018623771

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

► Bibliografía

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
0 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

Con el corazón rebosante de orgullo y profunda gratitud, dedico esta tesis a ustedes mis queridos padres, Benedicto Quispe Mamani y Juana Ccolque Hualpa, por su esfuerzo y dedicación para brindarme un estudio, han sido la fuerza impulsora detrás de mis logros y la Luz que ha iluminado mi camino hacia el éxito.

Agradecimiento

A la Universidad Peruana del Norte (UPN) y a la empresa RTS AUTOMATION SAC, expreso mi más profunda gratitud por la formación académica, las oportunidades profesionales y las experiencias enriquecedoras que me han brindado. Su apoyo, confianza y guía han sido pilares fundamentales en mi crecimiento como profesional y como persona. Agradezco profundamente a mis profesores, compañeros, mentores y a todos quienes han contribuido a mi éxito.

Tabla de contenidos

Informe de Similitud.....	2
Dedicatoria	3
Agradecimiento	4
Tabla de contenidos	5
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Índice de ecuaciones	10
RESUMEN EJECUTIVO	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad Problemática.....	21
1.2. Formulación del problema.....	24
1.2.1. Problema General.....	24
1.3. Justificación.....	24
1.4. Objetivos.....	25
1.4.1. Objetivo General.....	25
1.4.2. Objetivo Específicos.....	25
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	26
2.1. Antecedentes	26
2.2. Bases Teóricas	32
2.2.1. Faja Transportadora	32
2.2.2. Componentes de la faja transportadora	33
2.2.3. Sistemas de Pesaje:	35
2.2.4. Ajustes de Zero y Span	36
2.2.5. Análisis vibracional.....	38
2.3. Limitaciones	39
2.4. Análisis de la situación de la Empresa	39
2.4.1. Antes de la implementación	39
2.4.2. Aplicación de las herramientas Ishikawa	48
2.4.3. Implementación del diseño del proyecto	49
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	60

3.1. Descripción de la integración del Bachiller en el proyecto.	60
3.2. Matriz de involucrados del proyecto.....	62
3.3. Funciones de desempeño.....	63
3.3.1. En la empresa.....	63
3.3.2. En el proyecto.....	63
3.4. Proceso para la ejecución del proyecto	64
3.4.1. Desarrollo de estrategia y metodología	64
3.5. Diagnostico	65
3.5.1 Diagnóstico del sistema de medición de módulos de pesaje	65
3.6. Identificación del problema.....	65
3.7. Planificación y Desarrollo de Objetivos	67
3.7.1. Objetivo 1: Analizar las consideraciones mecánicas óptimas para un análisis de vibraciones.	67
3.7.2. Objetivo 2: Evaluar el impacto del Sistema de Análisis Vibracional en la Precisión del Pesaje, comparando resultados antes de su Implementación.....	83
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	90
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
REFERENCIAS.....	100
ANEXOS	103

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Principales proyectos de la empresa</i>	16
Tabla 2	<i>Principales industrias que atiende la empresa RTS Automation Sac.</i>	18
Tabla 3	<i>Componentes de la faja transportadora</i>	33
Tabla 4	<i>Fallas funcionales recurrentes de las fajas transportadoras</i>	38
Tabla 5	<i>Indicadores del análisis de vibración</i>	51
Tabla 6	<i>Propuesta de solución</i>	65
Tabla 7	<i>Prueba de inyección de fallos (PIF)</i>	77
Tabla 8	<i>Datos de inicialización para sistema pivotante.</i>	80
Tabla 9	<i>Errores encontrados en las modulo</i>	85
Tabla 10	<i>Mantenimiento correctivo</i>	89
Tabla 11	<i>Resultados del mantenimiento mecánico.</i>	90
Tabla 12	<i>Inyección de pruebas de fallos en módulo 10-20-1 Ramsey</i>	92
Tabla 13	<i>Cálculos de pesaje.</i>	93

Índice de figuras

Figura 1	<i>Ubicación de la oficina RTS Automation S.A.C.</i>	13
Figura 2	<i>Estructura organizativa de sus servicios</i>	14
Figura 3	<i>Ajuste del zero y span</i>	37
Figura 4	<i>Servicios de automatización.</i>	41
Figura 5	<i>Servicios de proyectos eléctricos</i>	42
Figura 6	<i>Servicios de operaciones de válvulas</i>	43
Figura 7	<i>Servicios de operaciones de equipos de instrumentación</i>	44
Figura 8	<i>Instalación integral de cadena PATRON y puesta en operación de balanzas de fajas transportadoras.</i>	45
Figura 9	<i>Balanza de Faja transportadora Merrick</i>	47
Figura 10	<i>Diagrama de Ishikawa</i>	49
Figura 11	<i>Espectros en cascada con identificación de fallos y posintervención</i>	54
Figura 12	<i>Historial de datos</i>	57
Figura 13	<i>Árbol de activos</i>	58
Figura 14	<i>Participantes en el proyecto</i>	62
Figura 15	<i>Diagrama Ishikawa – Descalibraciones de balanza dinámica.</i>	66
Figura 16	<i>Contacto correcto de la faja transportadora</i>	68
Figura 17	<i>Weigth Span</i>	69
Figura 18	<i>Nivelación de polines</i>	71
Figura 19	<i>Vista de perfil de polines.</i>	71
Figura 20	<i>Alineación de polines de faja de Pebbles.</i>	72
Figura 21	<i>Centrado de polines</i>	73
Figura 22	<i>Modelo 475</i>	74
Figura 23	<i>Ubicación de sensor de vibración.</i>	74
Figura 24	<i>Modelos de Balanzas Ramsey</i>	75
Figura 25	<i>Componentes del módulo de pesaje Ramsey modelo 10-20-1.</i>	76
Figura 26	<i>Consideraciones mecánicas y distancias del módulo 10-20-1 Ramsey.</i>	76
Figura 27	<i>Módulo de pesaje de modelo 10-20-1 en planta concentradora.</i>	79
Figura 28	<i>Fuerzas que intervienen.</i>	79
Figura 29	<i>Primer porcentaje de error encontrado.</i>	84

Figura 30	<i>Tonelaje acumulado para error de -32.78%</i>	84
Figura 31	<i>Error en el balanceo de celdas.</i>	86
Figura 32	<i>Cambio de celdas de carga.</i>	87
Figura 33	<i>Valor en vacío de las celdas de carga nuevas.</i>	88
Figura 34	<i>Vibraciones en aceleración antes del mantenimiento mecánico.</i>	89
Figura 35	<i>Tipo de calibración (Pesas Patrón).</i>	91
Figura 36	<i>Posición de sensores en módulos Merrick y Ramsey.</i>	91
Figura 37	<i>ConCal</i>	93
Figura 38	<i>Contraste de vibraciones PUNTO SPAN</i>	94
Figura 39	<i>Calibración punto Zero</i>	95
Figura 40	<i>Calibración punto Span</i>	96
Figura 41	<i>Porcentaje de error contrastado.</i>	97

Índice de ecuaciones

<i>Ecuación 1.</i>	81
<i>Ecuación 2.</i>	81
<i>Ecuación 3.</i>	81
<i>Ecuación 4.</i>	81
<i>Ecuación 5.</i>	81
<i>Ecuación 6.</i>	82
<i>Ecuación 7.</i>	82
<i>Ecuación 8.</i>	83
<i>Ecuación 9.</i>	83
<i>Ecuación 10.</i>	87
<i>Ecuación 11.</i>	96

RESUMEN EJECUTIVO

La industria minera es un pilar fundamental de la economía global. En este sector, la precisión en el pesaje de materiales es crucial para garantizar la calidad del producto final y minimizar las pérdidas económicas. Sin embargo, la descalibración de los módulos de pesaje en las fajas transportadoras tras su mantenimiento y calibración de Zero y Span, genera errores significativos en la medición del peso. Para afrontar este desafío, se propone un proyecto innovador que utiliza las soluciones de en el monitoreo de vibraciones en tiempo real para fajas transportadoras. El proyecto se basa en el análisis de la vibración de polines y bastidores como indicador clave de descalibración, considerando un margen de error de $\pm 0.1\%$ según la OIML. Se propone un sistema de control monitoreado para detectar y poder corregir descalibraciones en tiempo real, reduciendo las pérdidas de material poscalibración. La implementación de este diseño, junto con la amplia experiencia de RTS Automation SAC en calibración y mantenimiento de balanzas dinámicas, permitirá a la industria minera mejorar la precisión y eficiencia del proceso de molienda en área seca optimizando la calidad del producto final, maximizando la rentabilidad.

Palabras clave: Mantenimiento, modulo pesaje, precisión, descalibración, vibración, control, rentabilidad, industria minera, RTS Automation S.A.C.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

RTS AUTOMATION SAC, empresa peruana con más de 26 años de experiencia en el sector minero, petrolero y gas, se especializa en ofrecer soluciones eficientes y personalizadas para optimizar procesos y reducir costos de mantenimiento. Ofrece soluciones en servicios de mantenimiento, instrumentación, sistemas de control, válvulas, densímetros nucleares, calibración de balanza estáticas y dinámicas en fajas transportadoras. La empresa está conformada por un equipo interdisciplinario de profesionales calificados y con amplia experiencia en la industria minera. Asimismo, está comprometida con la satisfacción de sus clientes, brindando soluciones personalizadas específicas y un servicio de calidad, donde se destaca por su enfoque innovador, desarrollando soluciones tecnológicas de vanguardia para el control y calibración. Teniendo el reconocimiento y la confiabilidad de sus clientes.

- **Misión:**

La empresa pone a disposición de sus clientes soluciones tecnológicas oportunas, personalizadas y de alta calidad en el ámbito de la instrumentación, válvulas de control, automatización y tableros eléctricos. Su enfoque se basa en el amplio conocimiento y experiencia que los caracteriza, lo que permite fortalecer la confianza y cercanía con sus clientes.

- **Visión:**

La empresa se esfuerza por ser líder en cada una de sus actividades a nivel nacional, manteniendo sus valores fundamentales, fortaleciendo sus capacidades y

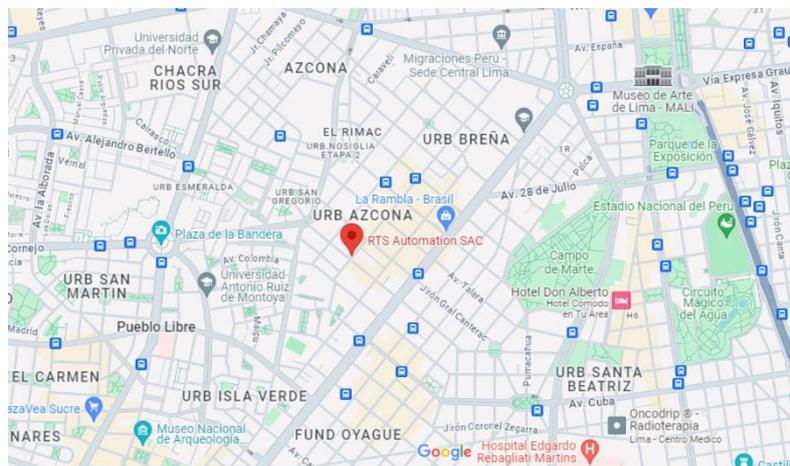
aprovechando su amplia experiencia para ofrecer soluciones tecnológicas de primera clase. Busca ser reconocida por sus clientes actuales, futuros clientes y las marcas que representa como la mejor alternativa, basándose en la calidad, la confiabilidad, el profesionalismo, la responsabilidad y la capacidad de adaptación a las necesidades del mercado.

- **Pilares:**
 - Calidad
 - Flexibilidad
 - Compromiso
 - Equipo Humano altamente calificado
 - Respaldo de marcas de reconocido prestigio

La empresa tiene su oficina principal en Jirón Huaraz 1882, Breña (Figura 1 referencial).

Figura 1

Ubicación de la oficina RTS Automation S.A.C.



Nota. Tomado de: Google Maps

- **Estructura organizativa de sus servicios**

En la Figura 2, se muestra la estructura organizativa de la empresa, destacando el área comercial, que se encarga de desplegar las estrategias de marketing, ventas, relaciones públicas y los esfuerzos para incrementar las ventas en el mercado a través de la planificación, ejecución y control. Asimismo, se evidencia el área de seguridad, cuya finalidad es velar por la salud y seguridad integral de los trabajadores. Por otro lado, la empresa cuenta con el área técnica, la complementa con el área administrativa que se encarga de su gestión y empleados.

Figura 2

Estructura organizativa de sus servicios



Fuente: Elaboración propia

Área Comercial

Elaboración de cotizaciones personalizadas para satisfacer necesidades específicas de cada cliente con seguimiento posventa.

Área Administrativa

Proporcionar apoyo administrativo, certificación y coordinación necesarias para las actividades que realizan.

Área Técnica

Equipo integrado por más de 18 colaboradores del personal de campo (entre ellos ingenieros y técnicos), encargados de llevar a cabo los servicios.

Área Seguridad

Equipo encargado de garantizar el cumplimiento de los procedimientos para un trabajo seguro en todas las actividades, ya sea en sedes o en las instalaciones de los clientes.

- **Proyectos**

Desde 2001 se realizaron proyectos de automatización con énfasis en la optimización de procesos. El personal conoce equipos y procesos, permitiendo proponer soluciones y estrategias de control. A continuación, en la (tabla 1) se presentan los principales proyectos en los que participó la empresa.

A continuación, se presentan en la tabla 1 los principales proyectos en los que participó la empresa.

Tabla 1

Principales proyectos de la empresa

Empresa	Proyecto
Minsur, 2021	Sistema de control de planta floculante y cal B-3
Hierro Perú, 2021	Sistema de supervisión Dry Cowing, Shougang
Sistema de supervisión de aguas aceitosas, 2020	Sistema de supervisión de aguas aceitosas
Sierra Antapite, 2020	Planta de molienda con molino lavador
Minera Condestable, 2019	Sistema de supervisión bombeo de agua
Minera Kolpa, 2019	Sistema de protección para molino
Minera Glencore - Iscaycruz, 2019	Actualización de sistema de control redundante de planta
Enel - Malacas, 2018	Sistema de supervisión de tanques Diesel
Exsa, 2018	Actualización DCS Planta Deni
Mnera Horizonte, 2018	Sistema de detección de fugas de relaves
Minas Buenaventura - Orcopampa, 2017	Actualización Sistema Scada, Cia
ABB Perú, 2016	Automatización Autoclave para transformadores
Nexa Resource - El Porvenir, 2016	Sistema de supervisión sensores de relaves

Fuente: Rts Automation Sac.

- **Proyectos**

A seguir se explica una descripción de los primeros proyectos de la empresa:

Proyecto: Automatización Planta de 2 Antapite

Cliente: Inversiones Minera de Sur S.A.

Año de Ejecución: 2001

En este proyecto se implementó el sistema de supervisión de todas las áreas de la planta de beneficio (chancado, molienda, conjuración, adsorción, desorción), se utilizó una red DID de PLC Quantum y una red TCP/IP el software de supervisión utilizado fue el monitor Pro V2 1.

Proyecto: Ampliación y Upgrade del sistema de Supervisión

Cliente: Inversiones Mineras del Sur S.A

Año de Ejecución: 2001

Debido a la ampliación de planta de beneficio se realizó una ampliación del sistema, con lo que también se actualizó el sistema existente con el Monitor Pro V7 0, con lo cual se llevó a cabo también un cambio de base de datos en DiviceNet IV a una base en MS SQL.

Proyecto. Sistema de Supervisión Uchucchacua

Cliente: Cía. De Minas Buenaventura S.A.A.

Año de ejecución: 2003

La unidad Minera Uchucchacua contaba desde el año 1998 con un sistema de supervisión para su molino SAG, este pequeño sistema SCADA fue actualizado a uno superior además de incluir en el sistema de supervisión no solo al molino SAG sino a sus áreas de molienda.

Proyecto: Sistema de Supervisión Merrill Crowe – Orcopampa

Cliente: Cía. De Minas Buenaventura S.A.A

Año de ejecución: 2003

La minera Orcopampa perteneciente a Compañía de Minas Buenaventura S.A.A tiene una planta Merrill Buenaventura S.A.A. y una planta Merrill Crowe para la

reparación del Oro de las aguas cianuradas. Se implementó un Sistema de Supervisión para controlar las diferentes variables del proceso.

- **Principales industrias**

Las principales industrias en el Perú como Petróleo, Energía, Gas y Minería son los que generan economía en el país.

En la tabla 2, se describen las principales industrias con las cuales trabaja la empresa como son: Energía, petróleo, gas, minería, metalurgia, pesca, cementos, siderúrgicas, pulpa, papel, química y petroquímica.

Tabla 2

Principales industrias que atiende la empresa RTS Automation Sac.

Industria	Relación industria con la empresa
Energía	Extensa selección de instrumentos diseñados para medir flujo, nivel, presión, temperatura y procesos en plantas de generación de energía.
Petróleo y Gas	Instrumentación y soluciones de medición integrales para la industria del petróleo y gas, que abarcan desde la medición en yacimientos hasta mejoras en la mezcla de productos refinados.
Minería y Metalurgia	Servicios integrales que abarcan desde la instrumentación de procesos críticos hasta sistemas completamente personalizados, desde el asesoramiento en ingeniería desde la fase de diseño hasta la implementación.
Pesca	Procesos fiables y consistentes, diseñados para satisfacer las necesidades de la industria pesquera.
Cementos	Servicios de tecnología avanzada que proporcionan mediciones precisas en todas las etapas, desde la extracción en la cantera hasta el almacenamiento de cemento.
Siderúrgicas	Instrumentación utilizada en la industria para medir variables como temperatura, presión, fuerza y caudal.

Pulpa y Papel	Extensa selección de instrumentos de proceso que incluyen transmisores de nivel aptos para ácidos y bases corrosivas.
Química – Petroquímica	Tenemos una amplia gama de productos que engloban casi todas las técnicas de medición tecnológica, diseñados especialmente para su utilización en diversas partes del proceso de esta industria.

Fuente: Rts Automation Sac.

Principales clientes

Los principales cliente con los que trabaja RTS Automation Sac. son del sector Minero.

A continuación, se nombran los principales clientes que atiende la empresa:

1. Pesquera EXALMAR S.A.A
2. Antamina
3. Bisa
4. Cartavio
5. HCL: Ingeniería y Construcción
6. Sudamericana de Fibras
7. San jacinto
8. Sourthern cooper
9. Sociedad minera cerro verde
10. Cosapi
11. Minsur
12. Las Bambas
13. Cementos del Sur
14. Hayduk

15. Sol del Laredo
16. Arpl tecnología industrias s.a.
17. Antapaccay
18. Papelera reyes s.a.c
19. Flsmidth
20. Gold field

- **Principales marcas representadas**

Los representantes son marcas con las cuales Rts Automation Sac mantiene un contrato de exclusividad de maneta comercial brindando una mejor atención al cliente por la capacitación con la que cuenta al brindar ya sea de una venta o instalación de un servicio.

En el siguiente listado se muestra la lista de marcas a disposición de la empresa como:

1. Rh
2. Vaisala
3. Vega
4. Interapp
5. Niniers
6. Minebea intec
7. Schneider electric
8. Sensidyne
9. Walker magnetics
10. Tectron metal detection
11. Autonic

12. Controls, inc
13. Fluid components international, llc
14. Tectron metal detection
15. Krohne
16. Merrick

1.1. Realidad Problemática

En la actualidad, el pesaje dinámico ha emergido como una herramienta de gran relevancia para diversos sectores industriales. Su principal función radica en la medición precisa de la producción de materia prima que se transporta mediante bandas transportadoras, generando un registro detallado y confiable.

No obstante, a pesar de su importancia, la disponibilidad de equipos diseñados y certificados específicamente para esta tarea es limitada en el sector minero y son escasas. Una descalibración posmantenimiento puede generar discrepancias significativas en la contabilización de la producción y proceso afectando negativamente la rentabilidad de la planta concentradora.

Para abordar esta problemática, es fundamental destacar la labor de empresas fabricantes de básculas industriales de renombre mundial. Entre ellas se encuentran: Merrick, Ramsey, Schenck, Toledo y Rice Lake Weighing Systems. Estas compañías se rigen por los estándares y recomendaciones metrológicas establecidos por la OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) para la medición de masa y calibración de básculas.

Los módulos de pesaje en las fajas transportadoras son esenciales para medir la carga transportada en toneladas por hora (T/h). Sin embargo, estos módulos

tienden a descalibrarse con el tiempo debido a la naturaleza agresiva del proceso minero. El proceso agresivo al que se somete la industria recorta el tiempo de vida de los componentes de las maquinas. Debajo de la corteza terrestre, se obtienen minerales, materiales y combustibles mediante la actividad económica de la minera. Es uno de los esfuerzos humanos más antiguos, que se remonta a 2,5 millones de años, en la Edad de Piedra. Con el paso del tiempo, esta actividad ha ido cambiando, volviéndose más avanzada tecnológicamente para enfrentar los desafíos que han surgido en la obtención de los diversos materiales: metales, minerales industriales, materiales de construcción y combustibles (CAR, 2009).

Cuando se produce la descalibración, el error en el peso medido puede superar el 0.1% llegando incluso a más de un 10 % de error verificación ya analizada antes de las intervenciones por RTS AUTOMATION SAC, lo que resulta en pérdidas significativas para la industria minera ya que estas fajas se encuentran en proceso continuo las cuales solo paran según su plan de mantenimiento en una parada de planta dando pérdidas económicas significativas y medidas inexactas para sus procesos.

Complementando lo mencionado un informe de rubro minero del año 2016, en el cual indica lo siguiente:

La parada inesperada de una faja transportadora en una empresa minera puede resultar extremadamente costosa, con pérdidas que oscilan entre US\$50,000 y US\$100,000 por hora”. En GoldFields la CIMA en la unidad Cerro Corona la hora de perdida esta valorizada en US\$70,000 entonces, la importancia de evitar

estas paradas bruscas es crucial para la eficiencia y la rentabilidad en la industria minera.

Además, un análisis de vibraciones en el módulo de pesaje daría los indicativos en niveles de vibración, si son elevados indicarían una descalibración en la balanza de pesaje dinámica. Esta vibración no solo indica una operación ineficiente sino también el desgaste en los componentes de la faja, lo que implica costos adicionales de mantenimiento.

Cuando la vibración es repetitiva con pico altos puede tener daños directos al perno de transmisión del módulo de pesaje ocasionando una fisura o ruptura de la misma, en cuanto a la celda de carga tendría un corrimiento por la que ya no podría trabajar proporcionalmente.

Importancia de la supervisión de Análisis Vibraciones en el Control de los Módulos de Pesaje de fajas transportadoras en la Industria Minera

La calibración de los módulos de pesaje es crucial para mantener la precisión en la medición de la carga transportada. Sin embargo, la calibración manual periódica es costosa según las cotizaciones de RTS Automation Sac y no garantiza una medición correcta hasta su otro ciclo de su plan de mantenimiento ya que como indicativo solo tenemos las T/H que figuran en el integrador. (Guía de Calibración, 2015), asimismo “Una corrección en tiempo real y supervisada bajo el análisis de vibración es una gran mejora para estos módulos de pesaje ya que lo que no se mide no puede ser controlado”. (Gutiérrez y Serna, 2014). Por lo tanto, mantener un error de medición que tienda a cero monitoreado es óptimo dando confiabilidad al proceso de producción en minería. Un enfoque del control

permitiría detectar descalibraciones en tiempo real y poder realizar los ajustes mecánicos necesarios con un plan de mantenimiento, reduciendo así las pérdidas económicas asociadas al pesaje incorrecto” (Alvarado, López y Zavaleta, 2022)

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera el diseño de un sistema de análisis de vibración en el control de los módulos de pesaje de las fajas transportadoras en la empresa RTS AUTOMATION SAC permite abordar los problemas de una poscalibración en la industria minera?

1.3. Justificación

La razón detrás de esta investigación radica en las condiciones de las fajas transportadoras de las plantas de las empresas mineras. Es esencial el diseño y la implementación próxima de un análisis de vibraciones en el control de los módulos de pesaje de estas fajas para obtener información en tiempo real sobre los errores de pesaje poscalibración, de ese modo generar un reporte digital preventivo en el cual se pueda identificar y realizar un mantenimiento preventivo para garantizar la precisión de pesaje para el proceso de Molienda. Esto permitiría tomar medidas preventivas para evitar fallos, como resultado aumentar la eficacia en los procesos de las empresas mineras.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de análisis de vibración en el control de los módulos de pesajes de las fajas trasportadoras en la empresa RTS AUTOMATION SAC que permita abordar los problemas de poscalibración en la industria minera.

1.4.2. Objetivo Específicos

- Analizar las consideraciones mecánicas óptimas para un análisis de vibraciones.
- Evaluar el impacto del sistema de análisis vibracional en la precisión del pesaje, comparando resultados antes de su implementación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Enriquez (2023) su propósito fue modificar el sistema de transmisión del molino 202 de minera SIMSA para disminuir niveles de vibración. El proyecto se llevó a cabo utilizando el método sistémico, el tipo tecnológico, el nivel aplicado y el diseño preexperimental. La unidad de observación fue el molino 202. Las técnicas aplicadas incluyen la técnica documental y la técnica empírica (observación), cuyos instrumentos fueron las fichas bibliográficas y de observación. Según los hallazgos del estudio, las vibraciones de diagnóstico del molino 202 tuvieron un promedio de 17,93 mm/s, lo que es inaceptable según la norma DIN ISO 10816 - 3, siendo el nivel máximo aceptable 7,1 mm/s. Por lo tanto, se empleó la metodología SCAMPER para modificar la catalina y el piñón del molino, cambiando los dientes rectos a helicoidales y utilizando acoplamientos tipo garra.

Los cálculos revelaron que una catalina de 252 dientes y un piñón de 24 dientes tenían un esfuerzo de contacto de 26,38 kpsi, un esfuerzo de flexión de catalina de 3,42 kpsi y un esfuerzo de flexión de piñón de 4,45 kpsi, respectivamente. Para los acoplamientos, se utilizaron los modelos ABD 300 y ABD 400, respectivamente. Los valores de vibración promedio fueron de 1,44 mm/s después de modificar el sistema de transmisión (nivel bueno según la norma DIN ISO 10816-3). Por otro lado, se obtuvo una significancia de 0,01 de los resultados utilizando el programa SPSS. Se descubrió que la modificación disminuyó significativamente los niveles de vibración del molino 202 ($p < 0.05$).

Cortes (2021) su propósito fue mejorar el diseño de los polines de la correa de mineral CV 110, lo cual ayudara a mejorar el mantenimiento que se ejecuta en la actualidad. Fueron establecidas además mejoras y propuestas en el tiempo de detención apuntando al mejoramiento continuo del funcionamiento en las correas transportadoras. Se realizaron procedimientos de trabajos para distintas fallas en cintas transportadoras y las principales medidas de control de riesgos denominados requisitos mínimos para realizar trabajos en la correa transportadora de mineral CV 110 de BHP Spence.

Antinori y Chilón (2021) analizaron los niveles de vibración utilizando datos de 2016, 2018 y 2019 de operadores de camiones gigantes y maquinaria auxiliares que estaban presentes en las actividades extractivas de la empresa. Se encontró que el nivel promedio de las vibraciones transmitidas al cuerpo entero de los trabajadores de camiones gigantes y maquinaria auxiliares fue de 0.51 m/s², 0.32 m/s² y 0.36 m/s², respectivamente, con el año 2016 como el año con las vibraciones más altas.

Durante los años 2016, 2018 y 2019, se realizaron evaluaciones del nivel de vibración en el cuerpo entero de los trabajadores de camiones gigantes y maquinarias auxiliares, según la normativa vigente RM 480- 2008- MINSA, DS No 024- 2016- EM y su modificatoria DS No 023-2017- EM. Los niveles estaban por debajo de los límites establecidos de 0,7 m/s², lo que se debe al buen mantenimiento de la maquinaria y las vías de transporte.

Díaz (2021) se centró en identificar los efectos de las vibraciones causadas por la detonación en el entorno cercano y lejano, y cómo estas afectan al macizo

rocoso en las fases 7, 9, 10 y 11, considerando las unidades geotécnicas 1, 2, 3, 5, 6 y 9 en el campo cercano. La revisión de la literatura y referencias en el capítulo 3 indica que el método más preciso y comúnmente utilizado en la industria minera para evaluar el daño es el análisis de las vibraciones generadas durante la detonación.

En cuanto a la metodología utilizada en el proyecto, se presentan puntos esenciales que respaldan el estudio. En el capítulo 3 se detalla la geología del sitio, los antecedentes de la empresa minera y aspectos generales de la perforación y detonación. Se introducen conceptos básicos de geotecnia, como el macizo rocoso y el efecto escala, para familiarizar al lector con la operación en estudio. Luego se profundiza en el proceso de detonación y cómo fragmenta la roca, seguido por el análisis de las ondas y los modelos que ayudan a predecir las velocidades de las partículas y el daño resultante en los taludes.

Los resultados de las vibraciones obtenidas llevan a la conclusión de que, para preservar la integridad de la pared, es necesario rediseñar las cargas explosivas y ajustar la distancia de las líneas buffer a la pared, independientemente del tipo de unidades geotécnicas consideradas.

En su investigación, Cornejo y Huamán (2020) crearon un modelo para prever las vibraciones inducidas utilizando datos históricos de monitoreo en una mina a cielo abierto en la sierra peruana. Su objetivo era proteger tanto los taludes de diseño final (Campo Medio) como las estructuras sensibles en los pueblos cercanos (Campo Lejano). El proceso metodológico implicó la depuración de los registros conforme a estándares operativos, seguido de un análisis discriminativo

mediante métodos de estadística robusta y regresión lineal. De este modo, se generaron ábacos de distribución de cargas para predecir las velocidades de partículas de vibración (VPP) a distancias específicas en ambos escenarios. Estos resultados, combinados con los criterios previamente establecidos, permiten limitar el uso de explosivos para garantizar una mejor protección de las estructuras.

Martínez (2019) en su tesis su finalidad fue visualizar el proceso de monitoreo de las vibraciones producidas por las explosiones propias de un proyecto minero ubicado en el municipio de Buritica Antioquia, dicho monitoreo está siendo realizado por la empresa K-2 Ingeniería S.A.S. y el objetivo principal de este es corroborar que estas vibraciones no están causando ningún efecto en las comunidades aledañas al lugar expuesto.

Para llevar a cabo este monitoreo se instalaron equipos Orión que captan las vibraciones en zonas estratégicas llamadas estaciones las cuales se han establecido en seis (6) estaciones fijas y una (1) estación móvil. En primera instancia fue necesario extraer los datos provenientes de los equipos ubicados en las estaciones por medio de un software de análisis dBTrait del cual la empresa tiene licencia, posteriormente estos datos fueron depurados y recopilados en un histórico de todos los meses que lleva en operación la extracción minera. Finalmente, este histórico fue comparado con los datos que provee la empresa dueña del proyecto minero donde se ven reflejadas las voladuras que se han realizado en torno a la operación.

En su tesis de 2019, Auris y Cárdenas buscaron responder a las necesidades específicas de Supermercados Peruanos SA, proponiendo soluciones basadas en la tecnología de automatización industrial para mejorar la eficiencia del proceso de

distribución de jabs y cumplir con los requisitos de funcionamiento e higiene. La metodología de desarrollo del proyecto comienza con una encuesta a los supervisores de la línea de producción para conocer los criterios técnicos que permiten la toma de decisiones sobre el diseño y automatización del sistema de bandas transportadoras. La tesis permitió un análisis de la situación actual de la empresa, afirmando que los principales problemas identificados se relacionan con los métodos de trabajo y ejecución manual de las operaciones.

Canazas (2019) La investigación se llevó a cabo en la empresa "El Pino SRL" ubicada en Majes, en la Provincia de Caylloma en Arequipa, con el objetivo de determinar cómo la implementación de fajas transportadoras afecta la producción de harina de trigo. Para analizar los resultados de la investigación, se utilizó una encuesta de campo, un enfoque transversal de nivel explicativo y un campo de tipo no experimental. En resumen, los resultados de la encuesta realizada a los empleados muestran que un porcentaje significativo de los participantes está de acuerdo en que la implementación de la faja transportadora es esencial para la producción de harina de trigo. El estudio examinó cómo aplicar la encuesta de campo de la variable dependiente o respuesta a los usuarios del distrito de Majes. Se examinó la hipótesis nula con un nivel de significación del 5% y g.l del 1 y 3, lo que resultó en pruebas de Chi-cuadrado que aceptaron tanto la hipótesis nula como la hipótesis alterna.

Paz y Valerio (2019) El objetivo era crear un transportador electromecánico recto de una hilera con banda que se utiliza en la industria alimentaria nacional para transportar botellas de bebidas gasificadas. Para el diseño de la investigación, se utilizó la metodología cuantitativa. El tipo de material a transportar, los

componentes estructurales y el motorreductor que proporciona el movimiento motriz a la banda son factores que determinan el mecanismo de transporte. Además, los componentes del sistema eléctrico y de control del transportador están equipados con la energía necesaria. La simulación también se realizó utilizando el software educativo de análisis de esfuerzos Inventor para comparar y validar los elementos calculados que conforman el transportador electromecánico.

En la investigación de Begazo (2018), se centró esta investigación se centró en desarrollar un sistema de monitoreo con sensores para optimizar las operaciones en una planta de lixiviación de una mina ubicada en Arequipa. La implementación de un sistema de monitoreo en una cinta transportadora es esencial para prevenir riesgos y pérdidas económicas debido a paradas inesperadas. Este estudio tiene como objetivo mejorar la eficiencia y seguridad en el proceso de lixiviación de la empresa minera, minimizando el riesgo de detenciones no programadas y optimizando la producción.

Como se menciona en este estudio, hoy en día muchas empresas, especialmente las mineras, requieren sistemas de monitoreo para garantizar el funcionamiento continuo y óptimo de sus equipos y maquinaria. Esto se logra mediante sensores que permiten controlar, seguir y monitorear el rendimiento de estos dispositivos, evitando así posibles fallos y detenciones no planificadas.

Los resultados concluyen que el sistema de monitoreo logra supervisar constantemente la temperatura y la velocidad de la cinta transportadora con el objetivo de detectar y resolver posibles fallos que puedan surgir durante su operación normal.

Maldonado (2018) buscó desarrollar el cálculo y diseño de parámetros eléctricos para el accionamiento de una banda transportadora industrial. El objetivo era encontrar una solución a la necesidad de encontrar una metodología de diseño en ingeniería mediante la creación de una herramienta como un software que ayude a reducir los tiempos de cálculo en la selección de motores eléctricos y componentes de protección de la banda transportadora. Por lo tanto, las fajas transportadoras son esenciales para todo transporte de materiales como la minería, la construcción, la agroindustria e industria en general porque constituyen la forma más económica de transportar materiales de un lugar a otro. Hay una amplia gama de modelos y tipos disponibles en el mercado dependiendo del material o equipo que se moviliza.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Faja Transportadora

Neira (2018) define a la faja transportadora como: Un equipo de transporte que permite llevar carga entre dos puntos, incluso en terrenos difíciles o con geografía accidentada. Su alcance puede variar desde distancias cortas hasta varias decenas de kilómetros, dependiendo de su aplicación y la industria en la que se utilice.

El principal uso de este sistema de transporte se encuentra en la industria minera, donde se emplea para llevar el mineral extraído desde las áreas de explotación hasta almacenes cercanos o incluso a destinos de envío distantes, como los puertos. Esto resulta en una reducción de los costos de transporte de materiales de manera beneficiosa, asegurando un flujo constante de los mismos.

2.2.2. Componentes de la faja transportadora

Componentes de la faja transportador. En ese sentido, de acuerdo a Ortega (2017), los componentes de las fajas transportadoras se describen a continuación:

En la tabla 3, se mencionan los principales componentes de las fajas transportadoras, estas se encuentran en área seca antes de la etapa de los molinos:

Tabla 3

Componentes de la faja transportadora

Componentes	Función
Polines de carga /polines sin carga	Tienen la responsabilidad de sostener tanto el lado de la banda transportadora que está cargado como el lado que no lo está (retorno).
Polines Pesométricos	La precisión es crucial para las aplicaciones de pesaje. Por esta razón, los polines, también conocidos como rodillos de rotación suave, son esenciales para cualquier sistema de básculas de pesaje. Cada uno de los tubos de los polines de básculas de PPI se máquina para garantizar que el indicador de excentricidad total (TIR) esté dentro de las 0.015". Para marcar el producto como "calidad para aplicación pesométrica", se miden los rodillos para confirmar que cumplen con las tolerancias requeridas. Precision Pulley & Idler (PPI).
Polines Impacto	Amortiguan el impacto producido por la caída libre de los materiales, brindando protección a la banda transportadora.
Bastidores	Son estructuras metálicas que sostienen la faja transportadora y otros componentes, como: se coloca entre el punto de alimentación y descarga del mineral; soportarán las cargas del material, las bandas, los polines y posibles cubiertas de protección contra el viento.
Chute de alimentación	Suministra mineral a la cinta transportadora, la cual está revestida con liners y lifters asegurados mediante pernos para evitar su desgaste.
Chute de descarga y/o transferencia	Suministra mineral entre fajas transportadoras, la cual se encuentra recubierta de liners y lifters con pernos para evitar su desgaste.
Polea motriz o cabeza	Su tarea consiste en transferir la fuerza tangencial a la cinta transportadora.

Polea de cola	Facilita el retorno de la banda transportadora, generalmente está revestido de caucho con marcas que previenen la aglomeración del material.
Polea tensora	Garantiza el correcto enlace entre la banda y el tambor de accionamiento, conservando la tensión apropiada en el lado de retorno durante el inicio del movimiento.
Polea deflectora	Cumple con la tarea de direccionar la banda transportadora hacia una nueva dirección.
Polines auto alineadores	Equipados con un mecanismo rotativo para regular el movimiento lateral de la banda.
Acoplamientos	Tienen la función de reducir las vibraciones y cargas excesivas, garantizando un inicio gradual.
Raspador primario	Tienen la tarea de eliminar cualquier material que se encuentre en la superficie de la banda transportadora antes de que alcance la polea motriz, evitando de esta manera que el material quede atrapado contra el revestimiento de dicha polea.
Banda transportadora	Este componente juega un papel esencial al amortiguar las tensiones durante el arranque, llevar la carga, disipar la energía de impacto en el área de carga y soportar condiciones adversas, como altas temperaturas y la exposición a sustancias químicas como aceites y grasas presentes en los materiales. También debe cumplir con los requisitos de seguridad, incluida la resistencia al fuego.
Guarderas y falderas	Se sitúan al final de los conductos de entrada y salida para evitar que el mineral se esparza o se fugue al caer libremente sobre la cinta transportadora.
Aspersores de agua	Inyectan agua en el sistema de transporte de minerales, tanto en el trayecto de ida como en el de retorno de la cinta transportadora, con el fin de evitar una excesiva contaminación del mineral.
Mesa de la faja transportadora	Sostiene y alberga varios elementos de una cinta transportadora, incluyendo bastidores, rodillos de carga y retorno, dispositivos de impacto, autoalineadores y guardas de protección. Su diseño y resistencia son fundamentales para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de la cinta transportadora.

Fuente: Ortega (2017).

2.2.3. Sistemas de Pesaje:

Acosta (2003) menciona lo siguiente:

“Dentro de los sistemas de pesaje, encontramos dos categorías principales: las básculas de pesaje estático y las básculas de pesaje dinámico. La segunda categoría, como exploraremos en detalle más adelante, es un área de desarrollo relativamente reciente”

Pesaje estático. El pesaje estático, según la OIML R76 (2006), se define como la operación metrológica en la que la masa de un objeto se determina con la medición de la fuerza de atracción gravitatoria que actúa sobre él, utilizando un instrumento de medición de masa no automático (balanza estática).

En este proceso, el objeto se coloca sobre la plataforma de la balanza, y la fuerza gravitatoria que actúa sobre él se equilibra con una masa conocida (contrapeso) mediante un sistema de palancas o mecanismos similares. La masa del objeto se determina comparando la masa del contrapeso con la posición de un indicador en la escala de la balanza.

En esta categorización, englobamos todos los sistemas de pesaje que disponen de un espacio o capacidad en el que se coloca un objeto o sustancia con el propósito de calcular su peso utilizando una unidad de medida estándar. Entre estas se encuentra: pesaje directo, contadoras, colgante, ensacadoras, camioneras y ferrocarrileras.

Pesaje Dinámico. En el ámbito industrial, el pesaje dinámico, también denominado pesaje continuo o en movimiento, se emplea para medir la masa de

objetos en desplazamiento. Este método resulta particularmente útil en aplicaciones que involucran materiales a granel, como granos, minerales, productos alimenticios o piezas de fabricación.

"Un método de medición de masa en el que el objeto que se pesa se mueve sobre una cinta transportadora mientras se realiza la medición." (OIML R50-2, 2003)

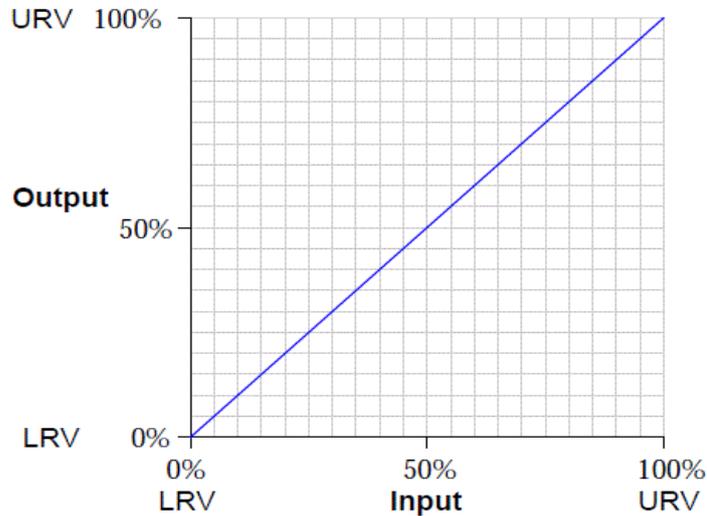
Hay dos tipos principales de básculas de pesaje dinámico: las integradas en cintas transportadoras flexibles y las independientes con su propia área de influencia. La diferencia clave es que las primeras registran el peso de componentes antes y después de la báscula, mientras que las segundas solo miden el peso en su ubicación específica. Las básculas integradas en cintas son menos comunes y menos precisas.

2.2.4. Ajustes de Zero y Span

Según un informe de Instrumentación y control en el año 2011, "La calibración tiene como finalidad asegurar que la relación entre la entrada y la salida de un instrumento sea coherente en todo su rango de funcionamiento, lo que se ilustra gráficamente con una relación lineal del 0% al 100%". En la Figura 3, se muestra la gráfica del porcentaje que corresponde a todo el rango de 0% al 100%.

Figura 3

Ajuste del zero y span



Fuente: Instrumentación y control (2011).

Cualquier función lineal se relaciona la variable “y” proporcionalmente al producto entre la pendiente (m) y la variable “x”. En ese sentido, en un instrumento existen dos ajustes clave para calibrarlo: "zero" y "span". El ajuste "zero" modifica la referencia verticalmente, mientras que el ajuste "span" cambia la pendiente de la función en un gráfico. Estos ajustes permiten configurar el instrumento para medir dentro de un rango específico. En términos de una ecuación de recta, el "zero" corresponde al término de intercepto (b), y el "span" afecta la pendiente (m). Estos ajustes son esenciales para la calibración precisa de cualquier instrumento.

Fallas funcionales en las fajas transportadoras. De acuerdo a Ortega (2017), las fallas funcionales recurrentes de las fajas trasportadoras se describen a continuación:

Tabla 4

Fallas funcionales recurrentes de las fajas transportadoras

Componente	Fallos Comunes
Polines de carga	Falla prematura, 3% de desgaste es una norma generalmente aceptada Desgaste irregular de los anillos de goma Quiebre limpio detrás de la caja de rodamientos Material acumulado en los anillos de goma del Polín Atascamiento de polín Sobrecalentamiento de Polín
Bastidores	Partes dobladas y rotas de la estructura Desgaste de pernos de sujeción de bastidor Desgaste de la estructura por óxido
Chute de descarga y/o transferencia	Desgaste irregular de chute
Polea motriz o cabeza	Rotura de chute (plancha madre) Desgaste irregular del revestimiento de polea Atascamiento de polea motriz
Polea de cola	Material acumulado en Polea motriz Rajaduras, cortes o desgarramientos de la cubierta superior Rajaduras o quebraduras longitudinales en la cubierta inferior La banda corre hacia un lado en un solo punto de la estructura La banda se desvía en la polea de cola La banda se desvía en la polea motriz o cabeza

Fuente: Ortega (2017).

2.2.5. Análisis vibracional

Según la revista Ingeniería y Tecnología (2022). “El análisis vibracional se presenta como una herramienta fundamental para el diagnóstico y monitoreo del estado de equipos rotativos. A través del estudio de las vibraciones mecánicas, esta técnica facilita la detección y evaluación de potenciales fallas o anomalías en los

sistemas, permitiendo tomar decisiones oportunas para su mantenimiento preventivo y mejora del desempeño”.

2.3. Limitaciones

El estudio se centra en el diseño de un sistema de monitoreo de vibraciones en balanzas dinámicas mediante sensores, haciendo uso del software. Debido a que esta implantación hace uso de tecnología lo que implica costos, programa de instalación (PETS, IPERC Línea Base) en planta y una autorización de trabajo en área de molienda se optó por continuar con el diseño y la descripción de esta investigación. El objetivo entonces será evaluar cómo sería el estado poscalibración en tiempo real de las balanzas dinámicas en fajas transportadoras y como se podrían tomar medidas para evitar fallas, lo que mejoraría la productividad continua de las industrias mineras.

2.4. Análisis de la situación de la Empresa

2.4.1. Antes de la implementación

Un informe de RTS Automation S.A.C revela que la empresa ha venido aplicando una metodología de gestión de proyectos basada en el Project Management Book, durante los 26 años de experiencia en el desarrollo de proyectos. Esta metodología implica supervisar y controlar todas las fases del proyecto, utilizando plantillas estándar para la documentación entregada durante todo el proceso.

Servicios que ofrece. Así mismo, los principales servicios que ofrece son Suministro e implementación de proyectos Eléctricos y de Automatización, puesta

en operación de válvulas Manuales o moduladas, suministro y puesta en operación de equipos de instrumentación. Los cuales se detallan a continuación:

Suministro e implementación de proyectos de Automatización. Amplia experiencia en diversos proyectos, capacitados para ofrecer a sus clientes más que solo la provisión de equipos, también brinda orientación continua para ayudarles a alcanzar sus objetivos.

La empresa servicios de ingeniería y consultoría para proyectos de automatización, proporcionando soluciones personalizadas que incluyen tableros de control, PLC, DCS, SCADA y salas de control, adaptados a las necesidades del cliente.

En la figura 4, se muestra un tablero de automatización para un vertedero en LAS BAMBAS, este proyecto de automatización consiste en instalar un VEGAPULS 21 (sensor de nivel) en el vertedero y obtener una señal analógica con entrada a un PLC S7 1200 en la marca SIEMENS el cual ya está integrado a su sala de control.

En la imagen se muestra la sala eléctrica, el vertedero y el tablero eléctrico donde se aprecia el PLC S71200.

Figura 4

Servicios de automatización.



Nota. Proyecto en minería LAS BAMBAS. Fuente: RTS Automation Sac.

Suministro e implementación de proyectos Eléctricos. En los últimos años, ampliaron sus servicios para incluir la entrega de sistemas y equipos eléctricos. Esta integración de automatización y sistemas eléctricos es altamente valorada por sus clientes.

RTS AUTOMATION realiza servicios de ingeniería, consultoría en proyectos eléctricos, Suministro de equipos de media tensión, diseño y fabricación centros de control de motores (CCM).

También proporciona paneles que incluyen variadores, arrancadores electrónicos, sistemas de arranque estrella-triángulo, distribución eléctrica, sistemas de transferencia y otros componentes.

En la figura 5, se muestra un tablero de automatización de una unidad manejadora de aire compuesto por un PLC para el monitoreo y control de sensores, actuadores y mecanismo para el manejo de aire.

Figura 5

Servicios de proyectos eléctricos



Nota. Tablero eléctrico de automatización para UMA (Unidad Manejadora de Aire).
Fuente: RTS Automation SAC.

Asesoría, suministro y puesta en operación de válvulas Manuales y moduladas. La empresa ofrece una amplia gama de válvulas manuales y moduladas para diversas aplicaciones, acompañadas de asesoramiento técnico en su selección. Reconocen la importancia de las válvulas en la automatización industrial y se esfuerzan por prevenir problemas derivados de elecciones incorrectas en proyectos de automatización. También realizan servicios de ingeniería y asesoría en la especificación y elección de válvulas.

Figura 6

Servicios de operaciones de válvulas



Nota. En la figura 6, se puede apreciar una válvula en la marca FISHER, donde se realiza las pruebas de corriente y apertura de la mariposa. Fuente: RTS Automation SAC en Servicio en Southern Copper Corporation.

Servicios asociados al proyecto:

Asesoría, suministro y puesta en operación de equipos de instrumentación. La empresa ha establecido asociaciones con líderes en la industria para ofrecer una amplia gama de instrumentación básica y especializada. Esto les permite proporcionar a sus clientes paquetes completos de instrumentación para proyectos, así como la opción de comprar equipos de forma individual, acompañados de servicios relacionados.

Dentro de la diversidad del portafolio ofrecen:

- Instrumentación clásica con equipos para la medición de caudal, presión y temperatura en diferentes tecnologías.
- Completa gama de equipos para la medición de nivel.
- Soluciones para medición en pesaje dinámico y estático.
- Medición de densidad y nivel mediante tecnología radiométrica.
- Detectores de metal para fajas transportadoras.
- Manómetros en todos los modelos disponibles y para todo tipo de aplicación.
- Servicios y contratos de mantenimiento preventivo de los equipos suministrados.

Figura 7

Servicios de operaciones de equipos de instrumentación

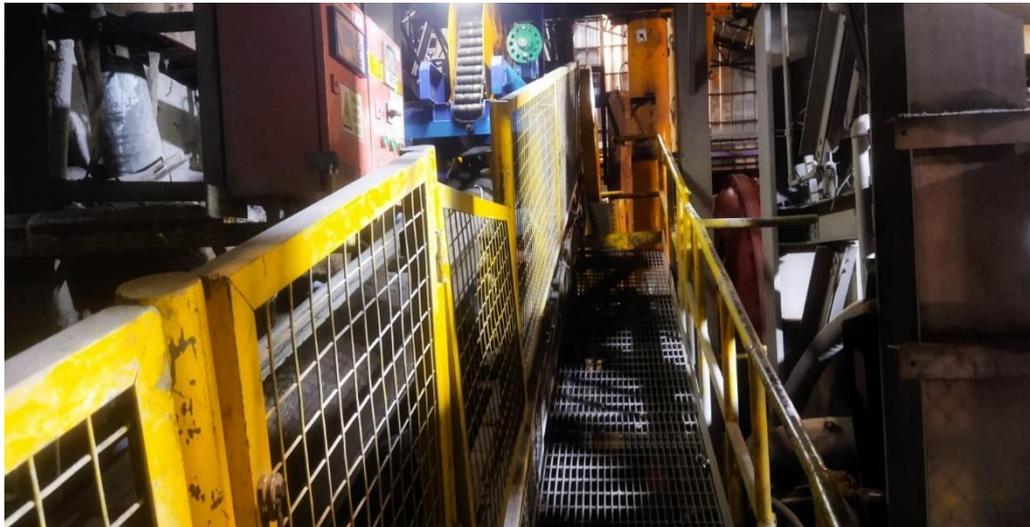


Nota. En la figura 7, se puede apreciar un instrumento de medición (Densímetro Nuclear). Estos equipos funcionan con un detector de centelleo que convierte los rayos gamma en pulsos de luz, a su vez la parte electrónica convierte los pulsos de luz en pulsos eléctricos en una unidad de medición llamada cuentas la cual es inversamente proporcional a densidad del material que pasa por la tubería. Fuente: RTS Automation SAC en servicio de SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE.

Servicio en pesaje dinámico. La empresa da gran importancia a la formación de sus técnicos para asegurar mediciones adecuadas del tonelaje en las instalaciones. No solo se les instruye sobre los equipos, sino que también se comparten los conocimientos acumulados durante 26 años de servicio a través de procedimientos estandarizados que todos en RTS aplican.

Figura 8

Instalación integral de cadena PATRON y puesta en operación de balanzas de fajas transportadoras.



Nota. En la figura 8, se aprecia la instalación de cadena patrón a una faja transportadora en la UNIDAD MINERA BATEAS, el deslizamiento de esta cadena patrón se da mecánicamente mediante una manivela con relación de 20/1. Fuente: RTS Automation SAC en Minera Bateas.

Adicionalmente, informe de tecnología Minera (2023) detalla las actividades de RTS Automation en cuanto a los servicios, mantenimiento y calibración de pesaje dinámico en fajas transportadoras:

Servicios:

- Implementación de un enfoque completo para instalar y poner en funcionamiento sistemas de balanzas en fajas transportadoras.
- Instalación de sistemas de pesaje (balanzas para fajas), para: Control de procesos, Despacho controlado, mezcla de materiales, inventario de materiales, punto de venta y transferencia de Custodia.
- Mantenimiento Integral de Balanzas de Fajas Transportadoras (Sistema de Pesaje, Celda de Carga, Bastidores, Tacómetro y Controlador).

Mantenimiento Integral

Las labores que realiza la empresa durante el mantenimiento son:

- Evaluación y análisis del estado actual de las balanzas y sus elementos constituyentes.
- Desconexión de la energía, bloqueo y aflojamiento de la tensión de la banda del transportador.
- Elevación de la banda en la zona de pesaje utilizando dispositivos certificados como tecles o elevadores de banda.
- Reemplazo de polines, bastidores, celdas de carga y tacómetros.
- Nivelación, alineación y centrado de polines.
- Ajuste de estructuras y rodillos para garantizar un nivel adecuado.
- Examinar la disposición de la unidad electrónica para su evaluación.
- Ajustar la tensión de la banda, desbloquearla y devolverla a su posición original la banda transportadora.

Calibración de Balanzas de Fajas Transportadoras.

La empresa tiene amplia experiencia en calibración de balanzas de cinta transportadora y dosificadores de diversas marcas, incluyendo Merrick, Thermo Fisher (Ramsey), Siemens (Milltronics), entre otras.

Figura 9

Balanza de Faja transportadora Merrick



Nota. En la figura 9, se puede apreciar dos módulos de pesaje modelo 471 en la marca Merrick las cuales vienen del área Pebbles (circuito cerrado que retroalimenta a los molinos SAG) mediante la alimentación de las fajas de sacrificio para molinos SAG en LAS BAMBAS. Fuente: Rts Automation SAC.

La empresa realiza una calibración exhaustiva de sistemas de pesaje, incluyendo la medición de celdas de carga y longitud de fajas, así como la calibración de velocidad, Zero y Span. También lleva a cabo pruebas completas de operatividad del equipo y realiza el levantamiento de la faja en el área de pesaje utilizando tecles, Flex Lifter o Belt Lifter.

Soporte técnico

Proporciona además servicios de soporte especializado a sus clientes, asegurando una asistencia rápida y soluciones efectivas para mantener la operatividad de las balanzas utilizadas en fajas transportadoras. Sus niveles de atención abarcan:

- Nivel 1: Asistencia a través del equipo Técnico
- Nivel 2: Asistencia brindada por el equipo experto su sede principal
- Nivel 3: Asistencia mediante el Área de Servicios y el Soporte Pos venta.

Problema identificado

Se detectó que, debido a la naturaleza agresiva del proceso minero, los módulos de pesaje de las fajas transportadoras tienden a descalibrarse con el tiempo. Lo cual resulta en errores significativos en los pesos de carga transportada, generando desgastes de los componentes de las fajas y un mal proceso. Esto a su vez se traduce en pérdidas económicas. Esto es un motivo de interés para la supervisión de RTS AUTOMATION SAC para garantizar un control y calibración precisas de los módulos de pesaje en las fajas transportadoras de la industria minera.

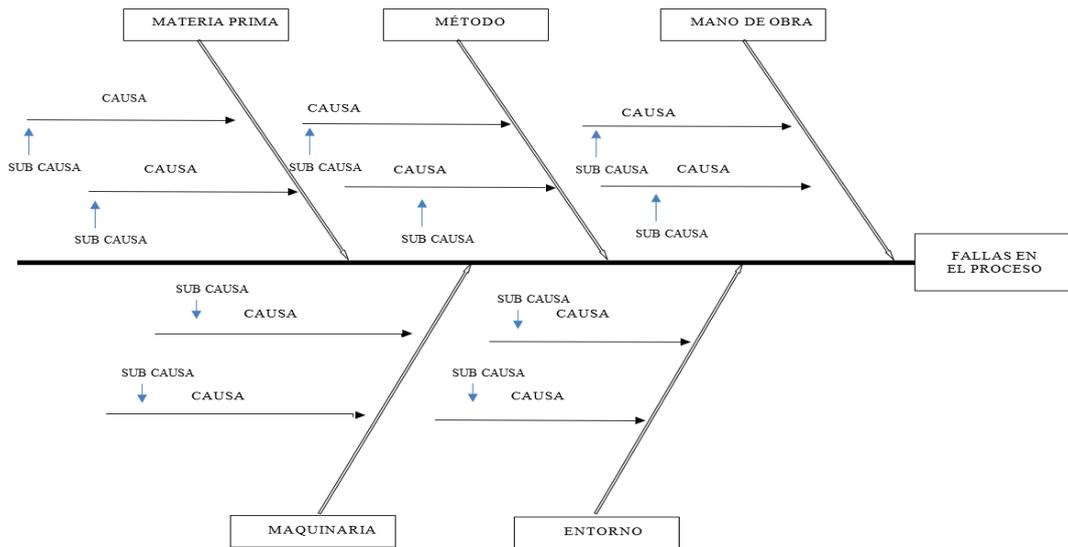
2.4.2. Aplicación de las herramientas Ishikawa

El Diagrama de Ishikawa, también llamado espina de pescado, es una herramienta valiosa para analizar las causas de las fallas. Este método ofrece una visión detallada y multifactorial de los problemas. Permite identificar las posibles

razones del fallo a considerar. En ese sentido, se emplea esta herramienta para analizar las fajas transportadoras.

Figura 10

Diagrama de Ishikawa



Fuente: Elaboración propia.

2.4.3. Implementación del diseño del proyecto

Se propone diseño de un sistema de control supervisado que utilice el análisis de vibración en los bastidores y polines de la faja como indicador de descalibración. Este sistema constaría de los siguientes pasos:

Instalación de sensores de vibración en los polines y bastidores de la faja transportadora para monitorear constantemente los niveles de vibración. La implementación de este diseño se dará gracias al sistema de monitoreo inalámbrico facilitado por las soluciones de Dynamox, lo cual es posible llevar a cabo el mantenimiento solo cuando sea necesario, adoptando así un enfoque de mantenimiento altamente preciso y eficiente.

Estas soluciones son las siguientes:

- Solución DynaLoggers: Para la instalación de los sensores inalámbricos de vibración
- Solución DynaPredict; Para el análisis y diagnóstico de datos trabajando en conjunto con su equipo de mantenimiento.
- Solución Dynagateway: Para la recogida de datos automatizada de los sensores.

La empresa Dinamox es una tecnológica líder en soluciones de monitoreo de vibración y temperatura, colaborando estrechamente con equipos de mantenimiento y fiabilidad en diversos sectores industriales. La cual cuenta con certificaciones ISO y está presente en más de 22 países alrededor del mundo.

Monitoreo de condición inalámbrico. El sistema de monitoreo inalámbrico de condiciones emplea sensores para recolectar información sobre el estado y desempeño de los equipos en tiempo real. En el caso de las fajas transportadoras, se colocarán sensores inalámbricos entre los polines y bastidores de la faja, para poder monitorear así su estado y detectar cualquier anomalía o signos de desgaste. Esto permite un mantenimiento proactivo y puede evitar tiempos de inactividad inesperados y reparaciones costosas.

Esta información se enviará de forma inalámbrica a un sistema central, permitiendo su análisis para prever posibles fallos y mejorar el rendimiento de los equipos.

Tipo de sensor inalámbricos a utilizar. Existen diversas variedades de sensores que pueden emplearse en el sistema de monitoreo inalámbrico de fajas transportadoras, en este caso debido a la relevancia del estudio se utilizarán los sensores de vibración que pueden identificar vibraciones inusuales en el sistema, señalando posibles inconvenientes en desbalance, desalineaciones u otras cuestiones mecánicas.

Vibración en el monitoreo de condición. El monitoreo a través de la medición de vibraciones consiste en identificar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas graves. Esto posibilita tomar medidas preventivas, que optimicen los recursos disponibles.

Según un informe de GAMT (2023), cuando se analizan vibraciones, existen varios indicadores importantes que se considerar, estos son:

Tabla 5

Indicadores del análisis de vibración

Indicadores	Función
La amplitud de vibración	Evalúa la intensidad de las vibraciones, donde lecturas elevadas podrían señalar desgaste o desequilibrio en el equipo.
Frecuencia de vibración	Detecta las frecuencias principales en las vibraciones, las cuales son únicas para cada parte de la máquina. Alteraciones en estas podrían señalar problemas específicos en los componentes.
Velocidad de vibración	La vibración por velocidad es una forma de medir el movimiento vibratorio que se basa en la velocidad de la partícula vibrante en lugar de su desplazamiento o aceleración. Se define como la tasa de cambio del desplazamiento con respecto al tiempo. La unidad de

	medida para la vibración por velocidad es milímetros por segundo (mm/s) o pulgadas por segundo (pulg/s).
Aceleración de vibración	La vibración por aceleración es una forma de medir el movimiento vibratorio que se basa en la aceleración de la partícula vibrante. Se define como la tasa de cambio de la velocidad con respecto al tiempo. La unidad de medida para la vibración por aceleración es metros por segundo al cuadrado (m/s ²) o pulgadas por segundo al cuadrado (pulg/s ²).
Análisis espectral	Este sistema desglosa las vibraciones en distintos componentes de frecuencia, simplificando la detección de problemas concretos en las máquinas.
Forma de onda	Ofrece una representación visual de la señal de vibración, lo que facilita la detección de patrones irregulares o variaciones significativas.

Fuente: GAMT (2023).

Monitoreo en tiempo real. La supervisión en tiempo real implica que cualquier alteración en la condición de los polines y bastidores puedan ser rápidamente identificada mediante la configuración del dispositivo, eliminando la necesidad de inspecciones manuales, disminuyendo el riesgo de errores humanos y asegurando una evaluación más precisa del funcionamiento del módulo de pesaje, el estado de los polines y bastidores de la faja transportadora.

- **Datos de la faja transportadora**

Los datos necesarios para mantener de forma predictiva los motores conectados a las fajas transportadoras son la temperatura, las vibraciones y el estado de la cinta transportadora.

- **Estado de la cinta transportadora:**

En la mayoría de casos, las fajas transportadoras operan según programaciones específicas. La detección de anomalías se da solo durante el

funcionamiento de la cinta transportadora. Un valor de cero indica inactividad de la cinta, mientras que uno indica actividad.

Vibraciones. Los sensores capturan las vibraciones como la RMS (Raíz Cuadrada de la Media) de la onda sinusoidal media. Es necesario convertir la RMS al valor máximo para identificar posibles anomalías. Desarrollo de algoritmos de análisis de datos que identifiquen patrones de vibración anormales asociados con la descalibración de los módulos de pesaje.

Recopilación de datos automatizados. De acuerdo a la solución de Dynamox, la recopilación automatizada de datos de los sensores se lleva a cabo enviando la información directamente a la Plataforma Web DynaPredict. El dispositivo utilizado será DynaGateway DUO, este dispositivo facilita la comunicación automática con los DynaLoggers, transmitiendo los datos recolectados directamente a la plataforma web de Dynamox a través de redes móviles, Ethernet o Wi-Fi. (Dynamox, 2023)

Detección temprana de problemas. La identificación precoz de problemas facilita a los operadores planificar el mantenimiento proactivamente, evitando interrupciones imprevistas y garantizando la continuidad en la producción. Estos fallos son detectables a través del mantenimiento predictivo, empleando el análisis de vibraciones como método.

Dynamox produce tres tipos de sensores eficaces para monitorear efectivamente.

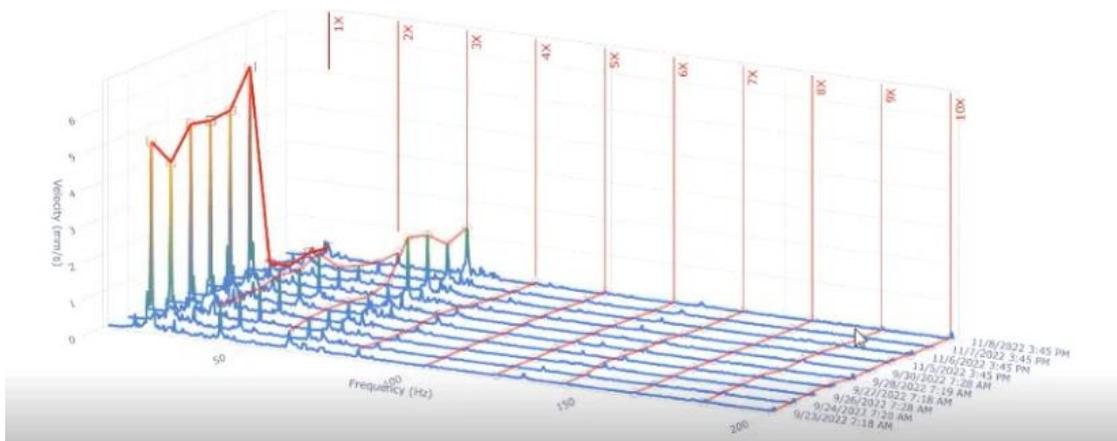
- DynaLogger HF+: Vigilancia trixitial de temperatura y vibración con una frecuencia máxima de 13000 Hz, llevando a cabo la transmisión de datos de forma remota y análisis espectral (Dynamox, 2023)
- DynaLogger TcAs: Supervisión trixitial de temperatura y vibración con una frecuencia máxima de 2500 Hz, efectuando la transmisión de datos a distancia y análisis espectral (Dynamox, 2023).
- DynaLogger TcAg: Supervisión trixitial de la temperatura y vibración con una frecuencia máxima de 2500 Hz. (Dynamox, 2023)

Para demostrar el buen uso de los sensores en los tambores de las cintas transportadoras, se puede observar un breve ejemplo.

Ejemplo: Monitoreo de fallas que aparecen en las vibraciones de una faja transportadora. En la imagen 11, se puede apreciar la diferencia entre el lado del acople y ventilador en unidades mm/s (velocidad). Este gráfico de ejemplo muestra las anomalías de la vibración (en color rojo) detectadas por un modelo

Figura 11

Espectros en cascada con identificación de fallos y post-intervención



Fuente: Dynamox.

Integración de estos algoritmos con un sistema de control que pueda ajustar el proceso con respectivos actuadores propuesto para próximas investigaciones de acuerdo al error generado en los módulos de pesaje en tiempo real cuando se detecte una descalibración.

Utilizando datos históricos recolectados y algoritmos predictivos integrados se realiza la Optimización de la estrategia de mantenimiento, las empresas de minería pueden prever cuándo necesitarán mantenimiento, facilitando una planificación más precisa para adquisiciones y sustituciones de repuestos, lo que optimiza la eficiencia operativa.

Para esto, el sistema de monitoreo inalámbrico Dynaloggers ofrece un enfoque de mantenimiento preciso al evitar inspecciones poco frecuentes y propensas a errores. Permite el mantenimiento solo cuando es necesario, brindando un valioso apoyo al equipo técnico y optimizando las decisiones diarias. A continuación, se describe el proceso y se muestra una simulación de la solución Dynapredict de Dynamox:

Generación de Dashboard inicial. El panel de soporte para la toma de decisiones comprende información condensada y ordenada sobre los puntos monitoreados por los sensores, clasificándolos de más a menos críticos según las alarmas configuradas. Además, muestra las tendencias de alertas de los últimos días, los valores promedio de temperatura y vibración, así como las comparaciones de análisis espectrales en cada eje monitorizado. Esta herramienta proporciona una visión clara para ayudar en la toma de decisiones informadas para realizar algún cambio eléctrico o mecánico sobre el equipo.

Análisis de los datos de las fajas transportadoras. Después de obtener los datos de los sensores inalámbricos, es esencial examinarlos y tomar acciones para mejorar la eficiencia de la faja transportadora, el análisis de datos permite lo siguiente.

- Identificar tendencias y patrones en los datos, como mayores niveles de vibración, y tomar acción para abordar estos problemas antes de que provoquen fallas en el equipo.
- Uso de análisis predictivos para anticipar fallas y programar el mantenimiento de manera proactiva, antes de que ocurra una falla.

Al emplear sensores inalámbricos y análisis de datos, los equipos de mantenimiento pueden mejorar la eficiencia de las fajas transportadoras, reduciendo el tiempo de inactividad (parada del proceso) y los costos de mantenimiento.

Análisis histórico de datos. La representación gráfica muestra las variaciones en la temperatura, velocidad y aceleración triaxial RMS, lo que ayuda a detectar cambios en el funcionamiento normal de las fajas transportadoras debido a posibles problemas. También proporciona medidas de promedio móvil y herramientas estadísticas para entender el comportamiento del equipo. El historial de datos ofrece información sobre el tiempo de funcionamiento efectivo y los períodos de inactividad del equipo, junto con una línea de tiempo que indica los eventos ocurridos en el punto monitoreado.

Figura 12

Historial de datos

Estatus		Reporte	Máquina	Spot	Tendencia	Vel. % de A2	Temp. % de A2	Acel. % de A2	BAT MEM	Sincronización				
											Continuo	Espectro		
A2	🔴	🔴	7140-AFO-C17-ABS01-BA1721	01 MOTOR	01 MT LA	●●●●●●●●●●	+9	-	-40	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 2 horas	há 9 horas
A2	🔴	🔴	7140-AFO-C17-EVP01-BA1718	—	07 VOLLUTA	●●●●●●●●●●	-25	-	+9	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 5 horas	há 8 horas
A1	🟡	🟡	7140-AFO-C17-EVP01-BA1718	01 MOTOR	02 MT LA	●●●●●●●●●●	-	-14	-90	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 5 horas	há 9 horas
A1	🔴	🟢	7140-AFO-C17-EVP01-BA1718	03 BOMBA	05 BB LA	●●●●●●●●●●	-29	-	-57	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 2 horas	há 8 horas
A1	🟡	🟡	7140-AFO-C17-EVP01-BA1718	02 REDUTOR	04 RED LOA	●●●●●●●●●●	-77	-	-50	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 18 días	há 18 días
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-EVP01-BA1718	03 BOMBA	06 BB LOA	●●●●●●●●●●	-31	-	-74	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 5 horas	há 8 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-EVP01-BA1719	01 MOTOR	02 MT LA	●●●●●●●●●●	-	-38	-83	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 4 horas	há 7 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-EVP01-BA1719	02 BOMBA	03 BB LA	●●●●●●●●●●	-	-17	-78	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 3 horas	há 7 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-EVP01-BA1718	02 REDUTOR	03 RED	●●●●●●●●●●	-73	-	-44	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 4 horas	há 8 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-EVP01-BA1723	02 BOMBA	03 BB LA	●●●●●●●●●●	-	-30	-58	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há una hora	há 7 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-EVP01-BA1723	01 MOTOR	02 MT LA	●●●●●●●●●●	-75	-	-75	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 5 horas	há 7 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-ABS01-BA1720	01 MOTOR	02 MT LA	●●●●●●●●●●	-90	-	-93	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 5 horas	há 10 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-ABS01-BA1720	02 BOMBA	03 BB LA	●●●●●●●●●●	-	-36	-87	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 4 horas	há 9 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-ABS01-BA1720	02 BOMBA	04 BB LOA	●●●●●●●●●●	-	-39	-87	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 3 horas	há 9 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-ABS01-BA1721	02 BOMBA	02 BB LA	●●●●●●●●●●	-	-	-	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	-	há un mes
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-EVP01-BA1719	01 MOTOR	01 MT LOA	●●●●●●●●●●	-	-46	-82	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 2 horas	há 7 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-EVP01-BA1718	01 MOTOR	01 MT LOA	●●●●●●●●●●	-77	-	-87	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 2 horas	há 8 horas
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-EVP01-BA1723	01 MOTOR	01 MT LOA	●●●●●●●●●●	-75	-	-76	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 5 horas	há un día
🟢	🟢	🟢	7140-AFO-C17-ABS01-BA1720	01 MOTOR	01 MT LOA	●●●●●●●●●●	-91	-	-95	🟢	🟢	DyG.10.001.0046	há 2 horas	há 9 horas

Fuente: Solución Dynapredict de Dinamox.

Análisis espectral. El análisis espectral se presenta en gráficos que detallan la información en desplazamiento, velocidad y aceleración. Ofrece la posibilidad de comparar diferentes espectros para elegir un punto de referencia y cuenta con un banco de datos que contiene 70 mil modelos de rodamientos para consulta.

Otras herramientas son: Representación gráfica de frecuencias, formas de onda, múltiples bandas de filtro. Disposición de filtros de paso alto, paso bajo y paso banda. Ofrece cursores, diversos armónicos y utiliza una escala logarítmica para destacar frecuencias de baja rotación.

Árbol de activos. El sistema establece una estructura jerárquica para la administración de activos, incluyendo plantas y equipos monitoreados de la empresa minera. Los usuarios tienen roles definidos, permitiendo a los

administradores acceder y gestionar varias plantas, mientras que los analistas de vibraciones pueden evaluar componentes de activos en ubicaciones remotas. Esta configuración facilita una gestión precisa y efectiva de los activos en toda la organización.

Figura 13

Árbol de activos



Fuente: Solución Dynapredict de Dinamox.

Implementación de un sistema de retroalimentación para informar a los operadores sobre el estado de calibración y las medidas a considerar en el proceso de producción. Este proceso se inicia con un diálogo detenido con el cliente para comprender sus necesidades. Basándose en esta comprensión, se proponen soluciones para acceder a información relevante según el propósito específico. En colaboración con el equipo de TI del cliente, se desarrolla una estrategia de integración que cumple con las normativas de seguridad de datos y calidad de servicio de la integración. Este proceso resulta en una propuesta técnica y comercial, con un plazo de entrega definido, que se presenta al cliente. Una vez aprobada por el cliente, se lleva a cabo el servicio de integración personalizada.

Beneficios esperados del diseño del análisis de vibraciones. El monitoreo inalámbrico brinda datos esenciales para toma de decisiones. Analizando datos históricos y en tiempo real, los operadores mineros pueden comprender mejor los factores que influyen en el rendimiento de los polines bastidores en los módulos de pesaje de las fajas transportadoras.

Las ventajas del monitoreo inalámbrico para las fajas transportadoras son evidentes, no solo en eficiencia y reducción de costos, sino también en una mayor seguridad y confiabilidad operativa. Al incorporar esta tecnología, las empresas mineras pueden mantenerse competitivas y lograr un mayor éxito en la industria minera actual.

En ese sentido, la implementación de este diseño de análisis vibraciones para control y calibración proporcionaría varios beneficios claves para la industria minera:

- Reducción de pérdidas económicas debido a pesaje incorrecto.
- Mayor eficiencia operativa al prevenir desgaste excesivo de los componentes del módulo de pesaje (polines pesométricos, bastidores, celdas de carga, módulo de pesaje) y la faja.
- Reducción de costos de mantenimiento al abordar los problemas de descalibración de manera proactiva.
- Mejorar la calidad del proceso minero y la comercialización al garantizar una medición precisa.
- Aumento de la productividad de los procesos y mayor agilidad en la toma de decisiones.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

En este capítulo se describirá la integración del bachiller en el proyecto y en la empresa RTS Automation Sac. Asimismo, el proceso de cómo se llevó a cabo el proyecto desde la planificación hasta el desarrollo de los objetivos.

3.1. Descripción de la integración del Bachiller en el proyecto.

El proceso de ingreso del bachiller a la empresa, fue en 1 diciembre del 2022. Debido a que el rubro minero tiene varios beneficios me encontraba trabajando en paradas de planta, hasta que pude contactar con la empresa Rts Automation S.A.C.

Esta empresa es especialista en Densímetros nucleares 30 % y Balanzas Dinámicas 70 % por lo que es importante atender los servicios de mayor volumen y brindar un servicio con valor agregado.

La implementación del diseño de un sistema de análisis de vibración para módulos de pesaje para fajas transportadoras es un valor agregado en la industria. Esto debe ser aprobado por el área de proyectos y debe ser cotizado por el área comercial para que la Unidad Minera realice la implementación del proyecto. Esto surge por necesidad del error generado tras una descalibración de módulos de pesaje.

Estos módulos al estar en constante funcionamiento no es posible ver el error por un descalibración por lo que se diseña el sistema para sensar la vibración y poder verificar la variación desde que el módulo fue calibrado. Demostrando en la práctica al área operativa de la unidad minera la variación de medición de los

módulos de pesaje. Esto ayudaría a la precisión de la medición en t/h para el Área MOLIENDA.

En el siguiente listado se puede apreciar el proceso que se llevó para el desarrollo de este proyecto y algunas mejoras en el servicio desacuero a la experiencia y especialidad por la que se destaca RTS AUTOMATION SAC.

Proceso de realización del proyecto para efectuarlo en planta.

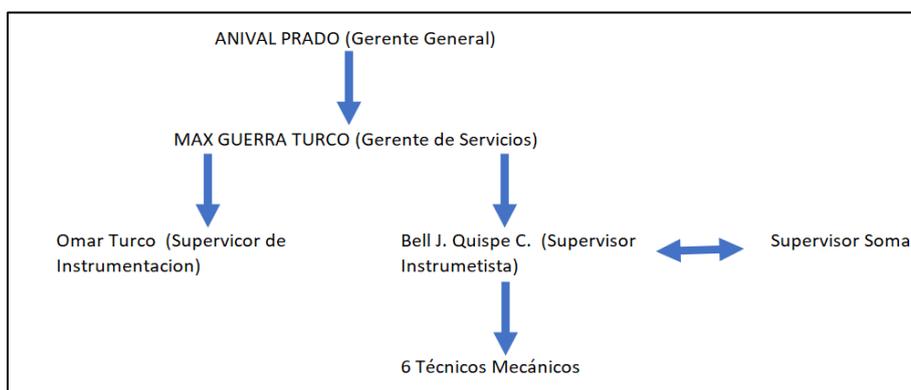
1. Inicio de la ejecución del proyecto.
 - Planteamiento de viabilidad del proyecto.
2. Acreditación de personal para parada de planta.
 - Se realiza la acreditación necesaria tanto de los mecánicos como el ingeniero Instrumentista y el Ingeniero de Seguridad.
3. Elaboración de la documentación para la parada de planta:
 - Elaboración de un PETS (Procedimiento escrito de Trabajo Seguro).
 - Elaboración de diagrama de Gantt acorde a la parada de planta de la unidad minera.
 - Elaboración de IPERC Línea base.
 - Gestión de las hojas MSDS (Material Safety Data Sheets).
4. Elaboración de la documentación de seguridad:
 - Elaboración de IPERC Continuo.
 - Elaboración de documentos de Gestión de seguridad para trabajos de alto riesgo (trabajo en caliente, trabajos en altura, trabajos en espacio confinado, Petar para trabajo eléctrico).
5. Verificación del sensor de vibración.

- Verificación de la estructura del sensor para su acople o instalación.
 - Elaboración de lista de herramientas para el mtto y calibración.
6. Verificación del error encontrado y análisis de la vibración con faja en el transportador:
- Verificación del error encontrado.
 - Realizar pruebas de vibración.
7. Realizar el mantenimiento mecánico del módulo de pesaje.
- Realizar nivelación, alineación y centrado de polines.
8. Calibración del módulo de pesaje:
- Realizar calibración del zero y span.
 - Medir vibración del punto span.
9. Finalización del proyecto:
- Entrega de la documentación final.

3.2. Matriz de involucrados del proyecto

Figura 14

Participantes en el proyecto



Nota. En la imagen 14, se muestran las personas que tendrían participación en el desarrollo del proyecto en planta. Debido a que es un servicio para Unidad Minera es Necesario de un Supervisor de Seguridad y un Ingeniero Colegiado. Todo el personal es de RTS AUTOMATION SAC. Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Funciones de desempeño

3.3.1. En la empresa

- Supervisión del mantenimiento en Planta Concentradora
- Realización de planes de trabajo en software MS Project para paradas de Planta en Minería
- Mantenimiento Mecánico de balanzas dinámicas, Calibración electrónica del Zero y Span
- Mantenimiento y calibración de flujómetros
- Calibración de densímetros en la marca Vega
- Programación en PLC ROCKWELL (CompactLogix L35E Y SIEMENS S71200) BÁSICO
- Realizar informes de los servicios realizados en Parada de Planta
- Organización de recursos, equipos y herramientas

3.3.2. En el proyecto

- Diseño del sistema análisis vibracional para el módulo de pesaje
- Presentar el sistema y viabilidad del proyecto
- Proponer los equipos necesarios
- Planificar los trabajos para pruebas en coordinación con la unidad minera.
- Elaborar un plan de trabajo específico para este servicio respetando el cronograma de mantenimiento de la Unidad Minera
- Cumplir con los Anexos de la Unidad Minera
- Realizar las pruebas del sensor según el plan de instalación

- Realizar los trabajos según la Política de Seguridad y Salud Ocupacional de la Unidad Minera.
- Firmar la conformidad del servicio.

3.4. Proceso para la ejecución del proyecto

3.4.1. Desarrollo de estrategia y metodología

En el ámbito comprendido de los módulos de pesaje se detectó puntos de descalibraciones que afectan en pesaje dinámico.

Para realizar el siguiente desarrollo, se consideró utilizar herramientas para identificar la causa, el uso de Prueba de inyección de Fallos (PIF) la cual comprende 5 etapas.

"Las Pruebas de Inyección de Fallos (PIF) se han convertido en una herramienta experimental esencial para evaluar la confiabilidad y la robustez de las balanzas dinámicas. Al inyectar fallas simuladas en el sistema, los PIF permiten identificar y cuantificar los efectos de estas fallas en el rendimiento de la balanza."

Pruebas de Inyección de Fallos en Balanzas Dinámicas: Un Enfoque Basado en Modelos por M.A. González-Martínez et al. (2021)

1. Define escenarios de falla realistas
2. Genera datos de falla simulados
3. Inyecta las fallas en el sistema
4. Observa y analiza la respuesta del sistema
5. Analiza los resultados y extraer conclusiones

3.5. Diagnostico

3.5.1 Diagnóstico del sistema de medición de módulos de pesaje

En el ámbito comprendido por la empresa RTS AUTOMATION SAC se detectó diversos puntos a mejorar en los mantenimientos y PETS (Procedimiento escrito de trabajo seguro). Uno de los problemas que generan las garantías de servicio brindadas por la empresa son descalibraciones posmantenimiento generando desconfianza en el servicio que realiza RTS AUTOMATION SAC y mediciones de peso erróneos en el proceso de molienda en área seca.

3.6. Identificación del problema

Tabla 6

Propuesta de solución

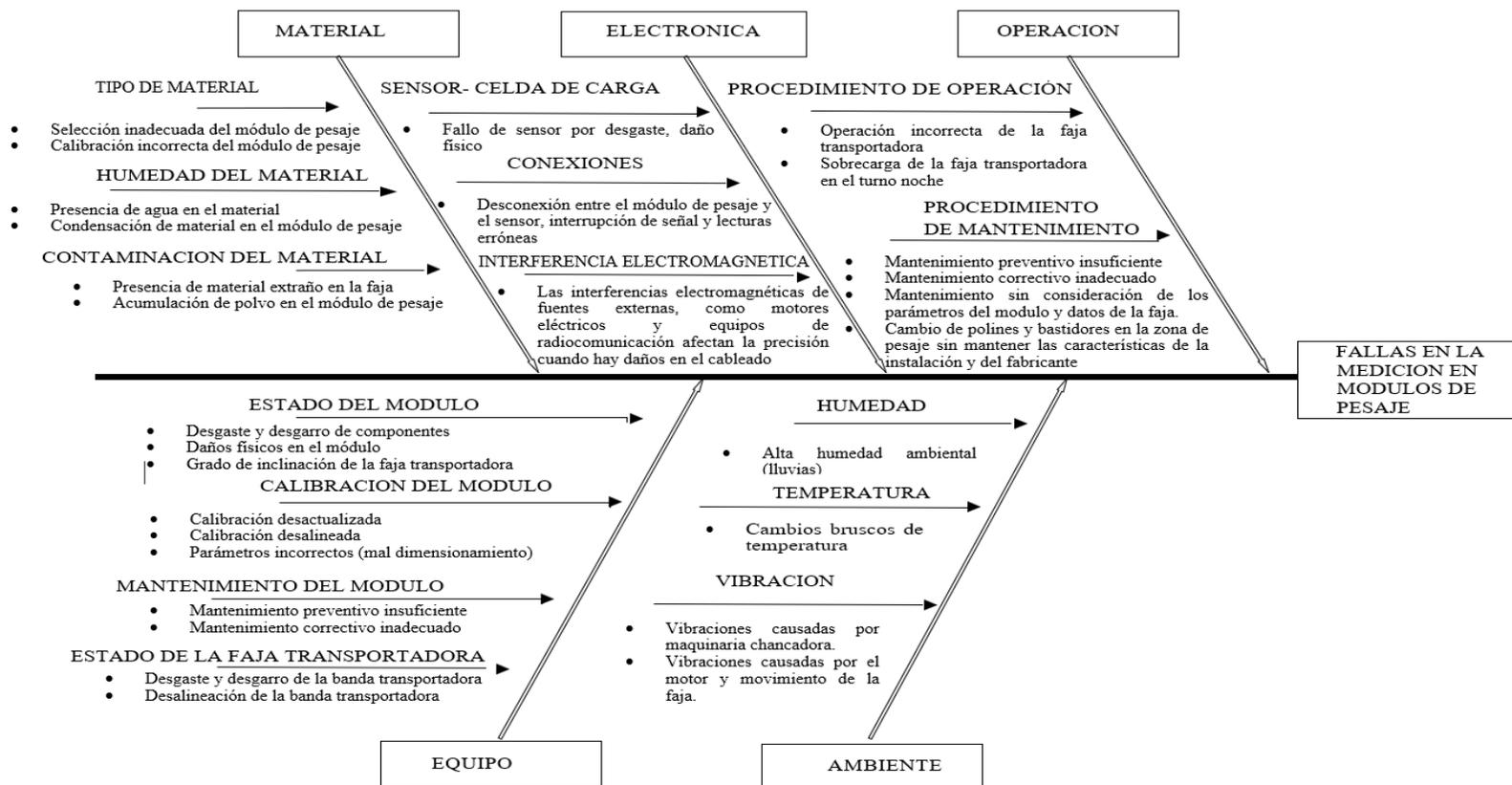
Identificación del problema	
Diagnostico	Aquí se desarrolla la búsqueda de herramientas posibles para una solución del servicio.
Solución de la propuesta	Uso de un Diagrama Ishikawa.

Nota. Esta tabla muestra la etapa de identificación del problema y la herramienta a desarrollar para poder resolverlos. Fuente: Elaboración Propia.

Para realizar el siguiente diagnóstico, se consideró utilizar una herramienta para identificar la causa raíz y evaluarlo. A continuación, se presenta el diagrama de Ishikawa:

Figura 15

Diagrama Ishikawa – Descalibraciones de balanza dinámica.



Nota. En este diagrama se destaca las posibles causas por la que se genera un error de pesaje. Fuente: Elaboración propia.

3.7. Planificación y Desarrollo de Objetivos

La planificación se destaca como una de las actividades más importantes en las organizaciones.

En la aplicación de balanza para faja transportadora, siempre se deben considerar las influencias externas que se originan desde el sistema de manipulación del material y la faja transportadora. Sin importar las exactitudes establecidas, estos dos factores determinarán la exactitud esperada a largo y corto plazo.

3.7.1. Objetivo 1: Analizar las consideraciones mecánicas óptimas para un análisis de vibraciones.

En este objetivo se analizaron las consideraciones de instalación mecánica por el fabricante, las consideraciones para el mantenimiento y la realización del mantenimiento mecánico: nivelación, alineación y centrado de polines.

3.7.1.1 Consideraciones de instalación de los módulos de pesaje

Línea de vista entre polea motriz y polines. La línea de vista entre el tambor motriz y el polín central de la balanza deberá de encontrarse por debajo de $\frac{1}{4}$ " con respecto a los polines centrales de la balanza, esto genera que los polines centrales toquen con la faja transportadora.

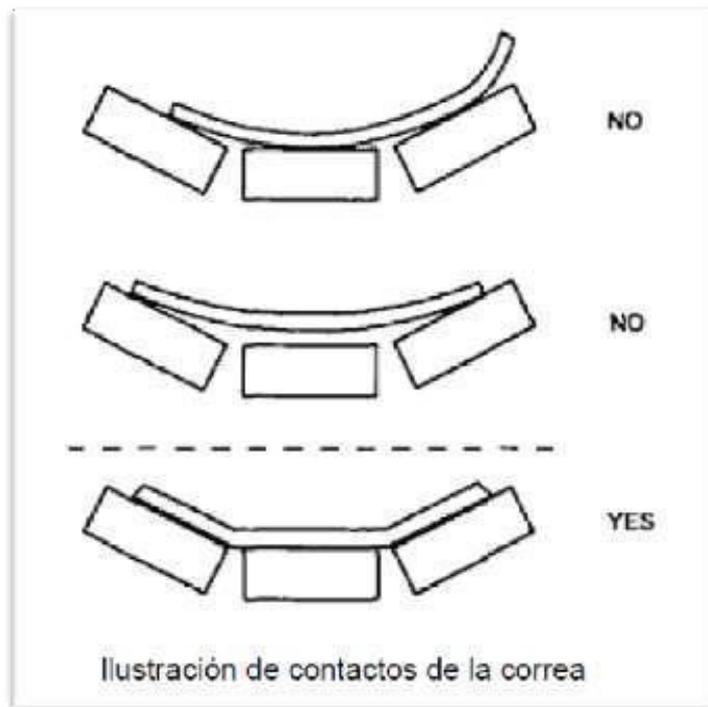
Contacto de la correa. El efecto del contacto de la correa cuando pasa de una condición sin carga a una condición con carga completa es un problema para obtener la máxima precisión del pesómetro. La estructura de la correa debe tener la flexibilidad necesaria para asegurar el contacto con todos los rodillos del área de pesaje cuando la correa está corriendo en vacío para mejorar el contacto. Además,

esto garantiza que el material transportado sea soportado por los rodillos pesados en lugar de la carcasa de la correa transportadora. La correa no debe extenderse más allá del borde del rodillo pesador.

Polines autocentrantes. Es fundamental mantener la correa centrada desde estar corriendo sin carga hasta estar corriendo con carga. Siempre que se instale a una distancia de 60 pies (18m) desde el rodillo más cercano al pesómetro, los polines entrantes del automóvil son generalmente aceptadas.

Figura 16

Contacto correcto de la faja transportadora



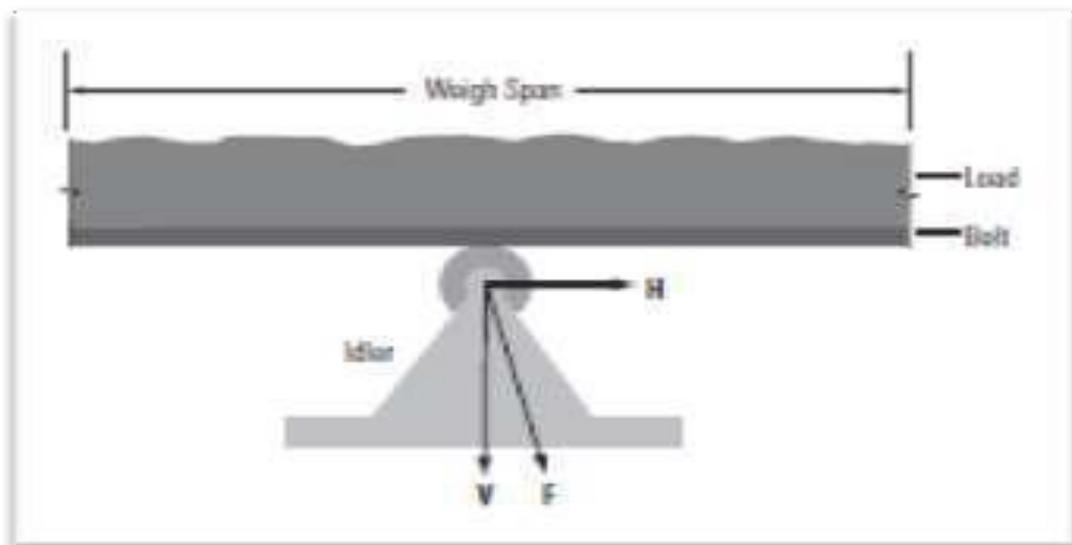
Nota. Se puede visualizar el correcto funcionamiento (centrado) de la faja. Para este resultado se utilizan alineadores mecánicos y como medida de control se utilizan sensores de desviación de faja los cuales funcionan como sensores de seguridad parando el funcionamiento de la faja transportadora inmediatamente. Fuente: Rts Automation Sac.

Alineamiento de Rodillos. El pesómetro y las estaciones de rodillos deben estar dimensionalmente alineados con los 5 o 6 polines a ambos lados. Para garantizar una plataforma de pesaje lo más efectiva posible, los rodillos del área de pesaje están alineados milimétricamente. La instalación de estos rodillos es lo más importante. Para evitar que la correa se descentre en condiciones de carga, todo el transportador debe estar bien alineado.

Funcionamiento de Sistema Pesométricos. La balanza registra el Load en toda el área del Weigh Span, este Load es quien se registra directamente en la celda de carga como una señal en mV y esta señal es enviada hacia un convertidor A/D, el cual juntamente con el valor de la velocidad segenera el Feedrate y este valor es acumulado en el totalizador.

Figura 17

Weight Span



Nota. El weigh Span comprende toda la zona de pesaje. Fuente: Rts Automation S.A.C.

3.7.1.2. Métodos de Calibración

Para la calibración de la balanza de faja existen 4 métodos, las cuales describiremos desde la menos confiable a la más confiable, siendo las siguientes:

1. Calibración Electrónica.
2. Calibración Pesos Estáticos.
3. Calibración con Cadena.
4. Calibración con material

3.7.1.3. Mantenimiento

Antes de realizar un mantenimiento se realiza una inspección visual, se verifica el material adherido a la balanza, así como a lo largo de la zona de pesaje. Se debe realizar el bloqueo y etiquetado de la fuente de energía al motor de la faja transportadora. Para esta actividad se coordina con el personal de planta de la Unidad Minera.

Nivelación.

Esta nivelación de polines permite que la carga que está pasando por la faja se homogénea. De esta manera los polines -1, +1 estarán cargando la misma carga permitiendo al integrador tener una lectura correcta. Esto se realiza en esta manera por consideración a la dificultad de la flexibilidad de la faja.

Se tiende 2 nylon por cada fila de polines para la nivelación de polines centrales y laterales. (La tolerancia es +/- 0.7 mm)

Se mide la altura de cada polín con respecto a una referencia estable, como el bastidor de la banda transportadora o el suelo. Estas medidas se utilizan para determinar la inclinación de la banda transportadora.

Figura 18

Nivelación de polines

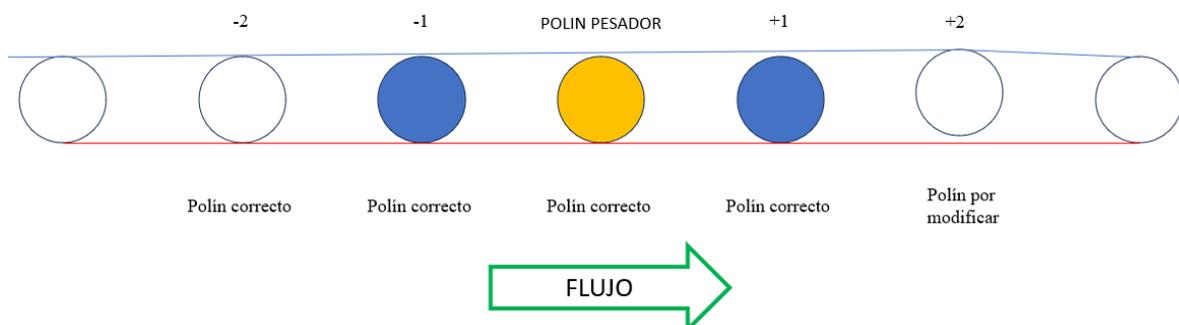


Nota. En la figura 18, se visualiza la nivelación de los polines centrales y laterales.
Fuente: Elaboración Propia.

La verificación de la nivelación de los polines es de manera visual, sin embargo, existen técnicas de verificación como se puede mostrar en el grafico siguiente:

Figura 19

Vista de perfil de polines.



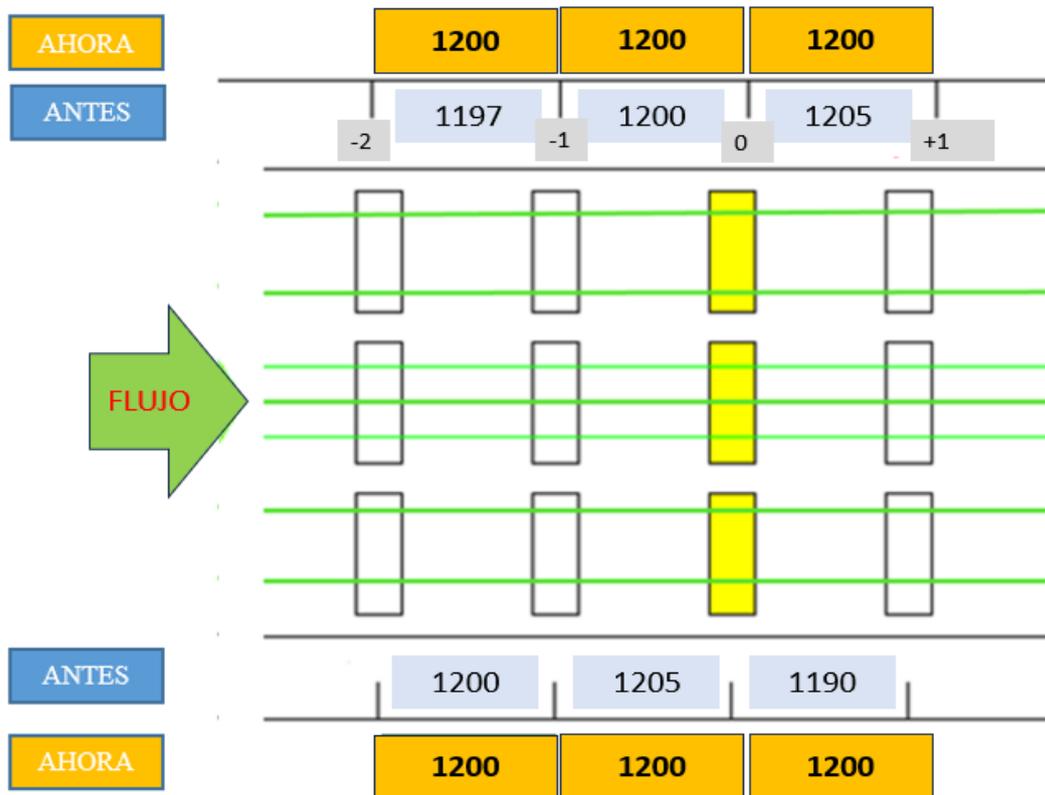
Nota. Como se puede apreciar en la imagen, el Polín +2 está levantando la nivelación por lo que se tendrá que retirar laines y comprobar su nivelación verificando el nylon que se muestra en línea azul. La línea roja es solo referencial. Fuente: Elaboración propia.

Cuando el sistema quede nivelado se tendrá que levantar el nylon unos milímetros y ver la proporcionalidad que se levanta en otros polines. De esta manera se puede ver si la nivelación es correcta.

Alineación. Esta alineación de polines permite que la carga que está pasando por la faja sea homogénea. De esta manera los polines -1, +1 estarán cargando la misma carga permitiendo al integrador tener una lectura correcta. (La tolerancia es +/- 0.7 mm).

Figura 20

Alineación de polines de faja de Pebbles.



Nota. La faja de Pebbles reúne las partículas del OVERSIZE de la zaranda vibratoria de doble parrilla para pasarlo a chancado Pebbles mediante una faja. En esta figura se aprecia la distribución entre polines 1200 mm. Fuente: Elaboración propia.

Centrado de polines. El centrado de polines consiste en que los polines laterales de la zona de pesaje toquen con el nilón para asegurar el contacto permanente a la carga. Para esto se verifica que los dos nylon de cada lateral tengan contacto. Antes de realizar esta actividad se tiene que verificar el ángulo de inclinación de polín lateral.

Figura 21

Centrado de polines



Nota. En esta imagen se aprecia dos nylon por polín lateral haciendo contacto.
Fuente: Elaboración propia.

Identificación de la Estructura para la instalación del sensor.

Merrick realizó un invento de la primera balanza de faja transportadora en el año 1908, cuenta con la tecnología, practica y conocimientos de los medios de aplicación en el sector industria minero. Dando soluciones más asertivas y de esta manera satisfaciendo las necesidades de los clientes. (Catalogo RTS AUTOMATION SAC).

Figura 22

Modelo 475



Nota. En la imagen se puede apreciar una balanza modular. Fuente: RTS Automation Sac.

Se optimizo la ubicación del sensor de vibración para una lectura correcta debido al funcionamiento mecánico de esta modelo de balanza.

Figura 23

Ubicación de sensor de vibración.



Nota. En la figura la flecha y la elipse indican la posición más óptima para la ubicación del sensor de vibración para esta marca en modelo 475 Merrick. La posición del sensor en este lugar son los más óptimos bajo diferentes consideraciones. Fuente: RTS Automation S.A.C.

El pesómetro Ramsey de serie 10-20-1 se caracteriza por tener un perfil delgado para minimizar el acopio de material, no tiene piezas móviles y hace uso de una celda de carga tipo strain-gauge de exactitud aplicada en tensión garantizando así su alineamiento y precisión. Está disponible con un carro de contrapeso, es una opción para las aplicaciones de la correa de carga o en una configuración de un par de estaciones o dos celdas para adaptarse a aplicaciones especiales.

La marca Ramsey en balanzas dinámicas tiene distintos modelos como se muestra a continuación.

Figura 24

Modelos de Balanzas Ramsey

	Ramsey IDEA Belt Scale System	Ramsey Series 30 Belt Scale System	Ramsey Series 20 Belt Scale System	Ramsey Series 17 Belt Scale System	Ramsey Series 14 Belt Scale System
					
Accuracy	+/-1%	+/-1%	+/-0.5%	+/-0.25%	+/-0.125%
Number of idlers	1	1	1 or 2	2 or 4	3, 4, or 6
Number of load cells	1 or 2	1 or 2	1 or 2	2	4
Belt widths	10-101-R1 max 914 mm (36 in) 10-101-R2 max 1524 mm (60 in)	Single Load Cell version 381-914 mm (15-36 in) Dual Load Cell version 635-1524 mm (25-60 in)	406-1981 mm (16-78 in)	457-2590 mm (18-102 in)	457-2590 mm (18-102 in) HD version available for larger sizes
Belt speed range: Material must spend at least 0.5 seconds in the weigh area; varies depending on # of idlers and idler spacing.					
Belt loading	Model 10-101-R1: 7.5-114 kg (16.5-250 lb) Model 10-101-R2: 13.6-340 kg (30-750 lb)	Single Load Cell version 15.8-227 kg (35-500 lb) Dual Load cell version 29.5-907 kg (65-2000 lb)	Model 10-20 1: 22.7-816 kg (50-1800 lb) Model 10-20-CWT: 9-22.7 kg (20-50 lb)	Contact a rep for calculation	11.9-1116 kg/m (8-750 lbs/ft)
Idler spacing	R1 - Larger than 533 mm (21.5 in) R2 - larger than 671 mm (22.5 in)	Standards 900 mm, 1000 mm and 1200 mm (36 in, 42 in, 48 in)	812 mm (32 in) minimum	Standards 900 mm, 1000 mm and 1200 mm (36 in, 42 in, 48 in)	Standards 900 mm, 1000 mm and 1200 mm (36 in, 42 in, 48 in)
Types of applications	Cost-effective weighing for non-critical or lower value materials, modular installation	Cost-effective weighing for non-critical or general in plant or in-process	General in plant or in-process	High-accuracy weighing	High-value materials High quality and high accuracy requirement Certifiable or basis-of-payment

Nota. En la siguiente imagen se aprecia los modelos comerciales en la marca Ramsey. Fuente: RTS Automation Sac.

El modelo 10-20-1 es sistema Pívor, por lo que se emplea descomposición de fuerzas al sistema mecánico pivót de esta balanza.

Figura 25

Componentes del módulo de pesaje Ramsey modelo 10-20-1.

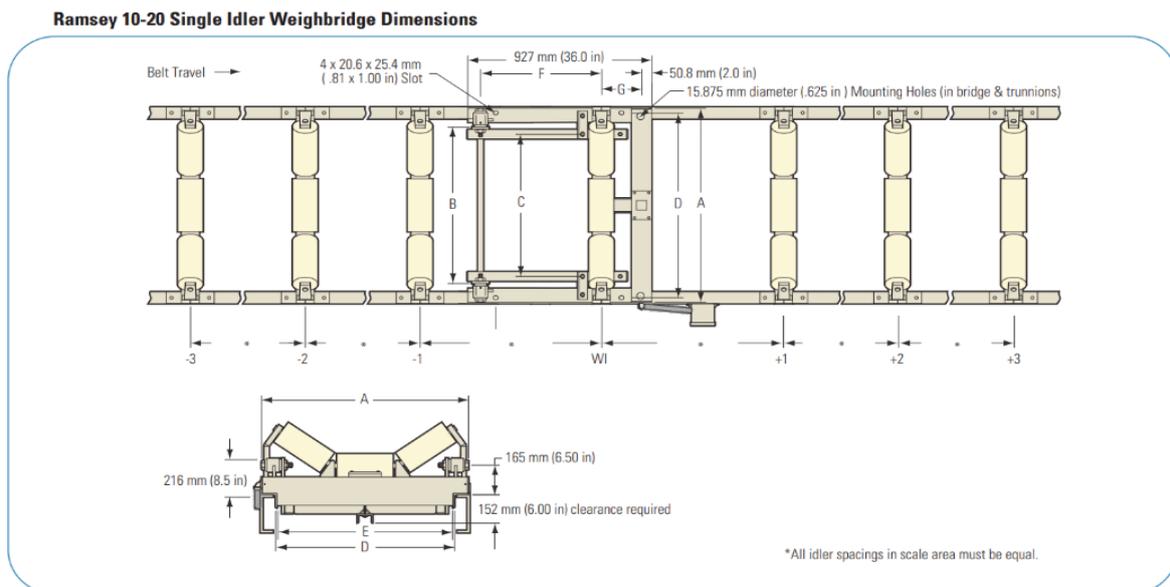


Nota. En la figura se puede apreciar los componentes principales del módulo de pesaje: integrador Micro-tech 9101, sistema pivót 10-20-1 y el sensor de velocidad.
Fuente: RTS Automation Sac.

El fabricante tiene modelos de balanzas para distintas aplicaciones, en la Figura 26 se puede ver las vistas superior y lateral.

Figura 26

Consideraciones mecánicas y distancias del módulo 10-20-1 Ramsey



Nota. En la figura se muestra medidas estándares del fabricante, estas pueden variar de acuerdo a las necesidades del cliente. Este módulo permite modificar la distancia entre polines a ser un solo polín pesador. Fuente: RTS Automation Sac.

Realización de pruebas de inyección de fallos (PIF). Las pruebas de inyección de fallos son un conjunto de pruebas diseñadas para evaluar la capacidad de un sistema, detectar, aislar y ubicar fallos. Estas pruebas se realizarán según el criterio y necesidades del sistema.

Para este trabajo se inyectará fallos al módulo de pesaje y se evaluará los puntos de fallos en faja transportadora. A continuación, se clasificará los puntos de evaluación para el análisis de vibraciones según la experiencia en RTS AUTOMATION SAC

En la siguiente tabla se mostrará los puntos principales a analizar: velocidad, módulo, bastidores, polines y la carga.

Tabla 7

Prueba de inyección de fallos (PIF)

Puntos para calibración	Mínimos- Máximos	Inyección de fallo
Velocidad de faja	Mínimo	Según las facilidades técnicas de la Unidad minera se correría la faja a una velocidad de 20 Hz.
	Máximo	La calibración del Zero y Span se realizan a 60 Hz, se tendría que realizar la toma de datos a esta velocidad para cada tipo de calibración para poder analizar sus características.
Módulo	Desnivelado	Para realizar esta inyección de fallo se tiene que aumentar y disminuir una Laina de 1/4" en el bastidor (-1), de esta manera se obtendrá 2 resultados.
	Desalineado	Al ser una falla común en los mantenimientos, se tiene que analizar con el bastidor -1 o +1 con diferencias de 5mm a 10 mm de error.

	Desbalanceado en celdas de carga	Existen módulos con más de un bastidor de pesaje en la marca RAMSEY, en la marca MERRICK son Modulares. Por lo que la medición en vibraciones no se apreciaría proporcionalmente. Este fallo se tendría que analizar a nivel de milivoltios.
Bastidores	Certificados	La verificación de vibración con un módulo certificado es mínima.
	Comerciales	La verificación de vibración con un módulo comercial puede ser variante. Los valores de vibración van a depender de la antigüedad de la estructura y su composición. Se recomienda siempre usar bastidores certificados.
	Pesométricos	La verificación en vibraciones para polines certificados es mínima.
Polines	Comerciales	Es necesario verificar las vibraciones en estas condiciones, como se pone en recomendaciones es necesario trabajar con polines pesométricos ya que estos tienen una excentricidad menor de 0.015" y los tubos de estos polines son maquinados. La vibración para estos polines no certificados va a ser progresivamente en deterioro según el tiempo de uso.

Nota. En la tabla anterior se muestra los puntos más críticos que afectan al pesaje después de una poscalibración. Fuente: Elaboración propia.

Descomposición de fuerzas. Los módulos de pesaje en la marca Ramsey el sistema pivot permite la transferencia de la carga desde el polín pesador hasta celda de carga. La descomposición de fuerzas se basa en el principio de que una fuerza puede dividirse en 2 más componentes que actúan en diferentes direcciones.

En la siguiente figura se muestra los parámetros que se ingresaran al integrador, que influyen para un funcionamiento correcto del módulo de pesaje.

Figura 27

Módulo de pesaje de modelo 10-20-1 en planta concentradora.

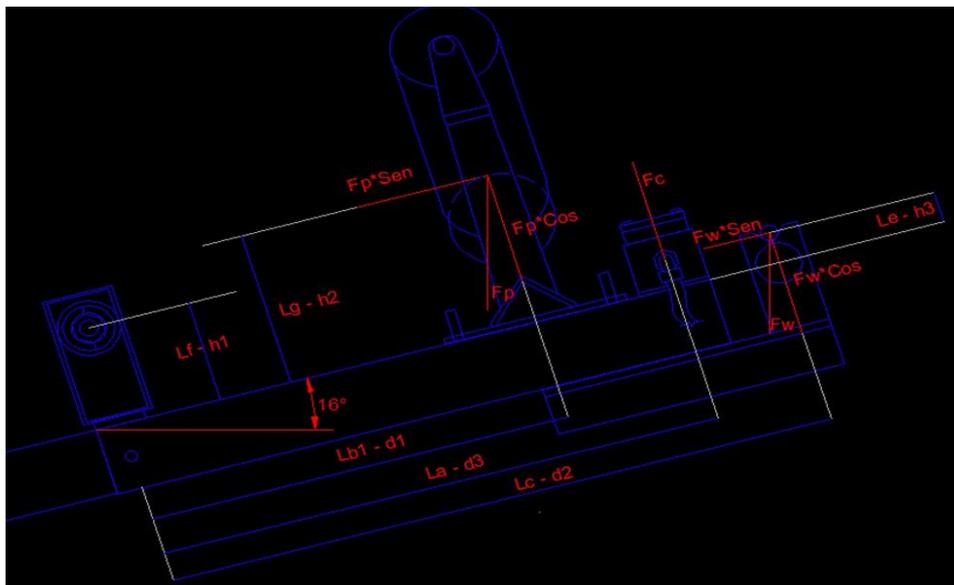


Nota. En la siguiente figura se aprecia las medidas que ingresarán al controlador, las cuales tienen que ser analizadas por el supervisor Instrumentista para una calibración correcta. Fuente: Elaboración propia.

Se procede a descomponer para calcular el Fuerza en Polín (FP).

Figura 28

Fuerzas que intervienen.



Nota. En la figura se puede observar la descomposición vectorial de Fuerza Polín (FP), Fuerza en la celda (FC), Fuerza peso patrón (Fw). Fuente: Elaboración propia.

Los datos que se ingresan al integrador son los siguientes:

Tabla 8

Datos de inicialización para sistema pivotante.

PARAMETROS		
Distancia del eje a la célula de carga	800	mm
Número de rodillos de pesaje	1	
Distancia del eje al primer rodillo	600	mm
Altura del eje al peso del test	10	mm
Longitud del eje al peso del test	600	mm
Altura del eje al carro	90	mm
Altura del rodillo al carro	80	mm
Número de células de carga	2	
Separación entre rodillos	1200	mm
Ángulo de la cinta transportadora	6	grados
Capacidad de la célula de carga	50	kg
Sensibilidad de la célula de carga	3	mV/V
Resistencia de la célula de carga,	350	ohmios
Tipo de entrada de velocidad	0.66	m/s
Longitud de la cinta	126,336	metros
Tiempo de una revolución de cinta	191.41	segundos
Número de revoluciones para prueba	2	rev
Tiempo necesario para completar las revoluciones de test	574.25	segundos

Nota. Estos datos son del módulo de pesaje de la planta. Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo de la descomposición vectorial se aplicará la Ecuación 1.

Donde la Fuerza del Peso Patrón es igual a la Fuerza en el polín.

Donde:

Fw: Fuerza peso patrón.

Fp: Fuerza en polin.

d2: distancia del punto eje pivot hasta punto pesa patrón.

d1: distancia del punto eje pivot hasta punto polin.

6°: ángulo de inclinación de la balanza dinámica.

La ecuación se basa en la Figura 28 y los datos se tomaron de la Figura 27.

$$d2 \times Fw \times \cos(6^\circ) + (h1 - h3) \times Fw \times \text{Sen}(6^\circ) \quad (1)$$

$$= d1 \times Fp \times \text{Cos}(6^\circ) - (h2 - h1) \times Fp \times \text{Sen}(6^\circ)$$

Remplazando los datos de en la Ecuación 1:

$$(600\text{mm})(40\text{kg})\text{Cos}(6^\circ) + (80\text{mm})(40\text{kg})\text{Sen}(6^\circ)$$

$$= (600\text{mm})(Fp)\text{Cos}(6^\circ) - (0)(Fp)\text{Sen}(6^\circ)$$

$$Fp = 40.56 \text{ kg}$$

Según el cálculo anterior la fuerza en el Polín es de 40.56 kg. Tenemos la Ecuación 2 donde se iguala la fuerza en el peso patrón a la fuerza en el polin.

$$d2 \times Fw = d1 \times Fp \quad (2)$$

Tenemos la Ecuación 3 donde la fuerza del polin se iguala a la fuerza en la Celda.

$$d1 \times Fp = d3 \times Fc \quad (3)$$

Para calcular el Load la Ecuación 4 es:

$$\text{Load} = \frac{W}{WS} \quad (4)$$

Donde:

$$W = \text{Peso (kg)}$$

$$Ws = \text{Weigth Span (m)}$$

Teniendo en cuenta el Cálculo del flujo (Rate). La Ecuación 4

$$\text{Rate} = L \times V \times 3.6 \quad (5)$$

Donde:

$$\text{Rate} = \text{Flujo} \left(\frac{\text{T}}{\text{h}} \right)$$

$$L = \text{Load} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)$$

$$V = \text{Velocidad de la faja} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$3.6 = \text{Factor de conversión a} \left(\frac{\text{T}}{\text{h}} \right)$$

Remplazando la Ecuación 4 en la Ecuación 5 tenemos:

$$\text{Rate} = \frac{W}{WS} \times V \times 3.6 \quad (6)$$

Remplazando los datos en la ecuación 6 tenemos:

$$\frac{40.56\text{kg}}{1.2\text{m}} \times 0.66 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 3.6 = 80.31 \text{ T/h}$$

El flujo de carga en la faja transporta con pesas de calibración es de 80.31 T/h.

Para calcular el Load tenemos la Ecuación 7.

$$\text{Load} = \frac{\text{Peso Patron}}{\text{Zona de pesaje para calibracion}} \quad (7)$$

Remplazando los datos en la Ecuación 7 tenemos:

$$\text{Load} = \frac{40.56\text{kg}}{1.2\text{m}} = 33.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

El ConCal determina cuanto material totalizado está pasando en una calibración del Punto Span. Teniendo el valor de Load podemos hallar el ConCal teórico (WS * Distancia de faja * Cantidad de vueltas a calibrar). Para calcular el ConCal tenemos la Ecuación 8.

$$\text{ConCal} = \text{Load} \times \text{Distancia de faja} \times \text{Vueltas de Calibración} \quad (8)$$

Remplazando los datos en la Ecuación 8:

$$\text{ConCal} = 33.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 124.1 \times 2$$

$$\text{ConCal} = 8389.16 \text{ kg}$$

$$\text{ConCal} = 8.389 \text{ Toneladas}$$

En el siguiente capítulo se contrastará el valor del ConCal obtenido con los valores de vibraciones y la calibración del punto Span después del mantenimiento mecánico.

3.7.2. Objetivo 2: Evaluar el impacto del Sistema de Análisis Vibracional en la Precisión del Pesaje, comparando resultados antes de su Implementación.

Este objetivo se buscó el porcentaje de error hallado en el integrador el cual se realizará la comparativa con las vibraciones obtenidas por el sensor de vibraciones. Para eliminar este error se verificará el mantenimiento completo de la balanza dinámica, verificando el balanceo de celdas y su capacidad para el flujo de diseño.

Para este servicio después del mantenimiento se halló un error de -32% como se muestra en la Figura 29.

Figura 29

Primer porcentaje de error encontrado.



Nota. Este error de es de negativo (-32.78%) lo que indica que el pesaje a medir es menor. En la siguiente figura se muestra el tonelaje acumulado que hace referencia al error de negativo de -32.78%. Fuente: Elaboración propia.

La relación del % de error tiene relación a un tonelaje acumulado (5.639 ton) el cual también es error. En la Figura 30, se puede apreciar el Tonelaje acumulado.

Figura 30

Tonelaje acumulado para error de -32.78%



Nota. El tonelaje acumulado en la calibración de entrada es negativo (5.639 toneladas es igual al -32.78%). Fuente: Elaboración propia.

Estos datos demuestran un gran error, no es común este tipo de errores. Se ingresó el sensor en un punto en el módulo (sistema pivotante), se analizó el espectro y se pudo visualizar un desorden. Se empezó analizar las partes del módulo y partes de la balanza dinámica. Se encontró lo siguiente:

Tabla 9

Errores encontrados en las modulo

ERRORES	
Nivelación	Error 5 mm
Alineación	Error 10 mm
Centrado	Error 3 mm
Celda de carga 1 en vacío	Error 0.4 mV
Celda de carga 2 en vacío	Error 0.5 mV
Cálculo de flujo de carga	Ok Rango

Nota. En la tabla se aprecia errores mecánicos que afectaron directamente a la celda a las 2 celdas de carga. Fuente: Elaboración propia.

El flujo de carga está dentro de rango.

$$\text{Flujo} = \text{Load} * \text{velocidad} * \text{constante} \tag{9}$$

Remplazando los datos en la Ecuación 9:

$$33.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0.66 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 3.6 = 80.308 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$$

Se verifico el balanceo de celdas y se encontró que no estaban en el mismo valor como se muestra en la siguiente figura.

Este tipo de fallos generan sobrecarga a una sola celda, generando corrimiento de celda.

Figura 31

Error en el balanceo de celdas.



Nota. El balanceo de celdas tiene que tener el mismo valor. Este sistema pivotante tiene dos celdas de carga que, si no están balanceadas en el orden de los milivoltios, se verán afectadas mecánicamente, una de ellas estaría asumiendo gran parte de la carga (Diseño de flujo de carga). Fuente: Elaboración propia.

Se procedió a cambiar las celdas de carga del mismo fabricante. Se tomo en consideración las características de la celda para no cambiar el diseño.

- Capacidad: 50 Kg
- Clase: C

Figura 32

Cambio de celdas de carga.



Nota. La capacidad de las celdas de carga son de 50 Kg cada una, dando una capacidad total de 100 kg de carga (peso del módulo + diseño de flujo). Fuente: Elaboración propia.

El flujo de carga en las fajas transportadoras depende del módulo el cual depende de la capacidad de la celda de carga.

Para calcular la capacidad de carga se emplea la Ecuación 9.

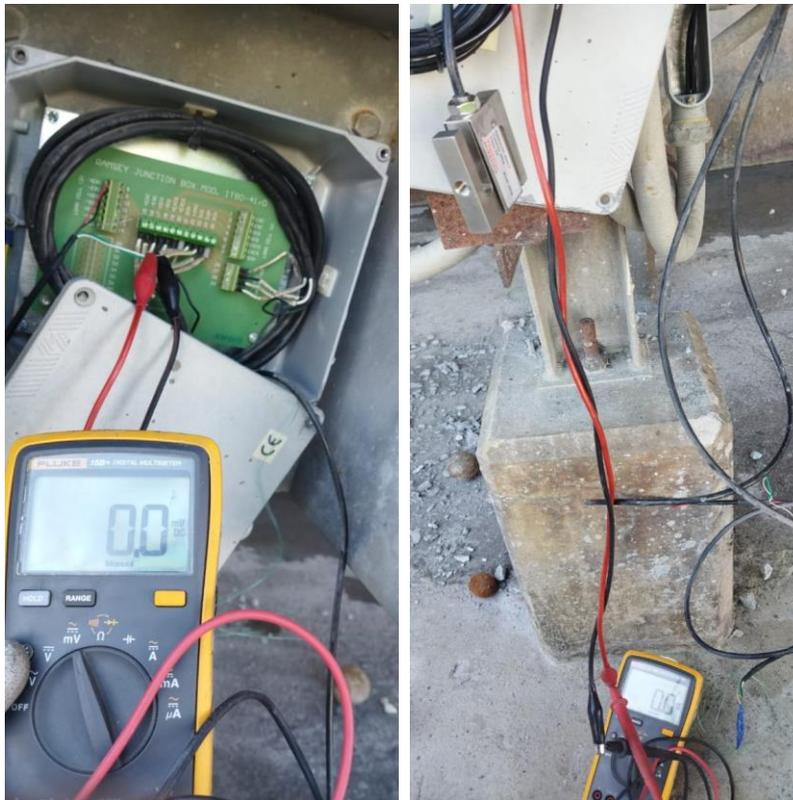
$$\text{Resolución de la celda} * \text{Voltaje de alimentación} = \text{Capacidad de la celda} \quad (10)$$

$$3 \frac{\text{mV}}{\text{V}} * 4.98 \text{ V} = 14.94 \text{ mV}$$

El flujo de **80.308 ton/h** marca menor a 14.94 mV, siendo optimo el diseño de flujo. Se verifico el estado de las celdas y se procedió a realizar el balanceo de celdas.

Figura 33

Valor en vacío de las celdas de carga nuevas.



Nota. El valor en vacío de una celda de carga debe de estar +/-0.3 mV. Después del cambio se puede visualizar 0.0 mV en ambas celdas. Fuente: Elaboración propia.

Una vez corregido los errores se obtuvo la siguiente tabla.

Tabla 10

Mantenimiento correctivo

Corrección de errores		
Nivelación	Ok	0 mm
Alineación	Ok	0 mm
Centrado	Ok	0 mm
Celda de carga 1	Ok	0.0 mV
Celda de carga 2	Ok	0.0 mV
Balanceo de celdas de carga	Ok	4.1mV - 4.1mV
Cálculo de flujo de carga	Ok	80.308 T/h

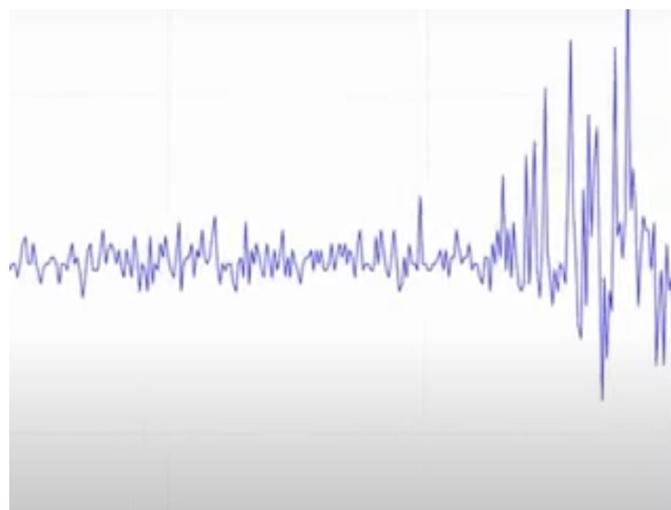
Nota. Después del mantenimiento los errores están dentro del rango. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede analizar el error en el módulo de una balanza es directamente proporcional a las vibraciones.

En este caso el pico de vibraciones no fue tan alto pero la aceleración no era constante, esto se puede ver reflejado en la siguiente figura.

Figura 34

Vibraciones en aceleración antes del mantenimiento mecánico.



Nota. La aceleración no es constante. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

En este capítulo se analizarán los resultados del mantenimiento mecánico, el tipo de Calibración que se utilizará y la ubicación óptima del sensor de vibraciones. En base a las inyecciones de fallos (PIF) que se realizaron antes de la intervención del mantenimiento se contrastará las vibraciones con las calibraciones del punto Span después del mantenimiento mecánica finalizado.

4.1. Mantenimiento mecánico.

En cuanto al mantenimiento mecánico se realizó la nivelación, alineación y centrado de polines con las consideraciones mecánicas del fabricante.

Tabla 11

Resultados del mantenimiento mecánico.

Mantenimiento Mecánico			
Nivelación	Desde -2, hasta +1	Polines	Ok
Alineación	1200 mm	Distancia entre polines	Ok
Centrado de polines	12	Polines	Ok

Nota. Esta tabla muestra los resultados del mantenimiento mecánico en planta concentradora. Fuente: Elaboración propia.

Calibración.

Se verifico el tipo de calibración a ejecutar: el método es por PESAS PATRON.

Figura 35

Tipo de calibración (Pesas Patrón).



Nota. La calibración por pesas patrón se dio con dos pesas de 20 kg, teniendo una suma total de 40 kg. Estas pesas se ubicaron en la misma distancia que el polín de pesaje. Fuente: Elaboración propia.

Posicionamiento del sensor

En cuanto al posicionamiento del sensor, se recomienda:

- Realizar la instalación del sensor en la estructura interna dentro del módulo tanto en Merrick y Ramsey.

Figura 36

Posición de sensores en módulos Merrick y Ramsey.



Nota. La posición de estos sensores de vibración es tomando las consideraciones para posmantenimiento (no afectaría en los cronogramas de mantenimiento de la unidad minera). En ambas marcas los sensores van internamente de la estructura con el fin de que no sean dañados por el material que transporta la faja. Fuente: Elaboración propia.

Para este modelo Ramsey 10-20-1 el sensor de vibración se instaló dentro del módulo en la estructura del sistema pivot la misma que sostiene el bastidor.

Inyección de fallos PIF

Se realizó la prueba de inyección de fallos según las facilidades técnicas de la Unidad Minera.

Tabla 12

Inyección de pruebas de fallos en módulo 10-20-1 Ramsey

Punto para calibración	Máximo - Mínimo	Inyección de fallo realizado
Velocidad de faja	Mínimo	NO
	Máximo	SI
Módulo	Desnivelado	SI
	Desalineado	SI
	Desbalanceado en celdas de carga	SI
Bastidores	Certificados	SI
	Comerciales	NO

Nota. Se realizó pruebas de inyección con el módulo desnivelado, desalineado y con las celdas desbalanceadas antes de la intervención. Se corrobora las vibraciones con los bastidores y polines certificados poscalibración. Fuente: Elaboración Propia.

Por facilidades técnicas y operativas de la Unidad Minera solo se realizó las pruebas de inyección con el módulo desnivelado, con los bastidores y polines pesométricos a una velocidad de 60 Hz.

Descomposición vectorial de la fuerza en polín.

Al tratarse de módulo de pesaje Ramsey se realizó la descomposición vectorial de los componentes.

Se usó dos pesas patrón de 20 kg, teniendo un peso patrón de 40 kg, los valores de las distancias y pesas patrón se ingresaron al integrador. Los resultados del cálculo fueron:

Tabla 13

Cálculos de pesaje.

Cálculo de pesaje	
Peso en polín pesador	40.56 Kg
Rate (Flujo)	80.31 T/h
Weigth Span (Zona de pesaje)	1.2 m
Load (Carga)	33.8 kg/m
Speed (Velocidad)	0.66 m/s
ConCal	8.389 toneladas

Nota. En la tabla se muestra el ConCal (indicador para el contraste del punto Span). Fuente: Elaboración propia.

En cuanto los valores de vibración se mantengan dentro del rango y el mantenimiento sea optimo, los cálculos serán igual al valor que muestre el integrador.

En la figura siguiente se muestra el ConCal calculado con valores de vibraciones estables.

Figura 37

ConCal

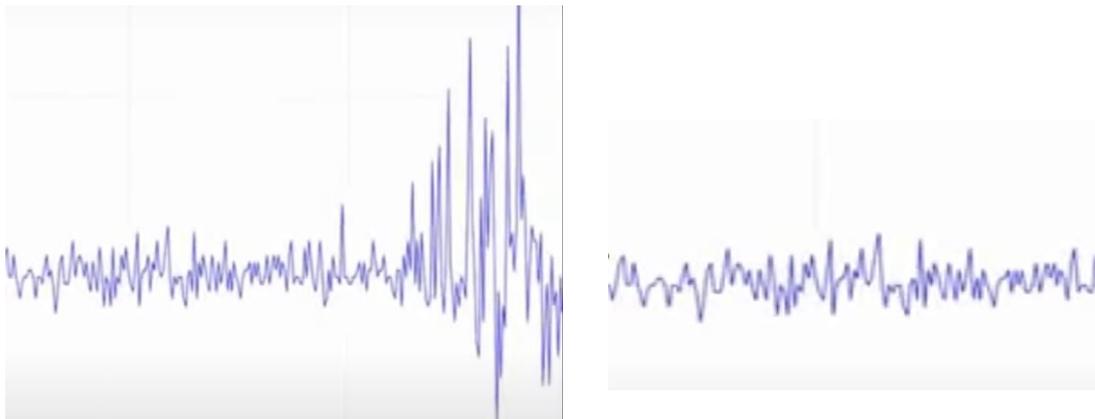


Nota. El ConCal es un valor que la marca Ramsey brinda como punto de referencia para ver la exactitud de la calibración. Fuente: Elaboración propia.

Contraste de vibración entre las vibraciones en zero y Calibración del punto Span con pesas de 40 kg.

Figura 38

Contraste de vibraciones PUNTO SPAN



Nota. Como modo de prueba se realizó la Captura de imagen de un módulo de Arduino MMA8451. Calibración punto Span (antes de la intervención de mantenimiento) Vs Punto Span después del mantenimiento y calibración. Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra la imagen hay un cambio de vibración desde el punto Span actual hasta el punto Span inicial con un peso de 40.56 kg en el polín pesador (33.8 kg/m).

Sin embargo, los datos del ConCal, el % de error del zero y Span están dentro de los parámetros según la OIML.

Resultados de calibración ZERO

Figura 39

Calibración punto Zero



Nota. En la figura se aprecia el porcentaje de error capturado para esta calibración (0.01%). Fuente: Elaboración propia.

En la parte inferior de la figura se aprecia el tonelaje acumulado para el error punto Zero (0) Toneladas. Esto indica una estabilidad y correcta calibración en el punto Zero.

Resultados de calibración SPAN

Figura 40

Calibración punto Span



Nota. En la imagen capturada del integrado se puede apreciar una diferencia de 2 kg con referencia al ConCal teórico ya calculado anteriormente. Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de error

El porcentaje de error se da en la Ecuación 10:

$$\frac{\text{Medicion} - \text{ConCal}}{\text{ConCal}} * 100\% = \% \text{ De Error} \quad (11)$$

Remplazando los datos:

$$\frac{8.391 \text{ Ton} - 8.389 \text{ Ton}}{8.389 \text{ Ton}} * 100\% = 0.02\%$$

En la Figura 41, se contrasta el porcentaje de error.

Figura 41

Porcentaje de error contrastado.



Nota. El porcentaje de error es de 0.02% el cual se encuentra dentro de los parámetros según la OIML. Fuente: Elaboración propia.

Según estos resultados en el Zero y Span los parámetros y las vibraciones constantes indicarían que la balanza dinámica puede estar operando mientras que no tengamos valores altos de vibración.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se logró desarrollar la implementación del proyecto cumpliendo con los objetivos: de Analizar las consideraciones mecánicas óptimas para un análisis de vibraciones y Evaluar el impacto del sistema de análisis vibracional en la precisión del pesaje, comparando resultados antes de su implementación.
- En base al error inicial encontrado en el punto SPAN de -32.78%, se tomó en cuenta las consideraciones mecánicas de mantenimiento del fabricante para ser corregidas.
- Se aplicó un cálculo de descomposición vectorial del polín de pesaje para obtener el ConCal correcto para la calibración con pesas Patrón. Por otro lado, se realizó el cálculo de la capacidad de las celdas de carga para el flujo de diseño.
- Se calibró el punto Zero obteniendo un error de 0.00%. Por otro lado, se realizó la repetitividad para los valores de calibración en Zero para la confiabilidad del servicio. Además, se calibró el punto SPAN con un error (0.02%) dentro de los parámetros según la OIML. Este error representó 2 kg de 8.389 toneladas de carga y se realizó la repetitividad de la calibración del punto Span para la confiabilidad del servicio.
- Se contrastó las vibraciones en espectro antes de la intervención mecánica para análisis de datos, demostrando que el exceso de vibración es producido por la descalibración mecánica. Al finalizar el trabajo se

contrasto las vibraciones en espectro después de la intervención mecánica para el punto span obteniendo una data estable para su funcionamiento, corroborando la viabilidad del servicio.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda tomar datas de vibración de otros modelos y marcas de balanzas dinámicas para un análisis de los espectros de vibraciones para recopilación de toma de datos.
- Analizar los espectros por cada tipo de inyección de fallos.
- Se recomienda hacer un PETS para cumplir con todo el proceso de mantenimiento y la inyección de fallos para cada modelo de balanza.
- Se recomienda realizar un IPERC Línea Base donde se evaluará todos los peligros de estas actividades y poder estandarizar en las Unidades Mineras como una actividad segura.
- Se recomienda extender el tiempo de parada de planta para las actividades de mantenimiento, inyección de fallos y calibración del Zero y span.

REFERENCIAS

- Cardona, G. y Garavito, C. (2022). Plan de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas transportadoras en una planta productora de concreto. Bogotá: [Tesis en línea] Universidad ECCI
- Disponible:
- <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/3066/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (CAR) Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2009). Guía para la explotación, mitigación y recuperación de canteras. Recuperado de <http://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/35921>
- Instrumentación y control (2011). Ajuste de Zero y Span en transmisores análogos. Recuperado en: <https://instrumentacionycontrol.net/ajustes-de-zero-y-span-en-transmisores-analogicos-siempre-nos-toparemos-con-alguno/>
- EURAMET (Noviembre, 2015). Guía para la calibración de Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático. cg-18/v4.0 Centro Español de Metrología.
- Disponible en: https://www.cem.es/sites/default/files/euramet_cg-18_calibracionipfna_0.pdf
- Mendoza, E. (2023). Propuesta del instrumento Side Travel en la faja transportadora de mineral en el área de chancado Pebbles en Antamina, 2023. [Tesis de grado]. Universidad Continental
- Disponible en:
- https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12802/2/IV_FI_N_109_TE_Mendoza_Alderete_2023.pdf

Write, G. (2010). Introducción al Análisis de Vibraciones. Azima DLI USA

Disponible: <https://www.termogram.com/images/pdf/analisis-vibraciones/introduccion-al-analisis-de-vibraciones-azima-dli.pdf>

ERBESSD INSTRUMENTS® (2024). 10 principios de Análisis de Vibraciones que debes conocer. Disponible:

<https://www.erbessd-instruments.com/es/articulos/analisis-de-vibraciones/>

Organización Internacional de Metrología Legal (2022). Innovando en Metrología por un Mundo más exacto. España. Disponible en:

<https://www.cem.es/es/divulgacion/publicaciones/estrategia-oiiml>

CAR (2009). Sistemas extractivos mineros. Disponible en:

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/46702/Anexo%2011.%20Marco%20Te%20C3%B3rico.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

OSINERGMIN. (Mayo 2017). Reporte Semestral de Monitoreo del Mercado de Productos Mineros Segundo Semestre del 2016. Disponible en:

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1400830/RSMMM-A%20C3%B1o%205-N%20C2%BA%2010%3A%202016-II.pdf?v=1603674698>

Organización Internacional de Metrología Legal (2022). Innovando en Metrología por un Mundo más exacto. España. Disponible en:

<https://www.cem.es/es/divulgacion/publicaciones/estrategia-oiiml>

Escobar y Martínez (Agosto 2021). ¿Cuáles son los componentes principales de las bandas transportadoras? Disponible en:

<https://www.eymproductostecnicos.com/componentes-de-las-bandas-transportadoras>

Rev. Tecnología Minera (2023). RTS Automation: conoce los servicios en equipos radiométricos. Disponible en: <https://tecnologiaminer.com/actualidad/rts-automation-conoce-los-servicios-en-equipos-radiometricos-1688133098>

Informe de GAMT (2023). Medición de vibración en el monitoreo de condición con sensores inalámbricos: optimización de fajas transportadoras.

Disponible en: <https://gamtperu.com/analisis-vibracional/medicion-de-vibracion-en-el-monitoreo-de-condicion-con-sensores-inalambricos/>

Martínez, J. (2019). Determinación del Análisis de las vibraciones producidas por las voladuras realizadas en una mina de extracción de oro ubicada en el Municipio de Buritica Antioquía. [Trabajo de grado]. Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/8652>

Auris, A. y Cárdenas, F. (2019). Diseño y Automatización de un Sistema de Bandas Transportadoras modulares para la Distribución de Jabas en la Empresa Supermercados Peruanos S.A. [Tesis] Universidad Nacional del Callao

Cortes, R. (2021). Cambio de Diseño de Polines de Correa Transportadora de Mineral cv110 –Minera Spence Bhp para aumentar su disponibilidad. Chile: [Tesis] Universidad Técnica Federico Santa María

Disponible: <https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/f0f8f958-1c8a-4046-b5f2-cc219a6b3190/content>

RTS AUTOMATION SAC. (2016). Catálogo Minería y Afines.

Disponible en: <https://rts-auto.com/rec/catalogo2016.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1. Características técnicas del sensor de vibración

Especificaciones técnicas	
Modelo	HF+s (base de acero inoxidable) HF+ (base de aluminio)
Dimensión	39 x 39 x 35 mm
Peso	97 g HF+s (base de acero inoxidable) 73 g HF+ (base de aluminio)
Material	Lexan™
Color	Azul
Fijación	Pegado o Atornillado
Señalización visual (LED)	Rojo/Verde
Acelerómetro	MEMS triaxial
Límite de impacto del acelerómetro	10.000 g en 0,2 ms
Temperatura de operación^{1,2}	-10°C ≤ T ≤ 84°C
Temperatura de operación certificada para uso en atmósferas explosivas	-10°C ≤ T ≤ 79°C
Certificación	
Homologación/Certificación	ANATEL/CE/ACMA/FCC/IC/INMETRO
Grado de protección	IP66/IP68/IP69
Atmósfera explosiva	Ex ma IIB T6 Ga Ex ta IIIC T85 °C Da
Batería	
Tensión	3 V
Autonomía³	5 años
Monitoramento contínuo (Telemetría)	
Intervalo de monitoreo	1 a 60 min
Métricas monitoreadas *En desarrollo	Aceleración RMS, Peak* y Peak to Peak*
	Velocidad RMS, Peak* y Peak to Peak*
	Desplazamiento RMS, Peak* y Peak to Peak*
	Aceleración Distorsión (Skewness)*
	Aceleración Curtosis*
	Aceleración Factor de Cresta (FC)*
	Aceleración Factor de Cresta + (FC+)*
Resolución de temperatura	0,01°C
Bandas de frecuencia	2 Hz a 13 kHz (configurable)
Perfil de monitoramento⁴	2 perfiles
Respuesta en frecuencia (± 3 dB)	7,6 kHz
Rango de amplitud	Hasta ±16 g
Memoria⁵	51.200 muestras (configurable)
Comunicación y Sistema	
Bluetooth	BLE 5.3/2400-2483,5 MHz
Alcance⁶	100 m
Potencia de salida RF	0,4 dBm
Comunicación con la App	Android e iOS
<small>1- Es posible vigilar activos cuya temperatura supere los 84°C, especialmente activos con características intermitentes y con temperatura ambiente inferior a 24°C. Sin embargo, Dynamox no ofrece garantía en estos casos. Condición específica para la aplicación fuera de atmósferas explosivas. 2- La aplicación en temperaturas inferiores a 0°C genera impacto en la autonomía de la batería. Este efecto empeora cuanto menor es la temperatura, estimándose una reducción de alrededor del 50% de la vida útil en aplicaciones a -20°C. Condición específica para la aplicación fuera de atmósferas explosivas. 3- Valor estimado para una condición de vigilancia estándar con 1 o 2 recogidas espectrales diarias, intervalos de telemetría de 5 a 30 minutos y temperatura de funcionamiento entre 20°C y 60°C. 4- Los perfiles de monitorización pueden entenderse como configuraciones establecidas de métricas de vibración (en velocidad, aceleración y desplazamiento) en una banda de frecuencia determinada. 5- Cada métrica de telemetría corresponde a la asignación de una muestra en memoria. En la práctica, el tiempo de llenado de la memoria depende del intervalo de muestreo y del número de métricas configuradas. Recuerde que cuando se realiza una recogida de datos (App o Gateway), la memoria se vacía. 6- Referencia en campo abierto. La distancia de comunicación Bluetooth puede variar en función de los obstáculos, las interferencias y el dispositivo (teléfono móvil o Gateway)</small>	

Monitoreo espectral y forma de onda									
Herramientas de análisis	Espectro								
	Filtros de frecuencia								
	Envolvente (demodulación)								
	Cepstrum								
	Cascada espectral								
	Autocorrelación								
	Forma de onda circular e orbital								
Métricas avanzadas: RMS en multibandas, Peak to Peak , Curtosis, FC, FC+, Energía de Carpet y Envolvente RMS,									
Respuesta en frecuencia ($\pm 5\%$)	7 kHz								
Respuesta en frecuencia ($\pm 3\text{dB}$)	7,6 kHz								
Densidad de ruido espectral	< 75 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$								
Tasa de muestreo	Hasta 26 kHz								
Resolución mín. en frecuencia	0,006 Hz (8 bits) y 0,012 Hz (16 bits)								
Resolución mín. en amplitud	16 mg (8 bits) y 61 μg (16 bits)								
Rango de amplitud¹	Hasta ± 16 g								
Líneas de resolución (LOR)	98.304 (uniaxial) y 32.768 (triaxial)								
Frecuencia máxima	571 Hz a 13 kHz (configurable)								
Tiempo máx. de recolección²	172,2 s (uniaxial) y 57,3 s (triaxial)								
Configuración de monitoreo espectral									
Triaxial simultáneo									
Frec. Máx. (Hz)	Duración (s)						RPM min. ³		
13.145	0,08	0,16	0,31	0,62	1,25	2,5	24,0		
6.572	0,16	0,31	0,62	1,25	2,5	5,0	12,0		
2.629	0,4	0,8	1,6	3,1	6,2	12,5	4,8		
1.314	0,8	1,6	3,1	6,2	12,5	24,9	2,4		
571	1,8	3,6	7,2	14,3	28,7	57,3	1,0		
N. líneas	1.024	2.048	4.096	8.192	16.384	32.768*	-		
Uniaxial									
Frec. Máx. (Hz)	Duración (s)								RPM min. ³
13.145	0,08	0,16	0,31	0,62	1,25	2,5	3,7	7,5	8,0
6.572	0,16	0,31	0,62	1,25	2,5	5,0	7,5	15,0	4,0
2.629	0,4	0,8	1,6	3,1	6,2	12,5	18,7	37,4	1,6
1.314	0,8	1,6	3,1	6,2	12,5	24,9	37,4	74,8	0,8
571	1,8	3,6	7,2	14,3	28,7	57,3	86,0	172,0	0,3
N. líneas	1.024	2.048	4.096	8.192	16.384	32.768	49.152	98.304*	-
¹ - La resolución de amplitud calculada se basa en la salida digital del acelerómetro en $\mu\text{g}/\text{LSB}$ o mg/LSB . ² - Comprueba la configuración en la tabla "Configuración de monitoreo espectral". ³ - RPM mínimas basadas en el tiempo de adquisición más largo considerando el monitoreo de una vuelta completa del eje. * - Configuración disponible con 8 bits de resolución de amplitud.									

ANEXO 2. Consola del integrador

Utilización de la consola

La consola Micro-Tech tiene cuatro partes principales, que son las siguientes:

- Pantalla
- Teclado
- Teclas de pantalla
- LED de estado

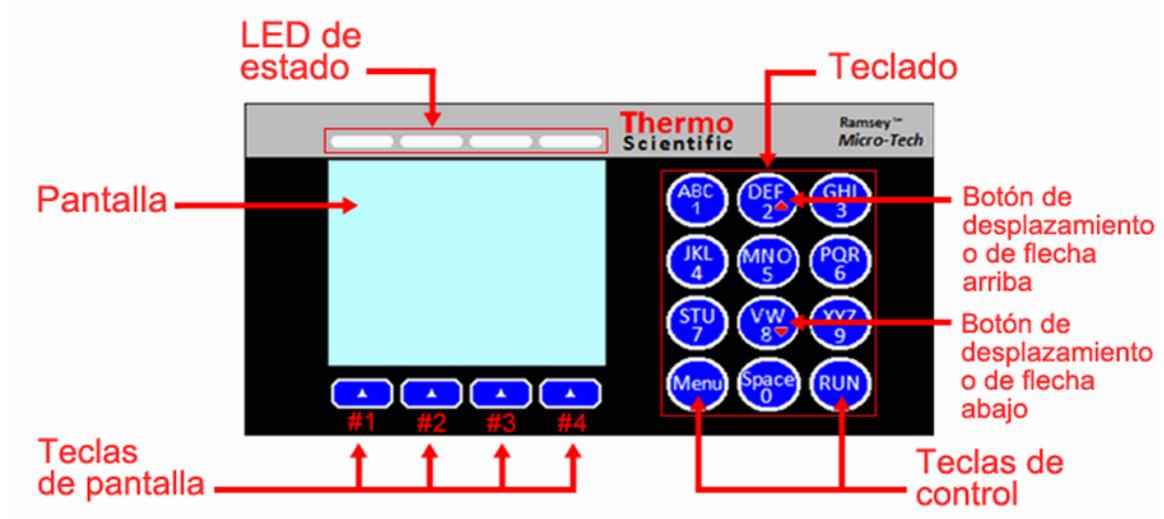
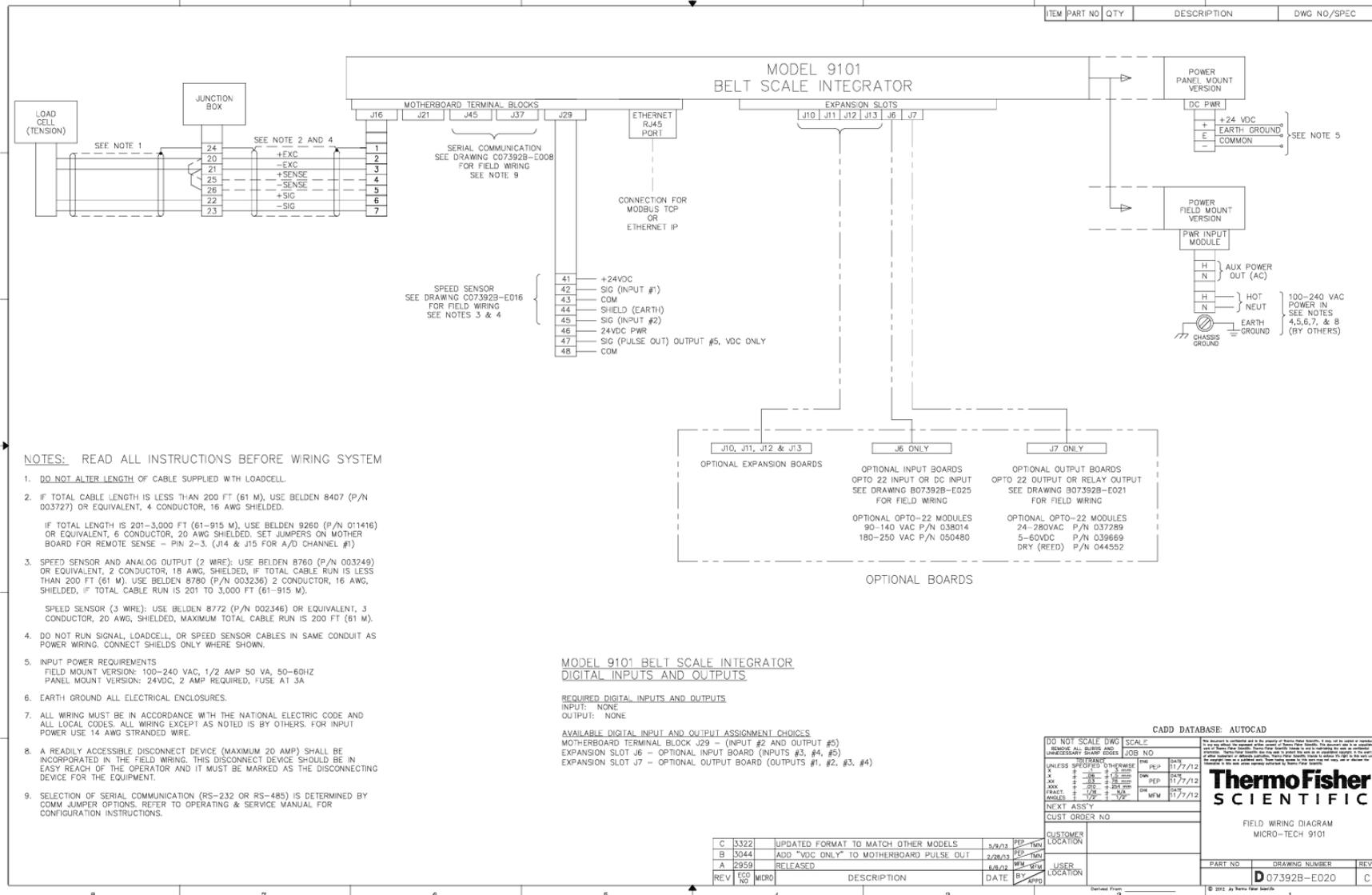


Figura 2-1. Funciones principales de la consola Micro-Tech

ANEXO 3. Diagrama de conexiones del integrador



ANEXO 4. Parámetros de configuración para el operador

ZERO# <input style="width:50px;" type="text"/>	MICRO TECH INTEGRATOR	MODEL # <input style="width:50px;" type="text"/>	
SPAN# <input style="width:50px;" type="text"/>			
DISPLAY SCROLL			
1 MEASURE UNITS	<input style="width:50px;" type="text"/>	1C CURRENT OUT #1 DAMPING <input style="width:50px;" type="text"/>	
2 TOTALIZATION UNITS	<input style="width:50px;" type="text"/>	CURRENT OUT #2 DAMPING <input style="width:50px;" type="text"/>	
3 LENGTH UNITS	<input style="width:50px;" type="text"/>	6 REMOTE COUNTER DIV. <input style="width:50px;" type="text"/>	
4 RATE UNITS	<input style="width:50px;" type="text"/>	7 RMT CTR PULSE WIDTH <input style="width:50px;" type="text"/>	
5 LOADCELL UNITS	<input style="width:50px;" type="text"/>	ALARMS	
6 LANGUAGE	<input style="width:50px;" type="text"/>	RATE ALARM	
9 RUN DISPLAY	<input style="width:50px;" type="text"/>	1A LO RATE SET POINT <input style="width:50px;" type="text"/>	
10 DAMPING DISPLAY	<input style="width:50px;" type="text"/>	1B HIGH RATE SET POINT <input style="width:50px;" type="text"/>	
14 LOAD CELL FAIL DELAY	<input style="width:50px;" type="text"/>	LOAD ALARM	
SCALE DATA SCROLL			
1 NO. OF SCALES	<input style="width:50px;" type="text"/>	2A LOW LOAD SET POINT <input style="width:50px;" type="text"/>	
1A TYPE OF SCALE	<input style="width:50px;" type="text"/>	2B HIGH LOAD SET POINT <input style="width:50px;" type="text"/>	
1B LOAD CELL(S) CONNECTED TO CHANNEL	<input style="width:50px;" type="text"/>	SPEED ALARM	
2 SCALE CAPACITY	<input style="width:50px;" type="text"/>	3A LOW SPEED SET POINT <input style="width:50px;" type="text"/>	
3 SCALE DIVISIONS	<input style="width:50px;" type="text"/>	3B HIGH SPEED SET POINT <input style="width:50px;" type="text"/>	
4 SCALE CODE #	<input style="width:50px;" type="text"/>	CALIB. DATA SCROLL	
4A PIVOT TO LOADCELL	<input style="width:50px;" type="text"/>	1 CALIB. MODE	<input style="width:50px;" type="text"/>
4B # OF WEIGH IDLERS	<input style="width:50px;" type="text"/>	2 R-CAL:RESISTOR (OHMS)	<input style="width:50px;" type="text"/>
4C PIVOT/ 1ST IDLER	<input style="width:50px;" type="text"/>	3 R-CAL: CAL-CON	<input style="width:50px;" type="text"/>
4D PIVOT/ 2ND IDLER	<input style="width:50px;" type="text"/>	4 CHAIN: WEIGHT (LBS/FT)	<input style="width:50px;" type="text"/>
4I PIVOT/TEST WT HGT	<input style="width:50px;" type="text"/>	5 CHAIN: CAL-CON	<input style="width:50px;" type="text"/>
4L PIVOT/TEST WT LGT	<input style="width:50px;" type="text"/>	6 TEST WEIGHTS (LBS)	<input style="width:50px;" type="text"/>
4M PIVOT TO CARR. HGT.	<input style="width:50px;" type="text"/>	7 WEIGHT: CAL-CON	<input style="width:50px;" type="text"/>
4N ROLL TO CARR. HGT.	<input style="width:50px;" type="text"/>	8 CALIB. INTERVAL	<input style="width:50px;" type="text"/>
40 # OF LOAD CELLS	<input style="width:50px;" type="text"/>	9 CALIB. DATE	<input style="width:50px;" type="text"/>
5 IDLER SPACING	<input style="width:50px;" type="text"/>	10 R-CAL:MAT'L FACTOR	<input style="width:50px;" type="text"/>
6 CONV. ANGLE	<input style="width:50px;" type="text"/>	CHAIN:MAT'L FACTOR	<input style="width:50px;" type="text"/>
7 LOAD CELL CAP.	<input style="width:50px;" type="text"/>	WEIGHT:MAT'L FACTOR	<input style="width:50px;" type="text"/>
8 LOAD CELL SENS.	<input style="width:50px;" type="text"/>	11 NO. OF TEST DURATION	<input style="width:50px;" type="text"/>
9A LOAD CELL #1 RES.	<input style="width:50px;" type="text"/>	12 TEST DURATION:	
9B LOAD CELL #2 RES.	<input style="width:50px;" type="text"/>	FULL <input type="checkbox"/> PART. <input type="checkbox"/> MAN. <input type="checkbox"/>	
10 SPEED INPUT	<input style="width:50px;" type="text"/>	BELT LENGTH	<input style="width:50px;" type="text"/>
11 ZERO DB RANGE	<input style="width:50px;" type="text"/>	NUMBER OF REVS.	<input style="width:50px;" type="text"/>
12 W & M MODES	<input style="width:50px;" type="text"/>	TEST TIME	<input style="width:50px;" type="text"/>
13 LOAD CELL BALANCE	<input style="width:50px;" type="text"/>	13 AUTO ZERO TRACK	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO
I/O DEFINE SCROLL			
1 CURRENT OUT #1 DEFINE	<input style="width:50px;" type="text"/>	14 AZ TRACK RANGE	<input style="width:50px;" type="text"/>
CURRENT OUT #2 DEFINE	<input style="width:50px;" type="text"/>	15 AZT STEP	<input style="width:50px;" type="text"/>
1A CURRENT OUT #1 RANGE	<input style="width:50px;" type="text"/>	16 AZ TRACK MAX. DEV.	<input style="width:50px;" type="text"/>
CURRENT OUT #2 RANGE	<input style="width:50px;" type="text"/>	17 AZT WARM TIME	<input style="width:50px;" type="text"/>
1B CURRENT OUT #1 DELAY	<input style="width:50px;" type="text"/>	19 MAX. BELT SPEED	<input style="width:50px;" type="text"/>
CURRENT OUT #2 DELAY	<input style="width:50px;" type="text"/>	21 ZERO REFERENCE	<input style="width:50px;" type="text"/>
		22 CENTER OF ZERO	<input style="width:50px;" type="text"/>
		23 CENTER OF ZERO RANGE	<input style="width:50px;" type="text"/>

Thermo
SCIENTIFIC

(122831-A)

PROJECT FILE NO.