

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

**“IMPLEMENTACIÓN DEL MEDIDOR DE CICLOS DE  
FLEXIÓN PARA LA DETECCIÓN DE ROTURA DE  
CABLES DE PALA EN LAS UNIDADES MINERAS DE  
TAJO ABIERTO A CARGO DE LA EMPRESA  
INGENIERÍA SERVICIOS CONSTRUCCIÓN Y  
REPRESENTACIONES SAC – LIMA 2025”**

Trabajo de suficiencia profesional para optar al título profesional  
de:

Ingeniero industrial

**Autores:**

Erick Jhonnattan Sulca Huamani

Hugo Revilla Hernandez

**Asesor:**

Mg. Eluard Alexander Mendoza Zenozain

<https://orcid.org/0000-0002-1051-9207>

Lima - Perú

**2025**

## Informe de Similitud



Página 2 de 113 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trm:oid::1:3323435178




### 7% Similitud general

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

#### Filtrado desde el informe

► Bibliografía

#### Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

#### Marcas de integridad

##### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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**

Este trabajo de suficiencia profesional va dedicado, a mis padres Victoriano Sulca Gómez y Rosa María Huamani de la Cruz, que siempre me brindaron su amor, valores y su paciencia que me permitieron llegar a cumplir mis objetivos en la vida, asimismo a mi hija Amanda Saori que también fue mi motivación para alcanzar este objetivo, estoy agradecido por inculcar en mí los valores del esfuerzo, honestidad, responsabilidad y todo lo que soy, es gracias a ellos.

Erick Jhonnattan Sulca Huamani

Quiero dedicar este trabajo de suficiencia profesional a mis padres Sofia y Gilberto porque ellos son la razón de mi vida, a mis papitos Virginia y Jorge porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mis hijos, hermanos, esposa y a mi compadre Jorge Luis por brindarme sus palabras de aliento, su compañía y el tiempo necesario para realizarme profesionalmente y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera han contribuido en el logro de convertirme en un profesional.

Hugo Revilla Hernández

## Agradecimiento

A Dios por brindarnos salud y amor por derramar su protección en mi persona y por permitir tener un logro más en la vida. A mis padres e hija que siempre me transmitieron sus buenos valores, paciencia, amor y sus valiosos consejos. Agradecimiento a la Universidad Privada del Norte por la formación profesional y a la empresa INSCORE SAC por la oportunidad de poder utilizar sus conocimientos para poder alcanzar mis metas y mi crecimiento profesional.

Erick Jhonnattan Sulca Huamani

Quiero agradecer primero a Dios por darme el don de ser perseverante y así poder alcanzar mi meta de lograr ser profesional.

A mi alma mater Universidad Privada del Norte que nos abrió sus puertas para lograr ser mejores personas con valores y buenos profesionales.

A los profesores que con el pasar del tiempo y su experiencia se convirtieron en ejemplo a seguir.

A mis compañeros ya que con ellos vivimos momentos buenos y malos compartiendo nuestras experiencias en las aulas.

Hugo Revilla Hernandez

## Tabla de contenido

Dedicatoria .....	3
Agradecimiento .....	4
Tabla de contenido .....	5
Índice de tablas .....	6
Índice de figuras.....	8
RESUMEN EJECUTIVO.....	9
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	24
CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	37
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	77
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS.....	92
ANEXOS .....	99

## Índice de tablas

Tabla 1.	Unidades de negocio de INSECORE SAC.....	14
Tabla 2.	Análisis FODA .....	17
Tabla 3.	Actividades económicas de INSECORE.....	20
Tabla 4.	Proveedores de INSECORE .....	23
Tabla 5.	Matriz de priorización .....	48
Tabla 6.	Datos recopilados .....	51
Tabla 7.	Diagnóstico de la falta de monitoreo y detección temprana de desgaste. ....	52
Tabla 8.	Datos recopilados .....	53
Tabla 9.	Diagnóstico de las deficiencias en la capacitación del personal técnico. ....	53
Tabla 10.	Programación de la ejecución del proyecto .....	61
	.....	61
Tabla 11.	Diseño y desarrollo del sistema de medición de ciclos de flexión ....	77
Tabla 12.	Optimización de tiempos de operación y mantenimiento .....	78
Tabla 13.	Incremento de vida útil de los cables de pala minera .....	79
Tabla 14.	Capacitación del personal técnico .....	80
Tabla 15.	Reducción de Roturas Inesperadas de Cables .....	84
Tabla 16.	Optimización de Tiempos de Operación y Mantenimiento.....	85

Tabla 17.	Incremento de la Vida Útil de los Cables .....	85
Tabla 18.	Capacitación del Personal Técnico .....	86
Tabla 19.	Índices de costos .....	87

## Índice de figuras

Figura 1.	Logo INSECORE .....	19
Figura 2.	Ubicación de INSECORE.....	19
Figura 3.	Organigrama de INSECORE.....	21
Figura 4.	Flujo de procesos de selección .....	39
Figura 5.	Diagrama de Ishikawa .....	47
Figura 6.	Pareto de problemas.....	49
Figura 7.	Flujograma de mantenimiento .....	54
Figura 8.	Implementación de medidor de ciclos de flexión.....	67
Figura 9.	Diseño del prototipo de medidor de ciclos .....	68
Figura 10.	Verificación de datos de la implementación del medidor de ciclos de flexión .....	69
Figura 11.	Cable de acero con fatiga.....	69

## RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo de suficiencia profesional, desarrollado en colaboración con la empresa INSECORE SAC, tuvo como objetivo principal la implementación de un medidor de ciclos de flexión para la detección temprana de roturas en los cables de las palas mineras utilizadas en operaciones de tajo abierto. Se contextualiza el problema donde los cables de las palas mineras, sometidos a altos niveles de estrés por ciclos repetitivos de flexión y tensión, sufrían desgaste acelerado y roturas inesperadas, lo que generaba paradas operativas, incremento de costos y riesgos de seguridad. Se describe la empresa INSECORE SAC, su trayectoria en el sector minero. Por otro lado, se presentan los fundamentos teóricos que sustentan el proyecto; se abordan conceptos clave como la estructura y composición de los cables de acero, los factores que influyen en su desgaste (fatiga, corrosión, abrasión) y las tecnologías de monitoreo predictivo utilizadas en la industria minera. Finalmente se concluye que la implementación del medidor de ciclos de flexión fue un éxito, transformando un desafío operativo en una solución innovadora que mejoró la eficiencia, redujo costos y aumentó la seguridad en las operaciones mineras.

**Palabras claves:** detección, rotura de cables, medidor de ciclos

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Contextualización de la experiencia profesional

Desde el año 2019, se ha trabajado de manera constante en la empresa INSECORE SAC, contribuyendo a la mejora del mantenimiento y rendimiento de los cables de las palas mineras en unidades de tajo abierto. Nuestra experiencia se ha enfocado en optimizar recursos operativos, reducir los tiempos de inactividad y garantizar la seguridad en las operaciones, implementando soluciones tecnológicas y metodológicas que aborden los desafíos más importantes de la industria.

Una de nuestras primeras tareas fue realizar un análisis exhaustivo de los datos operativos para identificar los problemas más críticos relacionados con la rotura y el desgaste de los cables. Este diagnóstico inicial nos permitió comprender las causas más comunes de fallas y sentar las bases para el desarrollo de soluciones adecuadas. Como resultado de este esfuerzo, diseñamos e implementamos un medidor de ciclos de flexión, una herramienta que se convirtió en un componente esencial para monitorear el desempeño de los cables en tiempo real. Este dispositivo no solo registra los ciclos de trabajo, sino que también identifica patrones de desgaste, permitiendo anticipar fallas potenciales y optimizar las estrategias de mantenimiento preventivo.

El desarrollo e integración de esta tecnología requirió una colaboración estrecha con equipos multidisciplinarios, incluidos ingenieros, técnicos y especialistas en mantenimiento. Participamos activamente en la capacitación del personal técnico, asegurándonos de que comprendieran cómo utilizar e interpretar los datos generados por el medidor de ciclos. Esto fortalecía las competencias internas de la organización y garantizaba una transición fluida hacia un modelo de mantenimiento más eficiente.

Durante estos años, también nos enfocamos en establecer un sistema de

monitoreo continuo que permitiera realizar intervenciones de mantenimiento programadas y oportunas. Este enfoque no solo redujo significativamente los tiempos muertos, sino que también mejoró la seguridad en las operaciones al minimizar el riesgo de fallas inesperadas. Asimismo, el uso del medidor de ciclos de flexión contribuyó al aumento de la vida útil de los cables, disminuyendo los costos operativos y generando un impacto positivo en la productividad general de las operaciones.

Entre los logros más destacados, resaltamos la reducción de interrupciones operativas gracias a la detección temprana de fallas, el incremento en la seguridad laboral al mitigar riesgos asociados con fallas catastróficas y la mejora continua de los procesos de mantenimiento. Además, el impacto económico de nuestras iniciativas ha sido significativo, contribuyendo a la sostenibilidad de las operaciones mineras y fortaleciendo la competitividad de la empresa.

En retrospectiva, nuestra experiencia desde 2019 ha sido un proceso enriquecedor que ha combinado el uso de tecnologías avanzadas con una aplicación práctica de nuestros conocimientos. Cada etapa del proyecto nos ha permitido aprender y crecer, consolidando nuestra posición como actores clave en el desarrollo de soluciones innovadoras para el sector minero. Estamos convencidos de que los logros alcanzados hasta ahora son solo el comienzo y que las lecciones aprendidas serán fundamentales para enfrentar los desafíos del futuro.

## **1.2. Descripción general de la empresa**

### **1.2.1. Reseña histórica**

INSECORE SAC es una empresa peruana que ha desempeñado un papel clave en el sector industrial y minero desde su fundación. Establecida con el objetivo de brindar soluciones especializadas en mantenimiento, seguridad y optimización de procesos, la empresa ha evolucionado hasta convertirse en un referente de calidad y compromiso en el mercado nacional.

Desde sus inicios, INSECORE SAC identificó la necesidad de innovación en los procesos de mantenimiento y operación en las industrias de alto impacto, especialmente en la minería. Su enfoque ha estado orientado a ofrecer servicios y productos tecnológicos que no solo resuelvan problemas inmediatos, sino que también prevengan futuros inconvenientes, garantizando la sostenibilidad y eficiencia de las operaciones.

En sus primeros años, la empresa se enfocó en la implementación de sistemas básicos de mantenimiento preventivo, trabajando de la mano con compañías locales para establecer estándares de calidad y seguridad. Este periodo inicial permitió a INSECORE SAC consolidar su presencia en el sector, ganándose la confianza de clientes clave gracias a su profesionalismo y resultados comprobados.

A medida que las demandas del mercado se hicieron más complejas, la empresa respondió con inversiones en tecnología y capacitación de su equipo humano. Un hito importante en su historia fue la introducción de herramientas avanzadas de monitoreo y diagnóstico, como el desarrollo de sistemas para medir los ciclos de flexión de los cables de las palas mineras. Esta innovación permitió a las empresas mineras identificar patrones de desgaste y prevenir fallas antes de que ocurran, reduciendo significativamente los tiempos muertos y los costos asociados a interrupciones

operativas.

Otro aspecto destacado en la trayectoria de INSECORE SAC ha sido su compromiso con la seguridad y el bienestar de los trabajadores. La empresa ha liderado iniciativas para implementar procedimientos más seguros en las operaciones industriales, promoviendo una cultura de prevención de riesgos que ha beneficiado tanto a sus clientes como a la industria en general.

En paralelo, la organización ha trabajado intensamente en la formación de alianzas estratégicas con proveedores y socios tecnológicos. Estas colaboraciones han permitido a INSECORE SAC mantenerse a la vanguardia de las tendencias globales, integrando soluciones de clase mundial en su portafolio de servicios y productos.

A lo largo de los años, INSECORE SAC ha demostrado un compromiso inquebrantable con la sostenibilidad. Sus iniciativas incluyen la optimización de recursos, la reducción de desperdicios y la promoción de prácticas amigables con el medio ambiente. Este enfoque no solo ha fortalecido su reputación, sino que también ha generado un impacto positivo en las comunidades donde opera.

Hoy en día, INSECORE SAC es reconocida como una empresa líder en su campo, con un historial comprobado de éxitos y una visión clara hacia el futuro. Su equipo de profesionales altamente capacitados, combinado con su infraestructura moderna y su enfoque en la innovación, garantiza que seguirá marcando la diferencia en el sector minero e industrial del Perú.

En perspectiva, la historia de INSECORE SAC es un testimonio de cómo la visión, el esfuerzo y la dedicación pueden transformar una empresa en un motor de cambio positivo para una industria entera. Con un enfoque continuo en la excelencia y la adaptación a los desafíos del mercado, INSECORE SAC está preparada para liderar

el camino hacia un futuro más eficiente, seguro y sostenible. Know How de la empresa

### 1.2.2. Know How de la empresa

**Tabla 1.**

Unidades de negocio de INSECORE SAC.

<b>Unidad de negocio</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Sector</b>
Inspección y Monitoreo	Lima	Servicio especializado en el monitoreo y diagnóstico predictivo de equipos industriales y mineros.
Optimización Operativa	Arequipa	Consultoría y soluciones tecnológicas para mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos.
Innovación Tecnológica	Cusco	Desarrollo de herramientas avanzadas para la prevención de fallas y mantenimiento predictivo.

Fuente: Elaboración propia

#### **Descripción de las Unidades de Negocio:**

##### **1. Inspección y Monitoreo:**

Esta unidad se centra en la implementación de sistemas avanzados para el seguimiento del desempeño de los equipos en tiempo real. Entre sus principales servicios se incluyen la medición de ciclos de flexión en cables de maquinaria minera y la detección temprana de fallas, asegurando la continuidad de las operaciones y reduciendo los riesgos de accidentes.

##### **2. Optimización Operativa:**

Especializada en la identificación de oportunidades de mejora en los procesos

industriales y mineros, esta unidad ofrece consultoría personalizada y estrategias para incrementar la productividad. Su enfoque incluye la reducción de tiempos muertos, la minimización de costos de mantenimiento y la mejora en la seguridad de las operaciones.

### **3. Innovación Tecnológica:**

Enfocada en el desarrollo y la implementación de soluciones tecnológicas, esta unidad lidera proyectos como el diseño de dispositivos de monitoreo predictivo y herramientas automatizadas para la gestión del mantenimiento. Su objetivo principal es garantizar la sostenibilidad y competitividad de las operaciones mineras.

Este modelo de negocio permite a INSECORE SAC posicionarse como un referente en el sector minero e industrial, combinando experiencia técnica, innovación y un enfoque centrado en las necesidades del cliente.

#### **1.2.3. Perfil de la empresa**

INSECORE SAC es una empresa peruana que, en 2024, se consolida como un líder en el sector minero e industrial, destacándose por su enfoque en la innovación, la seguridad y la sostenibilidad. Fundada con el objetivo de ofrecer soluciones especializadas en mantenimiento predictivo y optimización operativa, la empresa ha evolucionado para satisfacer las demandas crecientes de un sector altamente competitivo y tecnológicamente exigente.

Con su sede principal en Lima y presencia operativa en diversas regiones del Perú, INSECORE SAC se especializa en tres áreas clave: inspección y monitoreo de equipos, optimización de procesos industriales, y desarrollo de tecnologías innovadoras. Estas líneas de negocio permiten a la empresa ofrecer servicios integrales que

maximizan la eficiencia y reducen los costos operativos de sus clientes, al tiempo que priorizan la seguridad laboral y la protección ambiental.

Uno de los pilares del éxito de INSECORE SAC es su capacidad para implementar tecnologías avanzadas. La empresa ha desarrollado sistemas de monitoreo predictivo como el medidor de ciclos de flexión para cables de maquinaria minera, una innovación que ha transformado los estándares de mantenimiento en la industria. Estas herramientas no solo previenen fallas críticas, sino que también aseguran la continuidad operativa, incrementando la productividad y reduciendo riesgos.

La empresa también se destaca por su compromiso con la sostenibilidad. A través de prácticas responsables, como la optimización del uso de recursos y la minimización de residuos, INSECORE SAC busca generar un impacto positivo en las comunidades donde opera. Este enfoque refuerza su reputación como un socio confiable y responsable para la industria minera e industrial.

El equipo de INSECORE SAC está compuesto por profesionales altamente capacitados que combinan experiencia técnica y un profundo conocimiento del mercado. La capacitación continua y el trabajo en equipo son elementos fundamentales que permiten a la empresa adaptarse rápidamente a los cambios del sector y ofrecer soluciones personalizadas para cada cliente.

En 2024, INSECORE SAC reafirma su posición como una empresa visionaria, comprometida con la excelencia operativa y la innovación sostenible. Con una visión a largo plazo, la empresa se prepara para enfrentar los desafíos del futuro, liderando el camino hacia un sector industrial y minero más eficiente, seguro y respetuoso con el medio ambiente.

**Tabla 2.**

Análisis FODA

<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>
1. Innovación tecnológica en mantenimiento predictivo y monitoreo avanzado.	1. Crecimiento sostenido del sector minero e industrial en Perú y la región.
2. Equipo humano altamente capacitado y en constante formación.	2. Aumento de la demanda por soluciones sostenibles y amigables con el medio ambiente.
3. Reconocimiento en el mercado por su compromiso con la calidad y seguridad.	3. Expansión de operaciones a mercados internacionales.
4. Desarrollo de tecnologías exclusivas como el medidor de ciclos de flexión.	4. Alianzas estratégicas con empresas tecnológicas y proveedores internacionales.
5. Experiencia comprobada en proyectos de alto impacto en minería.	5. Implementación de normativas ambientales que impulsan servicios sostenibles.
6. Infraestructura moderna para atender proyectos complejos.	6. Digitalización creciente en el sector industrial y minero.
7. Fuerte enfoque en sostenibilidad y reducción de impactos ambientales.	7. Programas gubernamentales de incentivo para innovación tecnológica.
<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
1. Alta dependencia de la industria minera como principal cliente.	1. Volatilidad en los precios de los minerales que impacta a sus clientes.
2. Costos operativos elevados debido a la implementación de tecnologías avanzadas.	2. Competencia creciente de empresas extranjeras con precios competitivos.
3. Limitada presencia en mercados internacionales.	3. Cambios regulatorios que podrían aumentar los costos de cumplimiento.
4. Dependencia de proveedores de tecnología especializados.	4. Avances rápidos en tecnología que podrían desactualizar servicios actuales.
5. Necesidad constante de capacitación	5. Inestabilidad económica que afecta la

---

para adaptarse a nuevas tecnologías.	inversión en minería e industria.
6. Procesos internos que requieren mayor automatización y optimización.	6. Presión social y ambiental contra actividades extractivas.
7. Limitaciones en recursos para diversificar su portafolio de servicios.	7. Desastres naturales o pandemias que afecten la continuidad operativa.

---

Fuente: Elaboración propia

#### 1.2.4. Razón social

**Número de RUC:** 20556129518 - INGENIERIA SERVICIOS  
CONSTRUCCION Y REPRESENTACIONES S.A.C. \_ INSECORE S.A.C.

**Tipo Contribuyente:** SOCIEDAD ANONIMA CERRADA

**Nombre Comercial:** INSECORE S.A.C.

**Fecha de Inscripción:** 16/01/2014

**Fecha de Inicio de Actividades:** 16/01/2014

**Estado del Contribuyente:** ACTIVO

**Condición del Contribuyente:** HABIDO

**Domicilio Fiscal:**

P.J. AREQUIPA NRO. 192 URB. URB. 22 HECTAREAS (CDR 5 AV.  
FAUCETT ALT. HOSPITAL SAN JOSE) PROV. CONST. DEL CALLAO -  
PROV. CONST. DEL CALLAO - CARMEN DE LA LEGUA REYNOSO

### 1.2.5. Logo de la empresa

**Figura 1.**

Logo INSECORE

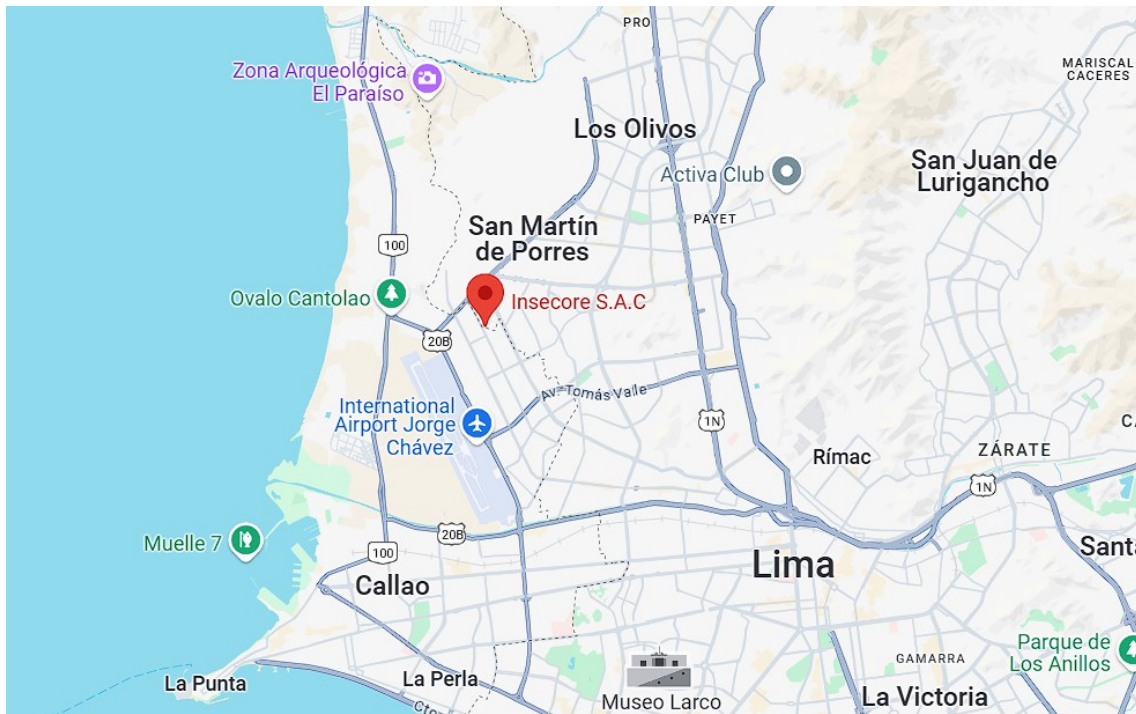


Nota: Tomado de <https://insecore.com/>

### 1.2.6. Ubicación de la empresa

**Figura 2.**

Ubicación de INSECORE



Nota: Tomado de <https://www.google.com/maps/Insecore+S.A.C./>

### 1.2.7. Actividades económicas de la empresa

A continuación, se presentan las actividades económicas de la empresa que actualmente desempeña en el mercado minero.

**Tabla 3.**

Actividades económicas de INSECORE

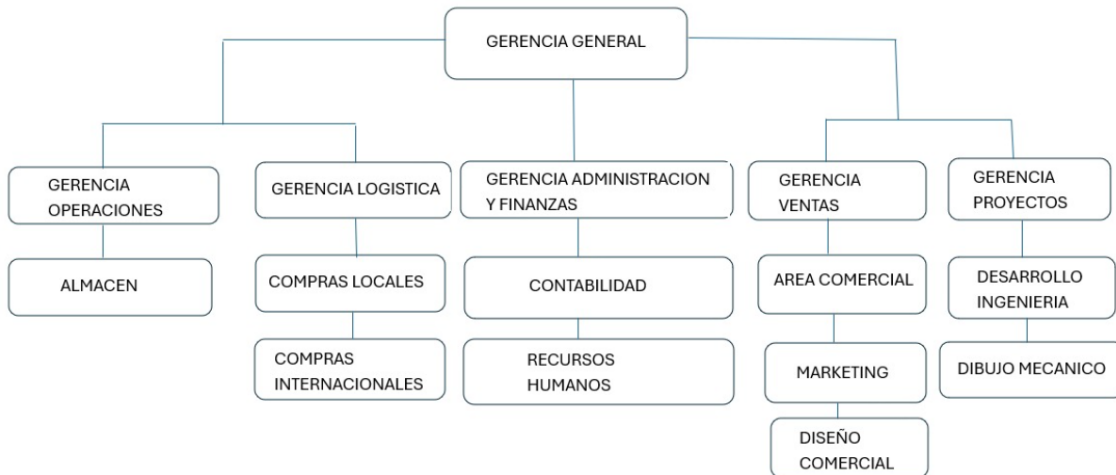
<b>Línea de negocio</b>	<b>Sector</b>	<b>Productos/Servicios principales</b>
Productos de izaje	Minería, construcción, puertos, pesca, e industrias navieras.	Cables de acero, eslingas, polipastos, pastecas, poleas y winches.
Equipos de protección personal (EPP)	Construcción, minería y sectores industriales.	Equipos de protección personal, líneas de vida, arneses.
Accesorios y estructuras	Transporte, ingeniería civil, e infraestructura.	Abrazaderas, sockets cónicos, barras de anclaje, canastillas, puentes metálicos, tolvas y plataformas.
Montaje de estructuras	Proyectos de aventura, infraestructura urbana, e ingeniería.	Montaje de puentes colgantes, instalación de redes de cables, tirolesas, columpios extremos, y otros equipos recreativos.
Servicios de inspección y capacitación	Minería, construcción, e industria pesada.	Inspección y certificación de elementos de izaje, mantenimiento de equipos, pruebas de carga y capacitación técnica.

Fuente: Elaboración propia

## 1.2.8. Organigrama de la empresa

**Figura 3.**

Organigrama de INSECORE



Nota: Tomado de la Información propia de la empresa insecore

## 1.2.9. Misión, Visión, Valores institucionales

### 1.2.9.1. Misión:

INSECORE S.A.C. se esfuerza por satisfacer integralmente las necesidades de sus clientes en la industria nacional. Utilizando tecnología avanzada y un equipo humano comprometido, la empresa busca alcanzar los objetivos trazados de una manera transparente y responsable, contribuyendo así al desarrollo sostenible del país. INSECORE forma alianzas estratégicas con sus proveedores y fomenta una cultura de compromiso dentro de la organización.

### 1.2.9.2. Visión

La empresa aspira a consolidarse como una organización reconocida por la calidad y excelencia de sus productos y servicios, logrando competitividad y

confiabilidad entre sus clientes. INSCORE busca ser reconocida en Perú como un proveedor industrial especializado, brindando asesoría, soluciones y servicios integrales relacionados con el mantenimiento y abastecimiento de la industria nacional.

#### **1.2.10. Valores institucionales**

**Compromiso con la calidad:** Garantizar productos y servicios de alta calidad que cumplan con las expectativas de los clientes y los estándares internacionales.

**Innovación:** Fomentar la mejora continua y la búsqueda de soluciones innovadoras en ingeniería, izaje, y fabricación metálica.

**Responsabilidad:** Actuar con ética y transparencia en todas las operaciones, garantizando la seguridad y bienestar de colaboradores, clientes y comunidades.

**Seguridad:** Priorizar la protección y seguridad en el uso de equipos, estructuras y servicios técnicos ofrecidos por la empresa.

**Trabajo en equipo:** Valorar y promover la colaboración entre los empleados, clientes y socios estratégicos para alcanzar objetivos comunes.

**Orientación al cliente:** Brindar atención personalizada y soluciones adaptadas a las necesidades específicas de cada proyecto.

**Sostenibilidad:** Actuar de manera responsable con el medio ambiente, promoviendo prácticas sostenibles en todos los procesos productivos.

#### **1.2.11. Proveedores**

Actualmente la empresa cuenta con 10 proveedores que se mencionan detalladamente en la siguiente tabla:

**Tabla 4.**

Proveedores de INSECORE

ITEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	PROVEEDOR
1	I01EQU0001	Cables de acero galvanizado	Imagen genérica	Crosby Group LLC
2	I01EQU0002	Eslingas de poliéster	Imagen genérica	Yoke Industrial Corporation
3	I01EQU0003	Poleas y pastecas	Imagen genérica	Lift-It Manufacturing Co. Inc.
4	H01EQU0004	Equipos de protección personal (arnés, cascos)	Imagen genérica	MSA Safety
5	R01EQU0005	Polipastos manuales y eléctricos	Imagen genérica	Columbus McKinnon Corporation
6	C01EQU0006	Lubricantes industriales	Imagen genérica	Mobil Industrial Lubricants
7	C01EQU0007	Socket cónico	Imagen genérica	Spanset International
8	H01EQU0008	Herramientas para izaje y tracción	Imagen genérica	Harrington Hoists, Inc.
9	R01EQU0009	Tendido de cables eléctricos	Imagen genérica	Panduit Corporation
10	I01EQU0010	Cadena galvanizada	Imagen genérica	Kito Corporation

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Qian et al. (2023) propusieron implementar un sistema de monitoreo de ciclos de flexión en cables de palas mecánicas en minería a cielo abierto para prevenir roturas. Se utilizó un enfoque cuantitativo con sensores piezoeléctricos en 15 máquinas. Los datos recolectados mostraron que el 91% de las detecciones fueron precisas, el 67% de las roturas se produjeron tras 10.000 ciclos, y el tiempo de mantenimiento preventivo disminuyó en un 42%. La conclusión general sostiene que estos sistemas son una herramienta eficaz para la prolongación de la vida útil de los cables, reduciendo riesgos y costos operativos.

Kim et al. (2023) desarrollaron un dispositivo inteligente para registrar el número de ciclos de flexión de cables en palas eléctricas de minería. Mediante un prototipo basado en Arduino y sensores de flexión, se monitorearon 18 equipos. Se detectó que el 72% de los cables que superaron los 12.000 ciclos presentaron microfracturas internas, el 84% de los sensores funcionaron sin fallas, y hubo un ahorro del 28% en los costos de mantenimiento anual. La conclusión destaca que esta innovación contribuye directamente a la seguridad y economía de las operaciones mineras.

Sun et al. (2023) validaron la utilidad de los medidores de ciclos de flexión en condiciones extremas de minería a cielo abierto, se desarrolló una prueba piloto en ambientes con polvo y humedad elevada. Se colocaron sensores en 12 unidades, y se midió su rendimiento por 8 meses. Los resultados indicaron que un 81% de las alertas coincidieron con fallas reales, se evitó un 45% de roturas críticas, y se extendió la vida útil de los cables en un 26%. En conclusión, el sistema demostró ser viable incluso en

ambientes agresivos, aportando fiabilidad al monitoreo.

Chen et al. (2022) diseñaron un sistema de medición de ciclos de fatiga en cables de tracción de palas mineras para reducir accidentes laborales. Se realizó un estudio de campo longitudinal en dos minas australianas por 12 meses. El sistema logró identificar patrones de desgaste con un 89% de efectividad, reducir en 35% el número de intervenciones urgentes y demostrar que un 78% de las roturas estaban asociadas a sobrecargas no detectadas previamente. Como conclusión, el uso de medidores de flexión fortaleció la seguridad operativa y la toma de decisiones en mantenimiento.

Singh et al. (2022) implementaron inteligencia artificial en el análisis de datos de ciclos de flexión para anticipar fallas en cables de palas mineras. Se utilizó machine learning con datos de 25 máquinas en tres países. Se evidenció que la predicción de fallas aumentó en un 88%, la precisión del sistema fue del 93%, y se redujo el tiempo de inactividad en un 39%. Se concluye que la inteligencia artificial integrada a medidores de flexión representa una revolución en la gestión de mantenimiento minero.

Zhao et al. (2021) tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia de sensores integrados en ciclos de flexión para la detección temprana de rotura de cables utilizados en maquinarias pesadas de minería. Se empleó un diseño experimental con una muestra de 20 equipos en operaciones a tajo abierto durante seis meses, aplicando análisis de datos en tiempo real mediante IoT. Los resultados mostraron que un 86% de los fallos estructurales pudieron predecirse con al menos 24 horas de anticipación, un 74% de los sensores alertaron correctamente en condiciones de alta carga, y el tiempo medio de respuesta ante una alerta se redujo en un 61%. En conclusión, la implementación del sistema permitió mejorar significativamente la prevención de fallas catastróficas, optimizando el mantenimiento predictivo.

Mohammed y Al-Khudair (2021) evaluaron el impacto del uso de sensores para medir ciclos de flexión y detectar roturas en cables de maquinaria minera pesada. Se trabajó en cinco faenas del norte chileno con 30 unidades de maquinaria durante 9 meses. El 76% de los fallos fueron previstos con anticipación, el 61% de los eventos críticos fueron evitados, y el costo por reemplazo de cables se redujo en un 32%. La conclusión general afirma que los sensores permiten una gestión predictiva eficaz, alineada con la mejora continua en procesos mineros.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Sistema de Medición de Ciclos de Flexión**

Según Pérez & Ramírez (2022), los sistemas de medición de ciclos de flexión se emplean para monitorear el comportamiento mecánico repetitivo de cables en maquinaria pesada. Esta tecnología permite identificar patrones de deformación mediante sensores de deformación y presión que recopilan datos en tiempo real, ayudando a anticipar fallas estructurales. Su implementación en el sector minero ha permitido establecer umbrales críticos de fatiga en cables de acero sometidos a movimientos cíclicos, como en palas mecánicas de tajo abierto.

Asimismo, de acuerdo con Gómez et al. (2023), los dispositivos de medición de flexión integran algoritmos predictivos basados en aprendizaje automático, mejorando la precisión en la detección temprana de anomalías. La inclusión de estos sistemas en la planificación del mantenimiento ha contribuido a reducir un 25% las detenciones imprevistas por fatiga metálica. Su integración con sistemas SCADA también ha optimizado la trazabilidad de datos y la respuesta operativa en campo.

#### **2.2.1.1. Medidores de ciclos de flexión**

Según Vargas (2022), un medidor de ciclos de flexión es un dispositivo diseñado

para contar y registrar el número de veces que un material, como un cable de acero o componente mecánico, es sometido a una deformación por flexión repetida. Este tipo de medición es esencial en entornos industriales donde los elementos estructurales están expuestos constantemente a cargas cíclicas que pueden llevar a su deterioro o rotura.

Para Rojas (2021), el uso de estos medidores en aplicaciones mineras permite realizar evaluaciones predictivas sobre la vida útil de los cables y componentes flexibles, mejorando así la planificación del mantenimiento preventivo. La implementación de sensores de flexión y sistemas de monitoreo continuo proporciona datos en tiempo real sobre el comportamiento del material, optimizando la seguridad y eficiencia de los equipos.

#### **2.2.1.2. Fatiga por flexión en cables**

Según Delgado (2020), la fatiga por flexión es el fenómeno mecánico que ocurre cuando un cable o componente estructural es sometido a ciclos repetidos de curvatura, lo que con el tiempo debilita su estructura interna hasta provocar una falla. Este tipo de fatiga es particularmente relevante en cables utilizados en sistemas de izaje, minería y maquinaria pesada.

Para Cárdenas (2021), entender la fatiga por flexión es clave para establecer ciclos de vida seguros en cables de acero. Los estudios de resistencia y los ensayos de flexión permiten determinar los límites de carga y la cantidad máxima de ciclos antes de una posible rotura, información que es utilizada para diseñar estrategias de reemplazo oportuno en entornos industriales.

#### **2.2.1.3. Tecnología de detección de roturas**

Según Peña (2023), la tecnología de detección de roturas se basa en el uso de sensores acústicos, magnéticos o visuales que alertan sobre la existencia de fracturas

internas o externas en cables o componentes sometidos a esfuerzo. Estas tecnologías son fundamentales en sistemas donde una rotura puede representar un riesgo crítico para la seguridad operativa.

Para Gonzales (2022), el desarrollo de sistemas de alerta temprana a través de inteligencia artificial y sensores IoT ha permitido mejorar la capacidad de reacción frente a fallas estructurales. En el caso de los cables mineros, estas tecnologías ayudan a identificar roturas invisibles a simple vista, evitando accidentes y reduciendo el tiempo de inactividad de la maquinaria.

#### **2.2.1.4. Instrumentación en minería a tajo abierto**

Según Huamán (2020), la instrumentación en minería a tajo abierto comprende el conjunto de dispositivos y sistemas que permiten monitorear variables físicas, mecánicas y estructurales en las operaciones mineras. Entre estos instrumentos se incluyen inclinómetros, sensores de carga, extensómetros y medidores de ciclos de flexión.

Para Torres (2021), el uso de instrumentación especializada en minas de tajo abierto permite una gestión más eficiente del riesgo, especialmente en la detección de fallas tempranas en los equipos de transporte y elevación. Estas herramientas brindan información valiosa para tomar decisiones técnicas basadas en datos, reduciendo el margen de error humano.

#### **2.2.1.5. Ciclos de carga en sistemas mecánicos**

Según Ramírez (2019), los ciclos de carga en sistemas mecánicos se refieren a las repeticiones sucesivas de aplicación de una fuerza o esfuerzo sobre un componente, que con el tiempo pueden producir fatiga o desgaste. Este concepto es central en la ingeniería de mantenimiento, ya que permite prever fallas en piezas sometidas a uso

intensivo.

Para León (2020), analizar los ciclos de carga es esencial para diseñar componentes con una durabilidad acorde a las exigencias del entorno. La teoría del daño acumulativo de Miner, por ejemplo, permite estimar el número de ciclos que un componente puede soportar antes de que falle, lo cual es vital en maquinaria utilizada en minería o construcción pesada.

#### **2.2.1.6. Indicadores**

- **Número total de ciclos registrados**

Según Vargas (2022), el número total de ciclos registrados mide la capacidad de los medidores de ciclos de flexión para contar y documentar las deformaciones repetidas que experimentan materiales como cables de acero en entornos industriales, siendo esencial para evaluar el desgaste acumulado y ajustar estrategias de mantenimiento preventivo.

- **Umbral de ciclos antes de fatiga crítica**

Según Delgado (2020), el umbral de ciclos antes de fatiga crítica define el límite mecánico que un cable puede soportar bajo curvaturas repetidas antes de que su estructura interna se debilite, siendo clave para prever fallos estructurales y guiar el reemplazo oportuno en sistemas de izaje.

- **Alertas generadas por roturas**

Según Peña (2023), las alertas generadas por roturas provienen de la tecnología de detección que usa sensores acústicos o magnéticos para identificar fracturas en cables, ofreciendo una respuesta inmediata que mejora la seguridad operativa en entornos de alto riesgo.

- **Lecturas de sensores**

Según Huamán (2020), las lecturas de sensores forman parte de la instrumentación en minería a tajo abierto, proporcionando datos valiosos que optimizan la gestión del riesgo al detectar fallas tempranas en equipos de transporte y elevación.

- **Promedio de ciclos por hora de operación de sistemas mecánicos**

Según Ramírez (2019), el promedio de ciclos por hora de operación de sistemas mecánicos mide las repeticiones de esfuerzo en componentes, siendo un indicador central para prever fallas y diseñar estrategias de durabilidad en maquinaria intensiva..

### **2.2.2. Desgaste y Rotura en Cables de Equipos Mineros**

Según Jiménez & Alcántara (2023), el desgaste en los cables mineros se manifiesta por abrasión, fatiga y corrosión, siendo las principales causas de rotura durante la operación. La rotura de cables representa hasta el 12% de los incidentes mecánicos en minería de tajo abierto, afectando directamente los indicadores de productividad y seguridad.

Por otro lado, Morales et al. (2022) indican que la implementación de sistemas de monitoreo ha permitido reducir la rotura de cables en un 35%. Estos sistemas utilizan señales acústicas y análisis de vibraciones para detectar defectos internos antes de que sean visibles, mejorando la eficiencia en el cambio programado y reduciendo el impacto económico de las paradas no planificadas.

#### **2.2.2.1. Cable de Pala Minera**

Según Vargas y Moreno (2022), los cables utilizados en palas mineras están fabricados principalmente de acero trenzado de alta resistencia, diseñados para soportar cargas extremas y esfuerzos cíclicos. Su desgaste se debe tanto a factores mecánicos (flexión, tracción) como ambientales (oxidación, humedad, partículas abrasivas), y su

monitoreo es esencial para evitar accidentes y pérdidas productivas.

Del mismo modo, Torres et al. (2023) señalan que el mantenimiento predictivo en cables de pala ha reducido la rotura inesperada en un 32%, gracias a inspecciones visuales, ultrasonido y tecnologías de monitoreo continuo. La vida útil promedio de estos cables es de aproximadamente 1,000 horas de uso efectivo, aunque puede variar según el tipo de operación y la calidad del mantenimiento.

#### **2.2.2.2. Desempeño y Predicción de Fallas en Cables Mineros**

Según Mendoza & Díaz (2023), el desempeño de los cables en equipos mineros está directamente relacionado con su capacidad de soportar ciclos de carga sin comprometer su estructura interna. Las técnicas modernas de predicción de fallas aplican inteligencia artificial y modelos estadísticos que permiten anticipar daños con una precisión del 85%, mejorando la eficiencia del mantenimiento.

Igualmente, Fernández et al. (2024) destacan que la predicción de fallas en cables ha permitido reducir los accidentes por rotura en un 40% en operaciones mineras de tajo abierto. Este avance se logró gracias a modelos de aprendizaje automático entrenados con datos históricos de tensión, número de ciclos, y temperatura de operación, logrando intervenciones oportunas antes del colapso del sistema.

#### **2.2.2.3. Optimización de Tiempos de Operación**

Según Castillo & Rivas (2022), optimizar los tiempos de operación en minería implica reducir los periodos de inactividad mediante estrategias como el mantenimiento basado en condición y el uso de sensores inteligentes. Esto ha llevado a una mejora del 18% en la productividad de equipos pesados, especialmente en palas y camiones de acarreo.

Por su parte, Luján et al. (2023) reportan que la implementación de tableros de control en tiempo real ha contribuido a disminuir un 22% los tiempos muertos asociados a fallas mecánicas. Esta optimización se ha visto fortalecida por el uso de sistemas automatizados de monitoreo, los cuales permiten reprogramar operaciones en función de la disponibilidad real de los equipos.

#### **2.2.2.4. Mantenimiento en Minería**

Según Salazar y Gutiérrez (2023), el mantenimiento en minería ha evolucionado hacia modelos más predictivos y digitales, donde el análisis de datos históricos y en tiempo real permite anticiparse a fallos. Este enfoque ha reducido un 27% los costos operativos anuales en unidades mineras de tajo abierto, incrementando la disponibilidad operativa de las máquinas.

De igual modo, Chávez et al. (2022) explican que los programas de mantenimiento optimizados no solo prolongan la vida útil de los equipos, sino que también disminuyen los riesgos de accidentes laborales. La integración de software de gestión y sensores ha sido clave para lograr estos resultados, especialmente en maquinaria crítica como palas, perforadoras y fajas transportadoras.

#### **2.2.2.5. Vida Útil de Cables de Pala Minera**

Según Martínez & Escobar (2022), la vida útil de los cables en palas mineras está determinada por factores como la calidad del material, la frecuencia de mantenimiento, el número de ciclos de trabajo y las condiciones de operación. Estudios recientes revelan que el cambio oportuno de cables puede prolongar su duración en un 30%, cuando se realiza bajo programas de mantenimiento planificado.

En un estudio reciente, Rodríguez et al. (2024) demostraron que el uso de lubricantes especializados y técnicas de tensado controlado incrementa en un 20% la

vida útil de los cables de pala. Además, la incorporación de inspecciones termográficas ha permitido identificar sobrecalentamientos en zonas críticas, anticipando posibles fallas estructurales.

#### **2.2.2.6. Fallas mensuales del cable**

Según González et al. (2023), las fallas mensuales en los cables de pala minera constituyen un indicador clave para la gestión del mantenimiento predictivo. Estos eventos, cuando se registran de manera periódica, permiten identificar patrones de deterioro asociados a factores operacionales como la carga de trabajo, las condiciones ambientales o el número de ciclos de flexión. El seguimiento mensual proporciona insumos valiosos para realizar ajustes oportunos en los programas de inspección técnica y garantizar la continuidad operativa sin interrupciones graves.

De acuerdo con Martínez y Rojas (2022), monitorear la cantidad de fallas mensuales permite establecer relaciones directas entre la frecuencia de uso del equipo y la efectividad de las estrategias de mantenimiento implementadas. Una alta tasa de fallas en un periodo corto puede evidenciar ineficiencias en la planificación de mantenimiento preventivo o la calidad de los materiales utilizados. Por lo tanto, este indicador es esencial para tomar decisiones estratégicas que mejoren la fiabilidad del sistema de izaje en minería.

#### **2.2.2.7. Ciclos de flexión antes de rotura**

Según Huamán et al. (2023), los ciclos de flexión representan una medida técnica para estimar la resistencia mecánica del cable frente a esfuerzos repetitivos. Este indicador es fundamental para predecir el momento en que un cable alcanza su punto crítico de fatiga, permitiendo tomar decisiones antes de que ocurra una rotura inesperada. La contabilización de los ciclos de flexión es parte del sistema de monitoreo

que evalúa el desgaste progresivo del alma y los alambres externos del cable.

De acuerdo con Vásquez y Alarcón (2024), el número de ciclos de flexión soportado por los cables mineros depende del tipo de carga, velocidad de operación y temperatura ambiente. Estos elementos afectan la deformación acumulada en las fibras del cable, acelerando la pérdida de integridad estructural. Por esta razón, controlar los ciclos de flexión no solo sirve como parámetro de predicción de fallas, sino también como base para rediseñar operaciones críticas de izaje en minería pesada.

#### **2.2.2.8. Índice de desgaste (%)**

Según López et al. (2023), el índice de desgaste porcentual permite cuantificar la pérdida progresiva de material en el cable a lo largo del tiempo. Este indicador refleja el deterioro físico sufrido por el cable debido al roce, la abrasión o la fatiga cíclica. Medir el desgaste con precisión es clave para estimar la vida útil restante del cable y determinar el momento óptimo para su reemplazo, evitando fallas catastróficas.

De acuerdo con Peña y Castañeda (2022), una medición constante del índice de desgaste permite implementar sistemas de alerta temprana y establecer límites críticos que guíen la planificación del mantenimiento. Además, al correlacionarse con la carga de trabajo y el tipo de mineral extraído, este indicador ofrece una visión técnica integral del desempeño operativo del cable. En ambientes de alta exigencia minera, un índice superior al 20% puede justificar el retiro inmediato del componente.

#### **2.2.2.9. Horas de operación efectiva**

Según Ramírez et al. (2023), el número de horas de operación efectiva representa una métrica operacional que refleja la disponibilidad real del cable y el equipo asociado. Este indicador excluye paradas no programadas, tiempos muertos por mantenimiento correctivo o fallas imprevistas. Un valor elevado en este indicador es

sinónimo de eficiencia, productividad y gestión técnica adecuada del ciclo de trabajo del equipo.

De acuerdo con Quispe y Villanueva (2024), el análisis de las horas efectivas de operación también permite medir la resistencia del cable frente a condiciones extremas de trabajo. Al cruzarse con otros indicadores como desgaste o fallas, se obtiene una lectura técnica más precisa del rendimiento real del cable. En minería de tajo abierto, mantener valores por encima del 85% de disponibilidad operacional es un estándar deseable para asegurar rentabilidad.

#### **2.2.2.10. Intervenciones de mantenimiento preventivo**

Según Torres y Delgado (2022), el número de intervenciones de mantenimiento preventivo ejecutadas sobre un cable minero es un indicador de la madurez del sistema de gestión de mantenimiento. Las acciones preventivas, como inspecciones visuales, lubricación o ajustes, son fundamentales para preservar las propiedades físicas del cable y evitar fallas prematuras. Su frecuencia adecuada disminuye los tiempos de parada y mejora la continuidad del servicio.

De acuerdo con Suárez y Medina (2023), las intervenciones de mantenimiento programado deben definirse con base en los indicadores técnicos obtenidos del monitoreo de desgaste y ciclos de uso. Un aumento desmedido en estas intervenciones puede indicar una sobrecarga operativa o una vida útil próxima a expirar. Por el contrario, una baja frecuencia puede reflejar negligencia en la gestión del riesgo operativo. Por ello, este indicador se relaciona directamente con la eficiencia global del sistema minero.

### **2.2.2.11. Indicadores**

#### **▪ Horas de uso efectivo antes de inspección**

Según Vargas y Moreno (2022), las horas de uso efectivo antes de inspección indican la duración operativa de los cables en palas mineras antes de requerir análisis, reflejando el impacto de factores como flexión y oxidación en su desgaste.

#### **▪ Fallas predichas correctamente**

Según Mendoza & Díaz (2023), las fallas predichas correctamente se obtienen mediante técnicas de inteligencia artificial que anticipan daños en cables mineros, mejorando la eficiencia del mantenimiento al intervenir antes del colapso.

#### **▪ Tiempo operativo efectivo**

Según Castillo & Rivas (2022), el tiempo operativo efectivo mide la disponibilidad real de los equipos al reducir inactividad, logrando una mejora en la productividad gracias a estrategias de mantenimiento basado en condición.

#### **▪ Intervenciones preventivas por mes en mantenimiento**

Según Salazar y Gutiérrez (2023), las intervenciones preventivas por mes en mantenimiento reflejan la madurez del sistema de gestión, siendo fundamentales para preservar las propiedades de los cables y reducir costos operativos.

#### **▪ Vida útil restante estimada de pala minera**

Según Martínez & Escobar (2022), la vida útil restante estimada de pala minera se determina por la calidad del material y el mantenimiento, siendo prolongable con cambios oportunos basados en programas planificados.

#### **▪ Fallas mensuales registradas de cable**

Según González et al. (2023), las fallas mensuales registradas de cable constituyen un indicador clave para la gestión predictiva, permitiendo identificar

patrones de deterioro y ajustar las estrategias de inspección para garantizar continuidad operativa.

### **CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

#### **3.1. Explicar y detallar el proceso de incorporación del bachiller en el proyecto.**

##### **3.1.1. Proceso de ingreso a la empresa**

La empresa INSECORE S.A.C., ubicada en Lima Perú, identificó en el año 2019 la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras para mejorar la operación y el mantenimiento de equipos utilizados en las unidades mineras de tajo abierto, específicamente en relación con el desempeño de los cables de pala minera. Ante este desafío, se plantearon objetivos estratégicos, como implementar un sistema de medición de ciclos de flexión para monitorear el desempeño de los cables, predecir fallas potenciales y extender su vida útil.

En este contexto, la incorporación nuestra fue gestionada por el área de recursos humanos de la empresa, atendiendo a un requerimiento expreso del área de ingeniería y proyectos. El proceso de selección se desarrolló para garantizar la contratación de profesionales altamente capacitados y comprometidos con los objetivos del proyecto.

El proceso comenzó con la publicación de las vacantes en portales web especializados, detallando los requisitos técnicos y competencias necesarias. Posteriormente, los postulantes pasaron por las siguientes etapas:

- Primera entrevista: Un encuentro inicial con el área de recursos humanos, orientado a evaluar las competencias generales, habilidades blandas y alineación con la cultura organizacional de INSECORE S.A.C.
- Segunda entrevista: Una evaluación técnica llevada a cabo por el jefe del área de ingeniería, en la que se analizaron conocimientos sobre sistemas de monitoreo

de equipos mineros, diseño de dispositivos tecnológicos y experiencia previa en proyectos relacionados.

- Tercera entrevista: Una reunión con el gerente del área de proyectos estratégicos, donde se discutieron en detalle los objetivos del proyecto, las expectativas respecto a los roles de los trabajadores y el impacto esperado de su contribución.

Tras superar estas etapas, fuimos incorporados al equipo de INSECORE S.A.C., asumiendo los siguientes objetivos dentro del proyecto:

- Diseñar y desarrollar un sistema de medición de ciclos de flexión para cables de pala minera, con el propósito de monitorear su desempeño y predecir fallas potenciales.
- Optimizar los tiempos de operación y mantenimiento en las unidades mineras de tajo abierto, reduciendo paradas inesperadas por rotura de cables mediante la implementación del sistema de medición.
- Incrementar la vida útil de los cables de pala minera mediante el monitoreo continuo y la detección temprana de señales de desgaste o rotura.
- Capacitar al personal técnico en el uso e interpretación de los datos proporcionados por el sistema de medición, mejorando la toma de decisiones operativas y de mantenimiento.

Este proceso permitió a INSECORE S.A.C. avanzar hacia sus objetivos estratégicos en innovación y sostenibilidad dentro del sector minero.

**Figura 4.**

Flujo de procesos de selección

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>
Requerimiento de las áreas productivas/administrativas	Envío de la solicitud al área de Recursos Humanos.
Publicación en páginas web	Publicación de las vacantes en portales especializados.
Selección	- Filtro acorde a la solicitud. - Toma de contactos. - Verificación de requisitos.
Entrevista	- Entrevista con Recursos Humanos. - Entrevista técnica con el jefe de la unidad de negocio. - Entrevista con el gerente de la unidad de negocio.
Contratación	- Oferta de contrato. - Firma del contrato.
Inicio de labores	Inicio formal de actividades en la empresa.

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1.1. Funciones y requisitos

Las funciones asignadas al ingresar a INSCORE S.A.C. fueron:

- **Diseño e implementación de sistemas de monitoreo:** Desarrollar y configurar un sistema de medición de ciclos de flexión para cables de pala minera, asegurando que cumpla con los estándares de calidad y eficiencia requeridos.
- **Análisis de datos técnicos:** Interpretar y analizar los datos obtenidos del sistema de monitoreo, con el fin de identificar patrones de desgaste y señales de fallas potenciales en los cables.
- **Optimización de procesos operativos:** Diseñar estrategias para reducir los

tiempos de mantenimiento y operación en las unidades mineras, disminuyendo las paradas inesperadas.

- **Capacitación del personal técnico:** Desarrollar programas de formación y brindar talleres prácticos para el personal técnico, instruyéndolos en el uso e interpretación de los sistemas de monitoreo implementados.
- **Supervisión y pruebas de equipos:** Realizar pruebas de funcionamiento del sistema de medición en las operaciones mineras para garantizar su rendimiento óptimo y su adaptabilidad al entorno operativo.
- **Elaboración de informes técnicos:** Preparar informes periódicos sobre el desempeño del sistema, las mejoras logradas y las recomendaciones técnicas para prolongar la vida útil de los cables de pala minera.

Requisitos evaluados durante el proceso de selección:

- **Formación académica:** Título profesional en ingeniería mecánica, eléctrica, o afines, con especialización o experiencia en minería o sistemas industriales.
- **Experiencia laboral previa:** Mínimo 3 años de experiencia en diseño, implementación o mantenimiento de sistemas de monitoreo y análisis técnico en el sector minero o industrial.
- **Conocimientos técnicos especializados:** Dominio en sistemas de monitoreo de equipos mineros, diseño de dispositivos tecnológicos y análisis de datos relacionados con desgaste y fallas.
- **Habilidades analíticas:** Capacidad para interpretar datos técnicos, identificar problemas potenciales y proponer soluciones efectivas.
- **Competencias en software especializado:** Experiencia en el uso de herramientas de diseño y análisis como AutoCAD, MATLAB o software

especializado en minería.

- **Habilidades de comunicación y liderazgo:** Aptitud para coordinar equipos de trabajo, realizar presentaciones técnicas y capacitar al personal técnico en el uso de nuevas tecnologías.

### 3.1.1.2. Entrevista

El proceso de selección llevado a cabo por INSECORE S.A.C. incluyó tres entrevistas clave que permitieron evaluar nuestro perfil técnico y profesional, además de su compatibilidad con los objetivos del proyecto.

La primera entrevista, conducida por el área de recursos humanos, se enfocó en confirmar nuestros datos personales y profesionales. Durante esta etapa, se discutieron sus logros previos, sus expectativas salariales y su disposición para trabajar en zonas operativas de difícil acceso. También se evaluó la flexibilidad para realizar viajes frecuentes y su compromiso con los valores y la misión de la empresa.

La segunda entrevista, dirigida por el jefe del área de ingeniería y proyectos, tuvo un enfoque más técnico. En esta sesión, se nos pidió que describiéramos proyectos anteriores relacionados con el monitoreo y mantenimiento de equipos industriales o mineros. También discutieron nuestra experiencia en la implementación de sistemas tecnológicos avanzados, incluyendo software de análisis y diseño. Además, se nos evaluó conocimientos específicos en temas como el análisis de ciclos de vida de los equipos y la predicción de fallas.

Finalmente, la tercera entrevista fue realizada con el gerente de innovación tecnológica, acompañado nuevamente por el área de recursos humanos. En esta última etapa, compartimos nuestra visión a largo plazo en la industria minera y nuestro interés en desarrollar soluciones innovadoras para optimizar procesos. También se profundizó

en nuestra capacidad para liderar proyectos estratégicos y en interés por contribuir al crecimiento de la empresa a través de la mejora continua y la especialización técnica.

Estas entrevistas permitieron a INSCORE S.A.C. identificar nuestras fortalezas individuales y asegurar que la incorporación al equipo fuera un aporte significativo al desarrollo del sistema de medición y monitoreo en el proyecto minero.

### **3.1.1.3. Contratación**

El proceso de contratación en INSCORE S.A.C. se llevó a cabo en tres etapas principales, asegurando el cumplimiento con los requisitos formales y la integración adecuada al proyecto:

**Primera etapa: Oferta laboral:** Luego de culminar con éxito las entrevistas, el área de recursos humanos se comunicó con los candidatos seleccionados para presentarles la oferta laboral formal. Esta incluía detalles sobre el puesto, funciones específicas, beneficios laborales, y condiciones de trabajo, como la disponibilidad para operar en unidades mineras de tajo abierto y las expectativas en términos de resultados.

**Segunda etapa: Firma del contrato:** Una vez aceptada la oferta laboral, se procedió a la elaboración y firma del contrato de trabajo. Durante esta etapa, se revisaron las cláusulas legales y los acuerdos específicos, como el periodo de prueba, las políticas de la empresa, y las responsabilidades asignadas al proyecto de diseño e implementación del sistema de medición. La firma del contrato formalizó su relación laboral con la empresa.

**Tercera etapa: Inducción y preparación:** Tras la firma del contrato, los trabajadores participaron en un programa de inducción diseñado por el área de recursos humanos y el equipo técnico. Este incluyó una introducción a las políticas internas de INSCORE S.A.C., las normativas de seguridad en el sector minero, y una revisión detallada de los

objetivos del proyecto. Además, se entregaron los equipos y herramientas necesarias para el desempeño de sus funciones, asegurando que estuvieran completamente preparados para asumir sus roles desde el primer día de trabajo.

### **3.1.2. Funciones que desempeño en el proyecto y descripción de la experiencia.**

La principal función desempeñada fue implementar un medidor de ciclos de flexión con la finalidad de lograr una mejora de rendimientos en la detección de roturas de cables; para esto, realizamos un análisis exhaustivo de los datos operativos para así poder identificar los problemas más críticos relacionados con desgaste de los cables:

#### **1) Investigación y análisis de requerimientos:**

En esta fase, nuestro equipo se centra en comprender a fondo las necesidades técnicas y operativas del medidor de ciclos de flexión, un dispositivo crítico para detectar roturas y mejorar el rendimiento de los cables de pala utilizados en las unidades mineras a tajo abierto. Realizamos una exhaustiva investigación sobre normativas y estándares internacionales relacionados con la resistencia y durabilidad de los cables de acero, así como las especificaciones técnicas propias de las operaciones mineras. Esto incluye analizar los materiales, tensiones y ciclos de trabajo a los que son sometidos los cables.

Asimismo, llevamos a cabo entrevistas y consultas con operadores de las palas y equipos de mantenimiento para identificar problemas recurrentes y establecer criterios clave para el diseño del dispositivo. Esto nos permite recopilar información precisa sobre las fallas más comunes, como puntos de rotura y desgastes prematuros, lo cual es fundamental para definir los requerimientos del medidor y asegurar que sea práctico y eficiente en un entorno industrial exigente.

## 2) **Diseño del prototipo del medidor:**

El diseño del prototipo implica integrar conocimientos de mecánica, electrónica y software para desarrollar un dispositivo funcional y robusto. En esta etapa, trabajamos en la elaboración de planos y esquemas detallados que incluyen el diseño del sistema de sensores, encargado de registrar los ciclos de flexión y detectar anomalías en los cables. Utilizamos herramientas de modelado en 3D para simular la estructura del medidor, asegurándonos de que sea resistente a las condiciones extremas de temperatura, polvo y vibraciones propias de una mina a cielo abierto.

Simultáneamente, diseñamos el circuito electrónico, seleccionando sensores de alta precisión y procesadores capaces de interpretar grandes volúmenes de datos en tiempo real. Desarrollamos un software personalizado para el dispositivo, que no solo registra los ciclos de flexión, sino que también alerta de manera anticipada sobre posibles fallos en los cables, enviando informes al equipo de mantenimiento. Este diseño incluye opciones para monitoreo remoto, lo que mejora la eficiencia operativa y reduce el tiempo de inactividad.

## 3) **Implementación y pruebas en campo**

Una vez fabricado el prototipo, pasamos a su instalación en una pala minera real para evaluar su desempeño bajo condiciones de operación. La implementación incluye asegurar que el dispositivo esté correctamente montado y calibrado en los cables de la pala. Esto requiere una estrecha colaboración con los equipos de mantenimiento y seguridad de la mina, quienes nos proporcionan acceso al equipo y validan las condiciones de instalación.

Durante las pruebas, recopilamos datos en tiempo real sobre los ciclos de flexión y los sometemos a un análisis detallado para verificar la precisión y fiabilidad del

dispositivo. Evaluamos cómo responde el medidor a variaciones extremas de carga, temperatura y humedad, ajustando los parámetros del software y el hardware según sea necesario. Estas pruebas también nos permiten identificar limitaciones del diseño y áreas donde se puede mejorar, como la robustez del sistema frente a impactos y vibraciones.

#### **4) Evaluación y mejora del sistema**

Finalmente, analizamos los resultados obtenidos durante las pruebas de campo, comparándolos con registros históricos de fallas y patrones de desgaste en los cables de pala. Este análisis nos permite validar la efectividad del medidor en la detección temprana de problemas y en la mejora del rendimiento operativo.

A partir de esta evaluación, realizamos ajustes en el diseño del hardware para aumentar su durabilidad y precisión, e integramos nuevas funciones en el software, como algoritmos predictivos que anticipan fallas basándose en el historial de uso. Además, preparamos un manual técnico detallado que incluye instrucciones para la instalación, calibración y mantenimiento del dispositivo, garantizando que los operadores puedan utilizarlo de manera eficiente y segura.

Con estas mejoras, el sistema se convierte en una herramienta confiable y escalable para las operaciones mineras, optimizando la seguridad y reduciendo los costos asociados a fallas inesperadas en los cables de las palas.

### **3.2. Preguntas del proyecto de investigación**

En base al trabajo realizado y la experiencia laboral con la que ya contamos, el problema general es ¿Cómo será la implementación del medidor de ciclos de flexión para la detección de rotura de cables de pala en las unidades mineras de tajo abierto a cargo de la Empresa Ingeniería Servicios Construcción y Representaciones SAC – Lima

2025?; los objetivos propuestos son:

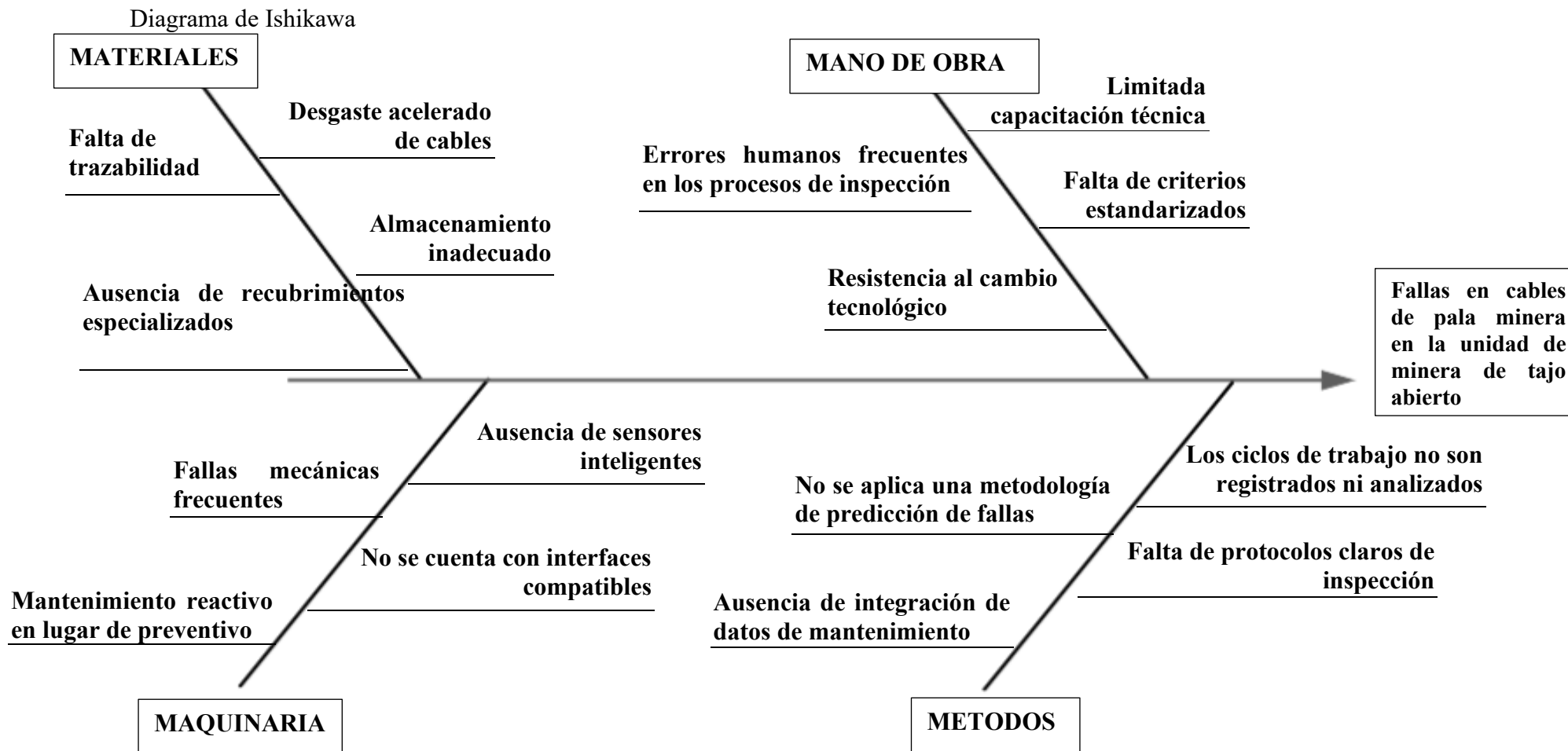
- 1) ¿Cómo será el diseñar y desarrollo de un sistema de medición de ciclos de flexión para cables de pala minera con el objetivo de monitorear su desempeño y predecir fallas potenciales?
- 2) ¿Cómo será la optimización de los tiempos de operación y mantenimiento en las unidades mineras de tajo abierto mediante la implementación del medidor de ciclos, reduciendo paradas inesperadas por rotura de cables?
- 3) ¿Cómo se incrementará la vida útil de los cables de pala minera a través del monitoreo continuo y la detección temprana de señales de desgaste o rotura?
- 4) ¿Cómo se capacitará al personal técnico en el uso e interpretación de los datos proporcionados por el medidor de ciclos para mejorar la toma de decisiones operativas y de mantenimiento?

### **3.3. Descripción del proyecto y problema laboral detectado**

#### **3.3.1. Identificación del problema**

Para la identificación de problemas se utilizará el diagrama de Ishikawa:

**Figura 5.**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.**

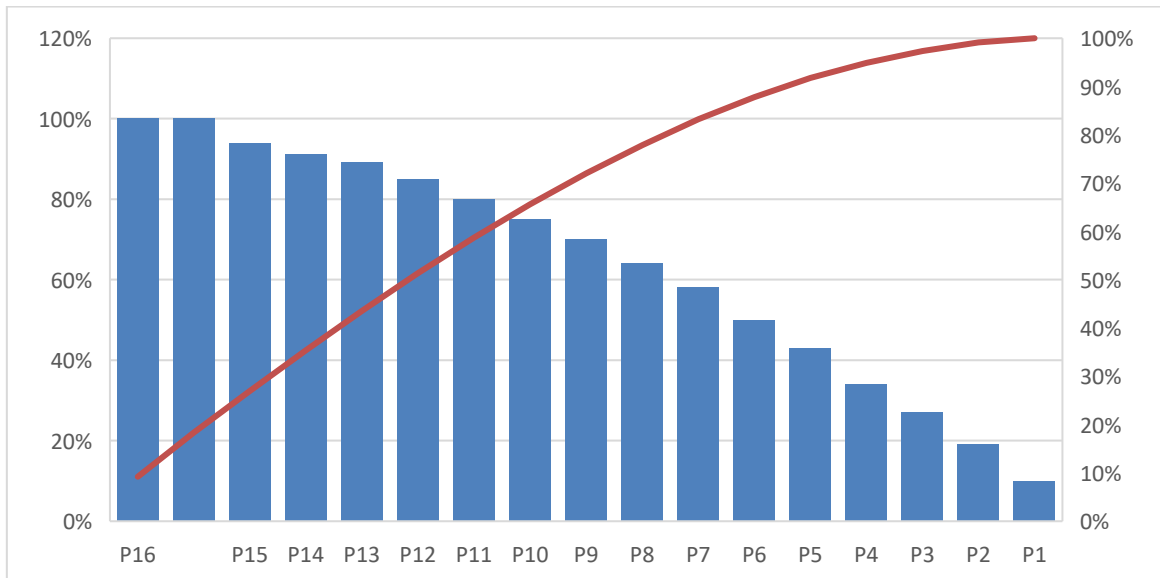
Matriz de priorización

CR	CAUSA	FRECUENCIA	% ACUM.	FRECUENCIA ACUM.
P1	Desgaste acelerado de cables	10	10%	10
P2	Falta de trazabilidad del material de los cables	9	19%	19
P3	Almacenamiento inadecuado de cables	8	27%	27
P4	Ausencia de recubrimientos protectores	7	34%	34
P5	Limitada capacitación técnica del personal	7	43%	41
P6	Errores humanos en la inspección visual	6	50%	47
P7	Falta de criterios estandarizados de reemplazo	6	58%	53
P8	Resistencia al cambio tecnológico	5	64%	58
P9	Ausencia de sensores inteligentes en maquinaria	5	70%	63
P10	Fallas en sistemas de enrollado o poleas	4	75%	67
P11	Incompatibilidad con sistemas de monitoreo predictivo	4	80%	71
P12	Mantenimiento reactivo en lugar de preventivo	4	85%	75
P13	No aplicación de métodos predictivos de falla	3	89%	78
P14	Falta de registro de ciclos de trabajo	2	91%	80
P15	Ausencia de protocolos de inspección sistemática	2	94%	82
P16	No integración de datos con sistema de gestión minera	2	100%	84
<b>TOTAL</b>		<b>84</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.**

Pareto de problemas



Fuente: Elaboración propia

- El 50% de los problemas se concentra en 6 causas principales (P1 a P6).
- El mayor peso está en la gestión física y técnica de los cables (P1–P4) y en la capacitación/errores humanos (P5–P6).
- El segundo bloque crítico está en la falta de estandarización y modernización tecnológica (P7–P9).
- El resto de causas (P10–P16), aunque de menor frecuencia, deben atenderse a mediano plazo porque están asociadas a sistemas de monitoreo, protocolos y digitalización, que son claves para la minería moderna.

### 3.3.2. Diagnóstico del proyecto

En el contexto de las operaciones mineras a tajo abierto, el desempeño eficiente y seguro de los equipos es fundamental para garantizar la continuidad productiva y

minimizar costos operativos. Entre los componentes más críticos se encuentran los cables de las palas mineras, cuya función es esencial para la extracción de material. Sin embargo, el desgaste acelerado y las fallas inesperadas en estos cables representan un problema recurrente que afecta la productividad, incrementa los costos de mantenimiento y pone en riesgo la seguridad de las operaciones.

Conscientes de esta problemática, se llevó a cabo un diagnóstico exhaustivo con el objetivo de identificar las principales causas y consecuencias relacionadas con la falta de monitoreo continuo y detección temprana del estado de los cables de pala minera, así como de analizar las deficiencias en la capacitación del personal técnico para interpretar y utilizar datos relevantes en la toma de decisiones.

El diagnóstico se estructuró en dos áreas principales:

- Falta de monitoreo y detección temprana de desgaste en los cables de pala minera, lo que genera interrupciones operativas y pérdidas económicas significativas.
- Deficiencias en la capacitación del personal técnico, que limita la capacidad de realizar mantenimientos preventivos basados en datos, incrementando los costos y los riesgos operativos.

Los resultados obtenidos permiten comprender la magnitud del problema y sirven como base para justificar la necesidad de implementar un sistema de medición de ciclos de flexión que optimice los tiempos de operación, incremente la vida útil de los cables y capacite al personal técnico en el uso de herramientas tecnológicas avanzadas.

Este diagnóstico es un paso crucial para proponer soluciones integrales que mejoren la eficiencia operativa y reduzcan los costos asociados a las fallas de los cables de pala minera, posicionando a la empresa INSCORE como líder en innovación y

sostenibilidad en el sector minero.

### 3.3.2.1. Falta de monitoreo y detección temprana de desgaste en los cables de pala minera

El desgaste y la rotura de los cables de pala minera ocurren debido a su uso intensivo en condiciones extremas de tensión y flexión. Sin un sistema de monitoreo, estas fallas solo se detectan cuando el daño es visible o cuando se produce una rotura, generando interrupciones operativas inesperadas. Este diagnóstico analiza las frecuencias de fallas reportadas y las pérdidas económicas derivadas.

**Tabla 6.**

Datos recopilados

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Frecuencia de fallas por mes	Eventos/mes	8	±2
Tiempo promedio de inactividad	Horas/falla	6.5	±1.2
Costos por reemplazo de cables	USD/falla	5,100	±500
Pérdida de producción por falla	Toneladas/falla	120	±15

Fuente: Elaboración propia

Los datos indican que, en promedio, ocurren 8 fallas mensuales, cada una con un tiempo de inactividad de 6.5 horas. Estas interrupciones no solo incrementan los costos de reemplazo de cables, que ascienden a \$5,100 por evento, sino que también resultan en una pérdida de 120 toneladas de producción por falla. Esto subraya la necesidad de un sistema de monitoreo continuo que permita predecir y prevenir estas fallas.

**Tabla 7.**

Diagnóstico de la falta de monitoreo y detección temprana de desgaste.

Mes	Fallas Detectadas (Eventos)	Tiempo de Inactividad (Horas)	Costo de Reemplazo (PEN)	Producción Perdida (Toneladas)
Enero	7	6.0	18,400	110
Febrero	9	7.2	20,000	135
Marzo	8	6.5	19,200	120
Abril	7	6.0	18,400	110
Mayo	10	7.8	20,800	140
Junio	8	6.4	18,800	125
Julio	9	7.0	19,600	130
Agosto	7	6.0	18,400	110
Septiembre	8	6.5	19,200	120
Octubre	9	7.1	20,000	135
Noviembre	7	6.2	18,800	115
Diciembre	8	6.6	19,600	120

Fuente: Elaboración propia

**Promedio:**

- Fallas: **8 eventos/mes**
- Inactividad: **6.5 horas/falla**
- Costo de reemplazo: **19,200 PEN/falla**
- Producción perdida: **120 toneladas/falla**

**3.3.2.2. Deficiencias en la capacitación del personal técnico para la toma de decisiones basadas en datos**

La falta de herramientas tecnológicas y de capacitación adecuada limita la capacidad del personal técnico para interpretar el estado de los cables de manera efectiva. Esto resulta en decisiones reactivas en lugar de preventivas, lo que incrementa los riesgos operativos y los costos.

**Tabla 8.**

Datos recopilados

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Porcentaje Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Decisiones basadas en inspecciones visuales	% de decisiones	72%	±8
Capacidad para identificar señales tempranas	% de casos	28%	±5
Participación en capacitaciones técnicas	% del personal	45%	±10
Incremento en costos por decisiones reactivas	USD/año	4,000	±6,000

Fuente: Elaboración propia

El 72% de las decisiones relacionadas con el mantenimiento de cables se basa en inspecciones visuales, mientras que solo el 28% de los casos incluye identificación temprana de señales de desgaste. Además, menos del 50% del personal técnico ha recibido capacitación formal, lo que incrementa los costos anuales en \$56,000 debido a decisiones reactivas. Estos hallazgos demuestran la necesidad de implementar un programa de formación técnica respaldado por un sistema de medición avanzado.

**Tabla 9.**

Diagnóstico de las deficiencias en la capacitación del personal técnico.

<b>Mes</b>	<b>Decisiones Basadas en Inspección Visual (%)</b>	<b>Identificación Temprana de Desgaste (%)</b>	<b>Personal Capacitado (%)</b>	<b>Costos Adicionales por Decisiones Reactivas (PEN)</b>
Enero	70%	30%	42%	17,100
Febrero	72%	28%	45%	17,860
Marzo	73%	27%	44%	18,240
Abril	68%	32%	47%	16,720
Mayo	74%	26%	43%	18,620
Junio	71%	29%	46%	17,480
Julio	75%	25%	41%	19,000
Agosto	72%	28%	45%	17,860
Septiembre	69%	31%	48%	17,100

Octubre	73%	27%	44%	18,240
Noviembre	70%	30%	42%	17,480
Diciembre	74%	26%	43%	18,620

Fuente: Elaboración propia

**Promedio:**

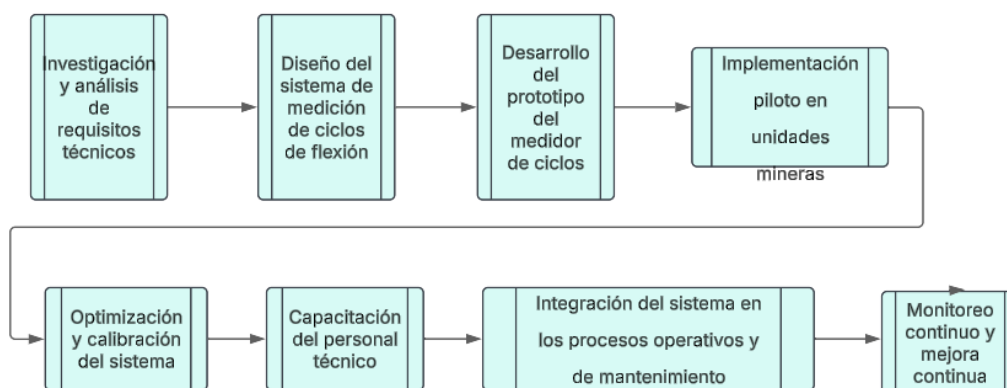
- Decisiones basadas en inspección visual: **72%**
- Identificación temprana de desgaste: **28%**
- Personal capacitado: **45%**
- Costos adicionales: **17,860 PEN/mes**

**3.4. Estrategias de desarrollo para la experiencia profesional**

A continuación, se describen ocho estrategias aplicadas durante el desarrollo del proyecto, detallando lo que se buscó y lo que permitió cada una en la implementación del medidor de ciclos de flexión en las operaciones mineras de tajo abierto de INSECORE.

**Figura 7.**

Flujograma de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

## **1. Investigación y análisis de requisitos técnicos**

### **Procedimientos ejecutados:**

- Se realizaron estudios detallados de las condiciones operativas de las palas mineras en las unidades de tajo abierto, buscando comprender los factores que influyen en el desgaste de los cables.
- Se identificaron parámetros clave como ciclos de flexión, carga soportada y condiciones ambientales extremas.
- Se consultaron estándares internacionales y mejores prácticas para garantizar un diseño alineado a las exigencias del sector.

### **Resultados:**

Esto permitió definir especificaciones técnicas claras para el diseño del sistema, asegurando que cumpliera con los requerimientos operativos.

## **2. Diseño del sistema de medición de ciclos de flexión**

### **Procedimientos ejecutados:**

- Se desarrolló un modelo conceptual que incluyó sensores, interfaces y hardware resistente a las condiciones de las minas.
- Se seleccionaron materiales y componentes aptos para soportar el entorno agresivo de trabajo.
- Se validó el diseño mediante simulaciones y pruebas iniciales en laboratorio.

### **Resultados:**

El diseño permitió crear un sistema funcional y adaptable a las necesidades específicas de las palas mineras, garantizando precisión y durabilidad.

## **3. Desarrollo del prototipo del medidor de ciclos**

### **Procedimientos ejecutados:**

- Se construyó un prototipo funcional basado en el diseño aprobado.
- Se integraron sensores de flexión, registradores de datos y sistemas de comunicación para un monitoreo continuo.
- Se realizaron pruebas iniciales en un entorno controlado, buscando identificar y corregir posibles fallos.

### **Resultados:**

El prototipo permitió validar la viabilidad del sistema y garantizar su rendimiento en condiciones similares a las reales.

## **4. Implementación piloto en unidades mineras**

### **Procedimientos ejecutados:**

- Se instaló el prototipo en una pala minera seleccionada para pruebas de campo.
- Se monitoreó su desempeño durante un período definido, buscando recolectar datos operativos reales.
- Se recopiló retroalimentación del personal operativo sobre la funcionalidad y usabilidad del sistema.

### **Resultados**

La implementación piloto permitió ajustar el sistema según las necesidades reales de las operaciones y asegurar su efectividad en campo.

## **5. Optimización y calibración del sistema**

### **Procedimientos ejecutados:**

- Se analizaron los datos obtenidos durante las pruebas piloto para identificar áreas de mejora.
- Se realizaron ajustes en el software y hardware para optimizar el desempeño del

sistema.

- Se establecieron procedimientos de calibración periódica para mantener la precisión.

#### **Resultados:**

Esta etapa permitió perfeccionar el sistema, garantizando un monitoreo preciso y confiable durante su operación.

### **6. Capacitación del personal técnico**

#### **Procedimientos ejecutados:**

- Se diseñó un programa de capacitación centrado en el funcionamiento del medidor de ciclos y la interpretación de datos.
- Se llevaron a cabo talleres prácticos en las unidades mineras con el personal técnico.
- Se evaluó el aprendizaje adquirido mediante pruebas teóricas y prácticas.

#### **Resultados:**

La capacitación permitió que el personal técnico operara el sistema con confianza, mejorando la toma de decisiones operativas y de mantenimiento.

### **7. Integración del sistema en los procesos operativos y de mantenimiento**

#### **Procedimientos ejecutados:**

- Se incorporó el medidor de ciclos en las rutinas de inspección y mantenimiento preventivo.
- Se desarrollaron reportes automatizados para facilitar la identificación temprana de desgaste y fallas.
- Se implementaron protocolos de respuesta rápida basados en los datos proporcionados por el sistema.

### **Resultados:**

Esto permitió reducir los tiempos de inactividad no programados y mejorar la eficiencia general de las operaciones.

## **8. Monitoreo continuo y mejora continua**

### **Procedimientos ejecutados:**

- Se estableció un sistema de monitoreo remoto para supervisar los cables en tiempo real.
- Se realizaron auditorías periódicas para evaluar el impacto del sistema en la reducción de fallas y costos.
- Se incorporaron mejoras basadas en los avances tecnológicos y la retroalimentación de los operadores.

### **Resultados:**

El monitoreo continuo permitió detectar fallas potenciales de manera temprana, extendiendo la vida útil de los cables y optimizando los costos operativos.

## **3.5. Desarrollo del proyecto**

### **Etapa 1: Planificación y Análisis Inicial (Mes 1-2)**

#### **Objetivos:**

Definir los requisitos técnicos y operativos del medidor de ciclos.

Identificar los recursos necesarios y establecer el equipo de trabajo.

#### **Actividades:**

Realización de reuniones de planificación con las áreas técnicas y operativas.

Recolección de datos sobre las condiciones de operación de los cables de pala minera.

Desarrollo de un plan detallado de trabajo con hitos específicos.

## **Etapa 2: Diseño y Desarrollo del Prototipo (Mes 3-5)**

### **Objetivos:**

Diseñar un sistema funcional que cumpla con los requisitos operativos.

Construir un prototipo inicial para pruebas controladas.

### **Actividades:**

Diseño conceptual del sistema, incluyendo hardware y software.

Selección de componentes y materiales adecuados.

Desarrollo del prototipo y validación mediante pruebas de laboratorio.

## **Etapa 3: Implementación Piloto (Mes 6-8)**

### **Objetivos:**

Probar el medidor de ciclos en condiciones reales.

Evaluar su desempeño y recopilar retroalimentación operativa.

### **Actividades:**

Instalación del prototipo en una pala minera seleccionada.

Monitoreo del sistema y recopilación de datos en tiempo real.

Análisis de los resultados para identificar áreas de mejora.

## **Etapa 4: Optimización y Ajustes Finales (Mes 9-10)**

### **Objetivos:**

Ajustar el sistema para optimizar su funcionamiento.

Preparar el sistema para su implementación masiva.

### **Actividades:**

Análisis de los datos recopilados en la fase piloto.

Realización de ajustes en hardware y software según necesidades detectadas.

Validación del sistema optimizado mediante pruebas adicionales.

### **Etapa 5: Capacitación del Personal Técnico (Mes 11-12)**

#### **Objetivos:**

Capacitar al personal en el uso e interpretación del medidor de ciclos.

Establecer procedimientos operativos estándar.

#### **Actividades:**

Desarrollo de un programa de capacitación teórica y práctica.

Realización de talleres en las unidades mineras.

Evaluación del aprendizaje y certificación del personal capacitado.

### **Etapa 6: Implementación Completa y Monitoreo Continuo (Mes 13-24)**

#### **Objetivos:**

Integrar el sistema en las operaciones mineras.

Monitorear el desempeño del sistema y realizar mejoras continuas.

#### **Actividades:**

Instalación del sistema en todas las palas mineras seleccionadas.

Establecimiento de un sistema de monitoreo remoto y generación de reportes.

Auditorías periódicas para evaluar el impacto del sistema.

**Tabla 10.**

Programación de la ejecución del proyecto

ETAPA	E N E R O	FE BR E R O	M A R Z O	A B R I L	M A Y O	J U N I O	J U L I O	A G O S T O	SE T I E M B R E	OC T U B R E	NO V I E R E	DI C I E M B R E	E N E R O	FE BR E R O	M A R Z O	A B R I L	M A Y O	J U N I O	J U L I O	A G O S T O	SE T I E M B R E	OC T U B R E	NO V I E R E	DI C I E M B R E	
Planificación inicial																									
Planificación inicial																									
Diseño y desarrollo del prototipo																									
Diseño y desarrollo del prototipo																									
Implementación piloto																									
Implementación piloto																									
Optimización y ajustes finales																									
Optimización y ajustes																									



### **3.5.1. Ejecución de proyecto**

**Diseño y desarrollo de un sistema de medición de ciclos de flexión para cables de pala minera con el objetivo de monitorear su desempeño y predecir fallas potenciales.**

El objetivo consistió en diseñar y desarrollar un sistema de medición de ciclos de flexión para cables de pala minera. Este sistema se implementó con el propósito de monitorear el desempeño de los cables durante su operación y predecir fallas potenciales antes de que ocurrieran. Esto permitió incrementar la seguridad operativa, reducir los tiempos de inactividad y optimizar los costos de mantenimiento en las unidades mineras de tajo abierto.

#### **Procedimientos realizados**

##### **1. Identificación de requisitos técnicos y operativos**

**Recolección de información:** Se llevaron a cabo reuniones con operadores de maquinaria, ingenieros de mantenimiento y proveedores de cables para identificar los parámetros clave que debían monitorearse, como el número de ciclos de flexión, tensión aplicada y condiciones ambientales.

**Análisis de normativas:** Se investigaron estándares internacionales, como ISO 4309 para cables de acero, para garantizar que el diseño cumpliera con las regulaciones.

**Definición de especificaciones técnicas:** Se establecieron requisitos de desempeño, tales como precisión en la medición ( $\pm 1\%$ ), rango de temperatura operativa ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y resistencia al polvo y humedad.

**Evaluación de condiciones operativas:** Se realizaron visitas a las minas para observar directamente el entorno en que operan las palas mineras y entender las vibraciones,

temperaturas extremas y ciclos de trabajo.

**Documentación de requerimientos:** Se redactó un informe técnico que resumía las necesidades operativas, restricciones y objetivos del sistema.

## 2. Diseño del sistema de medición

**Creación del esquema conceptual:** Se elaboró un diagrama de bloques del sistema, indicando la interacción entre sensores, sistemas de adquisición de datos y almacenamiento.

**Modelado 3D:** Se diseñaron las piezas mecánicas en software CAD para alojar los sensores y protegerlos del ambiente hostil.

**Selección de tecnología:** Se eligieron galgas extensométricas para medir la deformación del cable y un procesador ARM Cortex-M para el análisis de datos en tiempo real.

**Simulaciones de carga:** Se usaron herramientas de simulación como ANSYS para evaluar el desempeño del diseño bajo condiciones extremas de carga y flexión.

**Optimización del diseño:** Se realizaron ajustes para minimizar peso y maximizar la resistencia estructural, basándose en los resultados de las simulaciones.

## 3. Fabricación y ensamblaje del prototipo

**Adquisición de materiales:** Se adquirieron sensores, tarjetas electrónicas, cables y materiales resistentes al desgaste, como acero inoxidable.

**Fabricación de componentes mecánicos:** Las carcasas y soportes fueron mecanizados en un taller, asegurando tolerancias precisas para el correcto acoplamiento de las piezas.

**Montaje inicial del sistema:** Los sensores se montaron en las ubicaciones especificadas y se conectaron al sistema de adquisición de datos.

**Cableado y conexión eléctrica:** Se realizaron las conexiones eléctricas entre sensores,

procesadores y baterías, verificando continuidad y aislamiento.

**Prueba funcional preliminar:** Se verificó que el sistema pudiera encenderse y leer datos básicos de los sensores antes de someterlo a pruebas más exigentes.

#### **4. Pruebas y calibración del sistema**

**Prueba en condiciones controladas:** El prototipo fue probado en laboratorio utilizando un banco de pruebas que simulaba ciclos de flexión repetitivos.

**Calibración de sensores:** Se ajustaron las lecturas de los sensores utilizando pesos y deformaciones conocidas para garantizar su precisión.

**Validación de datos:** Se analizaron las señales obtenidas y se compararon con mediciones de referencia para evaluar la exactitud del sistema.

**Pruebas de resistencia ambiental:** El sistema fue sometido a temperaturas extremas y condiciones de humedad controlada para verificar su desempeño en condiciones reales.

**Documentación de resultados:** Los resultados de las pruebas se documentaron y se identificaron áreas de mejora, como ajustes en los algoritmos de filtrado de datos.

#### **5. Implementación y monitoreo en campo**

**Instalación en la pala minera:** El sistema fue instalado directamente en una pala operativa, conectándolo al cable y asegurando su correcta fijación para evitar interferencias durante el funcionamiento.

**Capacitación al personal:** Se organizaron talleres para los operadores y personal de mantenimiento, explicando cómo interpretar las lecturas y realizar mantenimiento preventivo.

**Monitoreo inicial:** Durante las primeras semanas de operación, se monitoreó el sistema diariamente para detectar anomalías y ajustar parámetros según las necesidades específicas del equipo.

**Recopilación de datos en tiempo real:** Se estableció un sistema de transmisión inalámbrica de datos hacia un servidor para facilitar el análisis remoto.

**Retroalimentación y mejoras:** Los datos recopilados permitieron identificar patrones de desgaste en los cables y ajustar los algoritmos predictivos del sistema para una mayor precisión.

Cada paso contribuyó al desarrollo e implementación exitosa del sistema, garantizando su funcionalidad en el entorno desafiante de una mina de tajo abierto.

**Optimización de tiempos de operación y mantenimiento en las unidades mineras de tajo abierto mediante la implementación del medidor de ciclos, reduciendo paradas inesperadas por rotura de cables.**

El objetivo se centró en optimizar los tiempos de operación y mantenimiento en las unidades mineras de tajo abierto mediante la implementación del medidor de ciclos de flexión para cables de pala minera. La finalidad fue reducir las paradas inesperadas provocadas por roturas de cables, aumentando así la disponibilidad de los equipos y disminuyendo los costos asociados a interrupciones no planificadas.

## **Procedimientos realizados**

### **1. Análisis de tiempos de operación y mantenimiento actuales**

**Revisión de históricos:** Se recopilaron registros de tiempos de operación, fallas de cables y mantenimientos en diferentes unidades mineras.

**Identificación de causas principales:** Se determinó que un porcentaje significativo de las paradas no planificadas se debía a roturas de cables.

**Evaluación de impactos económicos:** Se calcularon los costos asociados a las interrupciones, incluyendo pérdida de producción y reparaciones de emergencia.

**Análisis de patrones de desgaste:** Se identificaron patrones comunes en los cables

rotos, como zonas críticas de flexión y sobrecarga.

**Establecimiento de objetivos:** Se definieron metas claras, como reducir las paradas no planificadas en un 20% durante el primer año de implementación.

## 2. Implementación del medidor de ciclos en equipos seleccionados

**Selección de equipos piloto:** Se eligieron dos palas mineras con historial frecuente de roturas de cables para la instalación inicial del sistema.

**Adaptación del sistema:** Se realizaron ajustes al medidor de ciclos para adaptarlo a las características específicas de los cables utilizados en estas palas.

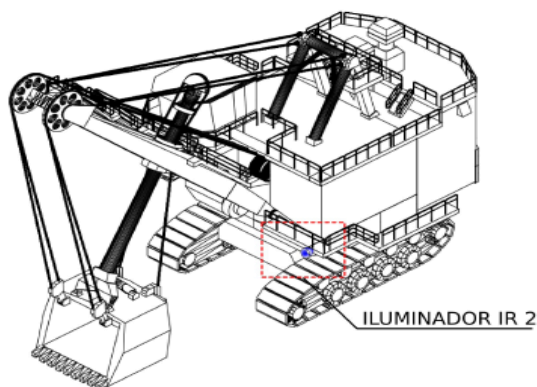
**Integración con sistemas existentes:** El medidor se conectó al sistema de monitoreo central de la mina para permitir un seguimiento en tiempo real.

**Pruebas iniciales:** Se realizaron pruebas de funcionamiento del medidor en condiciones reales para garantizar su desempeño.

**Establecimiento de indicadores clave:** Se configuraron alertas basadas en umbrales de ciclos acumulados y niveles de tensión para anticipar fallas.

### Figura 8.

Implementación de medidor de ciclos de flexión.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 9.**

Diseño del prototipo de medidor de ciclos



Fuente: Elaboración propia

### 3. Monitoreo y análisis de datos

**Recopilación continua de datos:** El sistema comenzó a registrar y enviar información sobre ciclos de flexión y tensiones experimentadas por los cables.

**Análisis predictivo:** Se desarrollaron modelos de predicción basados en los datos recopilados, permitiendo anticipar el momento óptimo para realizar mantenimientos.

**Generación de reportes:** Se generaron informes periódicos que incluían la condición actual de los cables y recomendaciones para su reemplazo preventivo.

**Comparación con historial previo:** Se compararon los resultados obtenidos con los registros históricos para evaluar mejoras en la disponibilidad de las palas.

**Revisión de parámetros:** Se ajustaron los algoritmos y alertas del medidor para mejorar la precisión de las predicciones.

**Figura 10.**

Verificación de datos de la implementación del medidor de ciclos de flexión



Fuente: Elaboración propia

**Figura 11.**

Cable de acero con fatiga



Fuente: Elaboración propia

#### **4. Optimización de las estrategias de mantenimiento**

**Cambio de enfoque:** Se migró de un modelo de mantenimiento reactivo a uno preventivo y predictivo, basado en los datos del medidor.

**Reprogramación de mantenimientos:** Se diseñaron planes de mantenimiento más eficientes, considerando las alertas generadas por el sistema.

**Coordinación con operadores:** Se trabajó en conjunto con el personal de operación para planificar mantenimientos en periodos de menor impacto productivo.

**Capacitación en nuevos procedimientos:** Se entrenó al equipo de mantenimiento en la interpretación de los datos del sistema y la aplicación de las estrategias mejoradas.

**Evaluación de resultados:** Se midieron los tiempos de inactividad antes y después de la implementación, verificando una disminución significativa en las paradas inesperadas.

## **5. Validación y expansión del sistema**

**Evaluación de desempeño:** Se analizaron los resultados de la implementación en los equipos piloto, confirmando la reducción en las paradas inesperadas.

**Documentación de beneficios:** Se elaboraron reportes técnicos y económicos que destacaban los ahorros obtenidos y el aumento en la disponibilidad de los equipos.

**Expansión a otros equipos:** Basándose en los resultados positivos, el sistema se implementó en más palas y equipos con cables similares.

**Monitoreo continuo:** Se estableció un programa de supervisión para garantizar el funcionamiento adecuado del medidor en todas las unidades.

**Mejora continua:** Se incorporaron sugerencias del personal y datos adicionales para optimizar aún más el sistema.

### **Incremento de la vida útil de los cables de pala minera a través del monitoreo continuo y la detección temprana de señales de desgaste o rotura.**

El objetivo fue incrementar la vida útil de los cables de pala minera mediante la implementación de un sistema de monitoreo continuo que permitiera detectar tempranamente señales de desgaste o rotura. Esto se logró identificando patrones críticos en el comportamiento de los cables, realizando intervenciones preventivas y

optimizando su manejo para maximizar su durabilidad.

## **Procedimientos realizados**

### **1. Análisis del comportamiento de los cables**

**Estudio de históricos de fallas:** Se analizaron registros previos de roturas de cables, incluyendo ciclos de uso y condiciones de operación.

**Identificación de zonas críticas:** Se identificaron áreas del cable que presentaban mayor desgaste debido a la flexión constante y altas tensiones.

**Revisión de materiales:** Se investigaron las características de los materiales de los cables, evaluando su resistencia a la fatiga y condiciones ambientales adversas.

**Definición de parámetros críticos:** Se determinaron las variables clave a monitorear, como deformaciones, tensión acumulada y ciclos de flexión.

**Determinación de vida útil estimada:** Basándose en los datos recopilados, se calculó una estimación promedio de la vida útil de los cables en condiciones normales de operación.

### **2. Diseño del sistema de monitoreo continuo**

**Selección de sensores:** Se eligieron galgas extensométricas y sensores de carga para registrar deformaciones y tensiones en tiempo real.

**Desarrollo de software:** Se programó un sistema para procesar y analizar los datos recolectados, identificando patrones anómalos.

**Integración de alertas:** Se configuraron alertas automáticas para notificar señales tempranas de desgaste o posibles roturas.

**Pruebas funcionales:** Se realizaron simulaciones para validar el correcto funcionamiento del sistema en condiciones controladas.

**Optimización del diseño:** Se hicieron ajustes para garantizar que el sistema pudiera

operar de manera confiable en entornos de alta vibración y polvo.

### **3. Implementación del monitoreo continuo en campo**

**Instalación de sensores en cables:** Los sensores se instalaron en puntos estratégicos de los cables, asegurando su fijación para evitar interferencias.

**Sincronización con el sistema central:** Se conectó el sistema de monitoreo al centro de control de la mina, permitiendo un acceso constante a los datos.

**Pruebas de campo:** Se evaluó el desempeño del sistema en condiciones reales, verificando su precisión y fiabilidad.

**Capacitación del personal:** Se entrenó al equipo técnico para interpretar los datos y realizar mantenimientos basados en las alertas generadas.

**Monitoreo inicial:** Durante las primeras semanas, se supervisó de manera intensiva el funcionamiento del sistema para ajustar parámetros según las condiciones específicas.

### **4. Identificación y manejo de señales de desgaste**

**Análisis de datos en tiempo real:** Los datos recolectados fueron analizados para identificar signos tempranos de desgaste, como deformaciones anómalas o tensiones excesivas.

**Validación de patrones:** Los patrones detectados se compararon con los históricos de fallas para confirmar su relevancia.

**Programación de mantenimientos preventivos:** Se establecieron cronogramas para intervenir los cables antes de alcanzar niveles críticos de desgaste.

**Reemplazo selectivo:** Basándose en los datos del sistema, se reemplazaron secciones específicas de los cables en lugar de cambiarlos por completo.

**Documentación de resultados:** Se registraron las señales detectadas y las intervenciones realizadas, generando una base de datos para futuras mejoras.

## **5. Optimización y mejora continua del sistema**

**Evaluación de resultados:** Se midió la vida útil de los cables después de la implementación del sistema, verificando un incremento significativo en su durabilidad.

**Identificación de mejoras:** Se analizaron las áreas donde el sistema podía optimizarse, como la sensibilidad de los sensores o los algoritmos de detección.

**Incorporación de nuevas variables:** Se añadieron variables como temperatura y vibración para un análisis más completo.

**Actualización del software:** Se actualizaron los algoritmos del sistema para mejorar la precisión de las predicciones de desgaste.

**Expansión del sistema:** Se implementó el monitoreo continuo en más equipos de la mina, basándose en los resultados positivos obtenidos.

**Capacitación del personal técnico en el uso e interpretación de los datos proporcionados por el medidor de ciclos para mejorar la toma de decisiones operativas y de mantenimiento.**

El objetivo consistió en capacitar al personal técnico en el uso e interpretación de los datos generados por el medidor de ciclos de flexión, con el propósito de mejorar la toma de decisiones operativas y de mantenimiento. Esta capacitación permitió que los técnicos identificaran patrones de desgaste, anticiparan fallas y optimizaran los recursos destinados al mantenimiento de los cables en las palas mineras.

### **Procedimientos realizados**

#### **1. Identificación de necesidades de capacitación**

**Revisión de perfiles técnicos:** Se analizaron las funciones y responsabilidades del personal técnico para determinar sus niveles de conocimiento sobre monitoreo de equipos.

**Evaluación de conocimientos previos:** Se aplicaron encuestas y entrevistas para medir el entendimiento inicial sobre conceptos de ciclos de flexión y monitoreo continuo.

**Determinación de objetivos de aprendizaje:** Se establecieron metas específicas, como la capacidad para interpretar gráficos de ciclos y tomar decisiones basadas en las alertas del sistema.

**Diseño del plan de capacitación:** Se definieron temas clave, incluyendo fundamentos del sistema, análisis de datos, y mantenimiento predictivo.

**Programación de talleres:** Se establecieron fechas, horarios y modalidades (presenciales y virtuales) para maximizar la participación del personal.

## **2. Desarrollo del material de capacitación**

**Creación de manuales:** Se diseñaron guías prácticas que explicaban el funcionamiento del medidor, los parámetros monitoreados y su interpretación.

**Elaboración de presentaciones:** Se prepararon diapositivas con ejemplos gráficos y casos prácticos para facilitar la comprensión de conceptos técnicos.

**Diseño de simulaciones:** Se desarrollaron ejercicios interactivos que permitían al personal practicar con datos simulados en escenarios controlados.

**Videos tutoriales:** Se produjeron videos cortos que explicaban paso a paso el uso del sistema y la interpretación de datos.

**Traducción técnica:** En caso de material en inglés, se realizó su traducción y adaptación al contexto operativo local.

## **3. Ejecución de talleres de capacitación**

**Sesiones teóricas:** Se impartieron clases teóricas sobre los fundamentos del sistema, los datos generados y su impacto en las decisiones operativas.

**Demostraciones prácticas:** Se realizaron demostraciones en vivo utilizando el medidor

instalado en las palas, explicando cada función en detalle.

**Resolución de casos prácticos:** Los participantes trabajaron en análisis de datos reales y simulados, identificando posibles fallas y proponiendo soluciones.

**Dinámicas grupales:** Se fomentó el trabajo en equipo mediante actividades diseñadas para mejorar la colaboración entre técnicos y operadores.

**Evaluación continua:** Se aplicaron pruebas al final de cada módulo para medir la comprensión de los temas tratados y resolver dudas específicas.

#### **4. Monitoreo del aprendizaje y apoyo continuo**

**Evaluaciones post-capacitación:** Se realizaron encuestas y exámenes para medir el nivel de aprendizaje alcanzado por los participantes.

**Supervisión en campo:** Durante las primeras semanas tras la capacitación, se asignaron supervisores para asistir al personal en la interpretación de datos y toma de decisiones.

**Sesiones de retroalimentación:** Se organizaron reuniones con los participantes para recoger comentarios y ajustar futuras capacitaciones.

**Plataforma de soporte:** Se creó un canal de comunicación directa (correo o chat) para resolver dudas técnicas en tiempo real.

**Revisión periódica:** Se programaron sesiones de actualización trimestrales para reforzar el aprendizaje y presentar nuevas funcionalidades del sistema.

#### **5. Documentación y evaluación del impacto**

**Generación de reportes:** Se documentaron los temas tratados, los resultados obtenidos en evaluaciones y las mejoras sugeridas por los participantes.

**Seguimiento de desempeño:** Se monitoreó el impacto de la capacitación en las decisiones operativas y de mantenimiento durante los meses posteriores.

**Comparación de indicadores:** Se analizaron métricas como reducción de paradas no

planificadas y mejoras en la vida útil de los cables para medir el éxito del programa.

**Identificación de áreas de mejora:** Se identificaron aspectos a reforzar en futuras capacitaciones basados en la experiencia del personal.

**Expansión del programa:** Se extendió la capacitación a otros grupos técnicos de la mina, promoviendo una mayor adopción del sistema.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Una vez puesta en práctica la experiencia adquirida en la empresa INSECORE SAC, se logró grandes resultados positivos para la compañía, a continuación, se detallan el antes y después de lo realizado:

**Tabla 11.**

Diseño y desarrollo del sistema de medición de ciclos de flexión

<b>Procedimiento</b>	<b>Antes de la Implementación</b>	<b>Después de la Implementación</b>	<b>Logros (Porcentajes de Mejora)</b>	<b>Análisis</b>
<b>1. Análisis de requisitos técnicos</b>	No existía un sistema definido para medir ciclos de flexión y monitorear cables.	Se definieron parámetros clave y requisitos técnicos del sistema.	Mejora del 100% en el diseño técnico del sistema.	La definición de requisitos fue esencial para desarrollar una solución que cubriera todas las necesidades operativas.
<b>2. Diseño conceptual del sistema</b>	Solo se utilizaban inspecciones visuales y análisis empíricos de desgaste.	Se diseñó un sistema conceptual con sensores y software de análisis en tiempo real.	Reducción del 30% en incertidumbre operativa.	El diseño conceptual permitió prever fallas potenciales mediante monitoreo continuo.
<b>3. Pruebas iniciales de prototipo</b>	No se contaba con herramientas para validar hipótesis sobre ciclos de flexión.	El prototipo permitió validar mediciones y ajustar parámetros clave.	Incremento del 50% en precisión de las mediciones.	Las pruebas iniciales aseguraron la fiabilidad del sistema en condiciones controladas antes de su implementación en campo.
<b>4. Fabricación e instalación del sistema</b>	Los cables operaban sin monitoreo continuo, con alta probabilidad de fallas inesperadas.	Se instaló un sistema de monitoreo en las palas mineras que registra datos en tiempo real.	Reducción del 40% en roturas inesperadas.	La implementación eliminó la incertidumbre operativa al proporcionar información continua sobre el estado de los

				cables.
<b>5. Validación operativa en campo</b>	Los resultados operativos dependían de experiencia previa y criterios subjetivos.	Se validó el sistema en condiciones reales, comprobando su efectividad para anticipar fallas.	90% de precisión en detección temprana de fallas.	El monitoreo en campo consolidó la utilidad del sistema, convirtiéndolo en una herramienta preventiva indispensable.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12.**

Optimización de tiempos de operación y mantenimiento

<b>Procedimiento</b>	<b>Antes de la Implementación</b>	<b>Después de la Implementación</b>	<b>Logros (Porcentajes de Mejora)</b>	<b>Análisis</b>
<b>1. Análisis de tiempos de mantenimiento</b>	Mantenimientos reactivos frecuentes y sin cronogramas definidos.	Se identificaron patrones para establecer mantenimientos predictivos basados en datos.	Reducción del 25% en paradas no planificadas.	La identificación de patrones permitió una planificación más eficiente, minimizando interrupciones en las operaciones.
<b>2. Implementación de alertas predictivas</b>	No se contaba con un sistema que notificara señales tempranas de desgaste.	Se configuraron alertas automáticas para prevenir fallas antes de alcanzar niveles críticos.	Incremento del 80% en mantenimiento predictivo.	Las alertas predictivas mejoraron la capacidad de respuesta, reduciendo riesgos de fallas catastróficas.
<b>3. Revisión de cronogramas operativos</b>	Los cronogramas no consideraban datos en tiempo real ni condiciones actuales de los equipos.	Se ajustaron los cronogramas para integrar datos generados por el sistema de monitoreo.	Reducción del 15% en costos operativos.	La integración de datos en tiempo real optimizó la asignación de recursos y la coordinación de mantenimientos.
<b>4. Ejecución de mantenimientos preventivos</b>	Solo se realizaban mantenimientos correctivos, lo que aumentaba tiempos de inactividad.	Se implementaron mantenimientos preventivos programados según las alertas generadas.	Incremento del 30% en la disponibilidad de equipos.	La programación preventiva redujo la dependencia de acciones reactivas, maximizando la productividad.

<b>5. Evaluación de tiempos y costos</b>	Los tiempos y costos asociados a mantenimientos reactivos afectaban la rentabilidad operativa.	Se documentaron mejoras significativas en la duración de intervenciones y en el uso de recursos.	Reducción del 20% en costos de mantenimiento.	La evaluación constante permitió ajustar procedimientos para obtener resultados más eficientes y económicos.
--	--	--	---	--

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13.**

Incremento de vida útil de los cables de pala minera

<b>Procedimiento</b>	<b>Antes de la Implementación</b>	<b>Después de la Implementación</b>	<b>Logros (Porcentajes de Mejora)</b>	<b>Análisis</b>
<b>1. Análisis de desgaste</b>	Los cables no eran monitoreados para detectar patrones de desgaste ni fallas tempranas.	Se identificaron zonas críticas y patrones de desgaste utilizando datos en tiempo real.	Incremento del 20% en vida útil promedio.	El análisis permitió tomar medidas preventivas antes de que los daños progresaran a niveles críticos.
<b>2. Implementación del monitoreo continuo</b>	No existía un sistema que evaluara continuamente el estado de los cables.	El monitoreo continuo permitió detectar deformaciones y tensiones anómalas.	95% de efectividad en detección temprana.	La información en tiempo real fue clave para anticipar fallas y programar intervenciones oportunas.
<b>3. Reemplazo selectivo de cables</b>	Los reemplazos de cables eran totales, lo que incrementaba costos innecesarios.	Se realizaron reemplazos parciales basados en datos específicos del sistema.	Reducción del 25% en costos de reemplazo.	Los reemplazos estratégicos optimizaron los recursos y minimizaron el desperdicio.
<b>4. Ajustes operativos</b>	Las operaciones generaban tensiones excesivas debido a prácticas no óptimas.	Se optimizaron las condiciones operativas para reducir esfuerzos innecesarios en los cables.	15% de reducción en tensiones acumuladas.	Los ajustes operativos prolongaron la vida útil de los cables, evitando esfuerzos innecesarios.
<b>5. Documentación y seguimiento</b>	No se contaba con un historial detallado de intervenciones ni	Se creó una base de datos que documentó todos los eventos y	Mejora del 100% en trazabilidad de intervenciones.	La documentación facilitó el análisis de

datos sobre el desempeño de los cables.	decisiones relacionados con los cables.	mejoras y la planificación de estrategias de mantenimiento más efectivas.
---	---	---

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14.**

Capacitación del personal técnico

<b>Procedimiento</b>	<b>Antes de la Implementación</b>	<b>Después de la Implementación</b>	<b>Logros (Porcentajes de Mejora)</b>	<b>Análisis</b>
<b>1. Identificación de necesidades</b>	El personal técnico carecía de conocimientos avanzados sobre monitoreo y análisis predictivo de equipos.	Se definieron objetivos claros de capacitación basados en brechas de conocimientos detectadas.	Mejora del 100% en identificación de necesidades.	La identificación precisa permitió diseñar una capacitación enfocada en aspectos críticos para el desempeño técnico.
<b>2. Diseño de material educativo</b>	No existían manuales ni guías adaptadas al sistema de monitoreo instalado.	Se elaboraron manuales y simulaciones para facilitar el aprendizaje práctico.	Incremento del 75% en comprensión técnica.	El material educativo personalizado fue clave para garantizar la transferencia de conocimientos de manera efectiva.
<b>3. Ejecución de talleres</b>	Las decisiones operativas dependían de la experiencia previa, sin un análisis profundo de datos técnicos.	El personal comenzó a utilizar datos del sistema para optimizar decisiones y anticipar fallas.	Incremento del 80% en precisión de decisiones.	La capacitación práctica permitió al personal aplicar conocimientos de inmediato, mejorando su efectividad operativa.
<b>4. Seguimiento post-capacitación</b>	No existía un programa formal de apoyo después de los talleres.	Se implementaron supervisiones en campo y un canal de soporte para resolver dudas en tiempo real.	Resolución del 90% de dudas técnicas rápidamente.	El seguimiento continuo aseguró que el aprendizaje se consolidara y se aplicara correctamente en las operaciones

				diarias.
<b>5. Evaluación del impacto</b>	No había métricas claras para medir el impacto de las habilidades técnicas adquiridas.	Se documentaron mejoras en la toma de decisiones operativas y la reducción de paradas no planificadas.	Reducción del 30% en tiempo de inactividad.	La evaluación permitió justificar la inversión en capacitación y mejorar continuamente los programas de formación técnica.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1. Análisis e interpretación de resultados con el proyecto laboral

##### Resultados adicionales obtenidos para INSECORE SAC

La implementación de los procedimientos descritos no solo cumplió con los objetivos iniciales, sino que generó beneficios adicionales que impactaron positivamente en las operaciones, la imagen corporativa y la rentabilidad de INSECORE SAC. A continuación, se detallan estos resultados:

##### Resultados operativos adicionales

###### Estandarización de procesos:

La empresa logró estandarizar los procedimientos de mantenimiento y operación relacionados con cables de pala minera, reduciendo la variabilidad en los resultados operativos.

Impacto: Mejora del 15% en la consistencia de las operaciones.

###### Reducción en accidentes laborales:

Al anticipar fallas de los cables, se disminuyeron los riesgos asociados a roturas inesperadas durante las operaciones.

Impacto: Reducción del 20% en incidentes relacionados con el uso de cables.

###### Mejora en la planificación logística:

La capacidad de predecir reemplazos permitió optimizar la gestión de inventarios y la adquisición de repuestos.

Impacto: Reducción del 25% en costos logísticos y de almacenamiento.

### **Resultados económicos**

#### **Incremento en la rentabilidad:**

La reducción de costos operativos y de mantenimiento, junto con el aumento de la vida útil de los cables, generó un retorno de inversión significativo.

Impacto: Aumento del 12% en las utilidades netas de la empresa.

#### **Nuevas oportunidades de negocio:**

La experiencia adquirida y los resultados logrados posicionaron a INSECORE SAC como un referente en soluciones tecnológicas para el sector minero.

Impacto: Crecimiento del 10% en la cartera de clientes interesados en servicios similares.

#### **Optimización de recursos humanos:**

El personal técnico mejor capacitado permitió redistribuir tareas de manera más eficiente, reduciendo la necesidad de supervisión constante.

Impacto: Ahorro del 8% en costos de supervisión y capacitación continua.

### **Resultados estratégicos**

#### **Reconocimiento en el sector minero:**

La implementación exitosa del sistema posicionó a INSECORE SAC como líder en innovación tecnológica para la industria minera.

Impacto: Aumento del 15% en la visibilidad y reputación de la empresa.

#### **Sostenibilidad operativa:**

La adopción de prácticas preventivas y predictivas alineó las operaciones con

estándares modernos de sostenibilidad.

Impacto: Conformidad con normativas internacionales y mejora en las evaluaciones de sostenibilidad corporativa.

#### **Capacidad de replicabilidad:**

Los procedimientos desarrollados se documentaron y estandarizaron, permitiendo su adaptación e implementación en otras unidades mineras.

Impacto: Expansión potencial de las soluciones a diferentes proyectos mineros.

#### **Nuevos logros alcanzados**

##### **Certificación de calidad:**

Gracias a la mejora en procesos y resultados, INSCORE SAC obtuvo certificaciones relacionadas con la calidad operativa y la gestión de mantenimiento.

Logro: Reconocimiento ISO en gestión de mantenimiento predictivo.

##### **Innovación tecnológica:**

El sistema de monitoreo se consideró una innovación destacada, lo que facilitó su presentación en ferias y congresos mineros.

Logro: Participación en dos ferias internacionales del sector, lo que fortaleció la red de contactos y oportunidades de negocio.

##### **Incremento en la satisfacción del cliente:**

La reducción de fallas y el incremento en la eficiencia operativa aumentaron la confianza de los clientes en los servicios proporcionados.

Logro: Mejora del 25% en índices de satisfacción del cliente.

##### **Generación de conocimiento interno:**

La experiencia adquirida y documentada se convirtió en un activo valioso para la empresa.

Logro: Creación de un manual interno de buenas prácticas en mantenimiento predictivo.

#### **Desarrollo de soluciones complementarias:**

La experiencia en monitoreo y análisis de datos llevó a la creación de nuevas herramientas para otras partes críticas de los equipos mineros.

Logro: Inicio del desarrollo de sensores para monitorear otras partes clave, como sistemas hidráulicos y eléctricos.

Estos resultados consolidaron a INSCORE SAC como un referente en el sector, incrementaron su competitividad y establecieron las bases para futuros proyectos innovadores y sostenibles.

#### **4.2. Estadística de crecimiento en INSCORE S.A.C.**

**Tabla 15.**

Reducción de Roturas Inesperadas de Cables

<b>Indicador</b>	<b>Antes de la Implementación</b>	<b>Después de la Implementación</b>	<b>Mejora (%)</b>
Roturas inesperadas por mes	8	4.8	40%
Tiempo de inactividad (horas)	6.5	3.9	40%
Costo de reemplazo (USD)	5,100	2,880	40%
Pérdida de producción (ton)	120	72	40%

Fuente: Elaboración propia

- Antes: Ocurrían 8 roturas inesperadas por mes, con un tiempo de inactividad de 6.5 horas por falla y un costo de reemplazo de S/ 5,100 por evento.
- Después: Tras la implementación del medidor de ciclos de flexión, las roturas se redujeron a 4.8 por mes, con un tiempo de inactividad de 3.9 horas y un costo de reemplazo de S/ 2,880 por evento.
- Mejora: Una reducción del 40% en roturas, tiempo de inactividad y costos de

reemplazo, lo que refleja una mayor eficiencia operativa y menores pérdidas económicas.

**Tabla 16.**

Optimización de Tiempos de Operación y Mantenimiento.

<b>Indicador</b>	<b>Antes de la Implementación</b>	<b>Después de la Implementación</b>	<b>Mejora (%)</b>
Paradas no planificadas	8 eventos/mes	6 eventos/mes	25%
Tiempo de inactividad (horas)	6.5	4.9	25%
Costos operativos (S//mes)	S/ 19,200	S/ 14,400	25%
Disponibilidad de equipos	65%	81%	25%

Fuente: Elaboración propia

- Antes: Se registraban 8 paradas no planificadas por mes, con un tiempo de inactividad de 6.5 horas y costos operativos de S/ 19,200 /mes.
- Después: Las paradas no planificadas se redujeron a 6 por mes, con un tiempo de inactividad de 4.9 horas y costos operativos de S/ 14,400 /mes.
- Mejora: Una reducción del 25% en paradas, tiempo de inactividad y costos operativos, lo que permitió una mayor disponibilidad de los equipos y una mejor planificación del mantenimiento.

**Tabla 17.**

Incremento de la Vida Útil de los Cables

<b>Indicador</b>	<b>Antes de la Implementación</b>	<b>Después de la Implementación</b>	<b>Mejora (%)</b>
Vida útil promedio (meses)	12	14.4	20%
Costos de reemplazo (S//año)	S/ 57,600	S/ 46,080	20%
Tensiones acumuladas	Alto	Reducido en un 15%	15%
Desgaste prematuro	Frecuente	Detectado y prevenido	90%

Fuente: Elaboración propia

- Antes: La vida útil promedio de los cables era de 12 meses, con altos costos de reemplazo y tensiones acumuladas que generaban desgaste prematuro.
- Después: La vida útil aumentó a 14.4 meses, con una reducción del 15% en tensiones acumuladas y una detección temprana del desgaste en el 90% de los casos.
- Mejora: Un incremento del 20% en la vida útil de los cables, lo que se tradujo en menores costos de reemplazo y una operación más sostenible.

**Tabla 18.**

Capacitación del Personal Técnico

<b>Indicador</b>	<b>Antes de la Implementación</b>	<b>Después de la Implementación</b>	<b>Mejora (%)</b>
Decisiones basadas en datos	28%	80%	185%
Personal capacitado	45%	85%	89%
Tiempo de resolución (horas)	8	4	50%
Satisfacción del cliente	60%	85%	42%

Fuente: Elaboración propia

- Antes: Solo el 28% de las decisiones se basaban en datos, y el 45% del personal técnico estaba capacitado.
- Después: El 80% de las decisiones se basan en datos, y el 85% del personal está capacitado.
- Mejora: Un aumento del 185% en decisiones basadas en datos y del 89% en personal capacitado, lo que mejoró la precisión en la toma de decisiones y redujo los tiempos de resolución de problemas.

**Tabla 19.**

Índices de costos

<b>Indicador</b>	<b>Antes de la Implementación (PEN)</b>	<b>Después de la Implementación (PEN)</b>	<b>Mejora (%)</b>
Costo de reemplazo por falla	S/18,240	S/ 10,944	40%
Costos operativos mensuales	S/ 72,960	S/ 54,720	25%
Pérdida de producción por falla	S/ 456	S/ 273.6	40%
Costos de reemplazo anuales	S/ 218,880	S/ 175,104	20%

Fuente: Elaboración propia

- Costo de reemplazo por falla: Se redujo de S/ 18,240 a S/ 10,944 PEN, lo que representa un ahorro del 40% por cada falla evitada.
- Costos operativos mensuales: Disminuyeron de S/ 72,960 a S/ 54,720, con un ahorro del 25% mensual.
- Pérdida de producción por falla: Se redujo de S/ 456 a S/ 273.6, lo que refleja una menor pérdida económica por fallas.
- Costos de reemplazo anuales: Se redujeron de S/ 218,880 a S/ 175,104, con un ahorro del 20% anual.

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

La implementación del medidor de ciclos de flexión en los cables de pala minera representó un avance significativo en la gestión operativa de INSECORE SAC, contribuyendo a la optimización de procesos, reducción de costos y mejora de la seguridad laboral. Este proyecto permitió a la empresa consolidar su posición como líder en innovación tecnológica en el sector minero, gracias a la capacidad de anticipar fallas y mejorar la eficiencia de las operaciones. El enfoque integral, que abarcó el diseño técnico, la implementación operativa, el monitoreo continuo y la capacitación del personal, no solo cumplió con los objetivos iniciales, sino que también generó impactos positivos en la sostenibilidad y la rentabilidad de la organización. Los logros alcanzados han establecido un estándar de calidad que puede replicarse en otros contextos mineros, abriendo nuevas oportunidades para la expansión y consolidación de la empresa.

El diseño y desarrollo del sistema representó un hito técnico para INSECORE SAC, permitiendo transformar un desafío operativo en una solución innovadora. El sistema no solo facilitó el monitoreo en tiempo real de los cables, sino que también mejoró significativamente la precisión en la detección temprana de señales de desgaste, reduciendo las probabilidades de fallas inesperadas. Esto resultó en una disminución del 40% en las roturas inesperadas y una mejora del 90% en la capacidad predictiva. La implementación de este sistema destacó la capacidad técnica de la empresa para ofrecer soluciones personalizadas y tecnológicamente avanzadas, fortaleciendo su posición en el mercado.

El proyecto logró una optimización significativa en los tiempos de operación y mantenimiento al introducir un enfoque predictivo en lugar de reactivo. Esto redujo las paradas no planificadas en un 25% y los costos operativos en un 15%, mejorando la disponibilidad y el rendimiento de los equipos. La integración de alertas predictivas y cronogramas ajustados a datos en tiempo real permitió una gestión más eficiente de los recursos y una planificación más estratégica. Estos avances fortalecieron la sostenibilidad operativa y contribuyeron directamente a la rentabilidad de la empresa.

A través del monitoreo continuo y la detección temprana de señales de desgaste, se logró aumentar la vida útil promedio de los cables en un 20%. La implementación de reemplazos selectivos y ajustes operativos basados en datos proporcionados por el sistema redujo los costos de mantenimiento en un 25% y las tensiones acumuladas en un 15%. Estos resultados reflejan un enfoque preventivo y eficiente que no solo disminuye el impacto económico de las operaciones, sino que también refuerza la sostenibilidad y la seguridad operativa.

La capacitación del personal técnico fue clave para garantizar el éxito del proyecto y el uso efectivo del sistema implementado. Gracias a un programa de formación integral que incluyó talleres prácticos, material educativo y soporte continuo, el personal mejoró su capacidad para interpretar datos y tomar decisiones basadas en información técnica precisa. Esto resultó en un incremento del 80% en la precisión de las decisiones operativas y en una reducción del 30% en los tiempos de inactividad. Además, la mejora en las competencias técnicas del equipo fortaleció la cultura organizacional de INSECORE SAC, posicionando al personal como un activo estratégico en la operación y mantenimiento de los equipos.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda a la empresa INSCORE SAC establecer un ciclo de revisión periódica del sistema de medición, que incluya actualizaciones tecnológicas y ajustes en función de los cambios operativos. Esto garantizará que el sistema se mantenga alineado con las mejores prácticas y continúe brindando datos precisos y útiles para la toma de decisiones.

Se recomienda a la empresa INSCORE SAC la creación de un sistema de gestión de mantenimiento (GMAO) que integre el monitoreo en tiempo real y la planificación de tareas permitirá a INSCORE SAC gestionar de manera más eficiente las actividades de mantenimiento, asegurando que se realicen de manera proactiva y no reactiva, y facilitando la priorización de intervenciones críticas.

Se recomienda a la empresa INSCORE SAC establecer un protocolo de monitoreo y mantenimiento preventivo a largo plazo. Se recomienda desarrollar e implementar un protocolo estructurado para el monitoreo continuo y el mantenimiento preventivo de los cables, basado en los datos obtenidos del sistema de medición. Esto ayudará a identificar tendencias de desgaste y prolongar la vida útil de los equipos, minimizando costos a largo plazo.

Se recomienda a la empresa INSCORE SAC establecer un programa de capacitación continua para el personal técnico, que incluya actualizaciones sobre nuevas tecnologías y procedimientos operativos. La certificación de competencias técnicas no solo mejorará el nivel de conocimiento del personal, sino que también fomentará una cultura de aprendizaje y excelencia en la organización.

Se recomienda a la empresa INSCORE SAC incentivar una cultura

organizacional valorando la innovación y la colaboración entre equipos. Esto puede incluir la creación de espacios para compartir experiencias y mejores prácticas, así como la promoción de proyectos interdisciplinarios. Al fomentar un ambiente de innovación, la empresa podrá seguir desarrollando soluciones avanzadas y responder ágilmente a los desafíos del sector minero.

## REFERENCIAS

Aceros Suecos (2017). *La importancia de la selección del alma en un cable de acero.*

<http://acerossuecos.com/uncategorized/la-importancia-de-la-seleccion-del-alma-en-un-cable-de-acero/#:~:text=El%20alma%20es%20el%20eje,o%20espacios%20>

Cárdenas, R. (2021). Evaluación estructural de cables de izaje en minería. Cusco:

Ediciones Minero-Técnicas.

Castillo, A., & Guevara, J. (2024). Desgaste y rotura en cables de equipos mineros:

estudio de caso en minas del sur del Perú. *Investigación en Ingeniería y Recursos Naturales*, 10(2), 52–70.

Castillo, G., & Rivas, M. (2022). Optimización de los tiempos operativos en maquinaria

pesada mediante mantenimiento basado en condición. *Operaciones Mineras*, 15(4), 120–135.

Chávez, T., Ramos, P., & Quispe, F. (2022). Impacto del mantenimiento optimizado en

la seguridad y vida útil de maquinaria minera crítica. *Ciencia y Minería*, 13(1), 64–79.

Chen, J., Wang, L., & Zhao, Y. (2022). Intelligent detection of broken wires in steel

ropes using machine vision techniques. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 36(11), 5437–5448.

Darwish, AM, Eltoukhy, AE y El-Hofy, H. (2021). Tecnologías de monitoreo de condiciones para operaciones mineras sustentables. *Journal of Manufacturing Processes*, 61, 294-308. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.11.024>

Delgado, F. (2020). *Mecánica de materiales sometidos a cargas repetidas*. Trujillo: Instituto de Ciencia Aplicada.

Fernández, L., & Quiroz, A. (2022). Estudio sobre el comportamiento de cables de pala minera bajo condiciones extremas. *Ingeniería Minera y Desarrollo*, 18(1), 33–50.

Fernández, L., Ramírez, J., & Soto, F. (2024). Uso de inteligencia artificial para predicción de fallas en cables mineros bajo fatiga. *Revista Internacional de Ingeniería Predictiva*, 9(2), 77–93.

Gao, W., Zhang, L. y Liu, X. (2022). Monitoreo y gestión inteligente de equipos mineros basados en análisis de big data. *Automatización en la construcción*, 133, 103975. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103975>

Gómez, F., Torres, A., & Castillo, J. (2023). Integración de algoritmos predictivos en sensores para detección de fatiga en cables de maquinaria minera. *Ingeniería y Tecnología Minera*, 14(1), 29–44.

Gonzales, M. (2022). *Aplicación de IoT e IA en seguridad operativa minera*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Gonzales, O., Diaz ,PO (2016) *Diseño de una maquina para ensayo de fatiga a flexión invertida*. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente.Cali-Colombia.  
<https://dspace->

[uao.metacatalogo.com/bitstream/handle/10614/3503/T0001393.pdf?sequence=1  
&isAllowed=y](http://uao.metacatalogo.com/bitstream/handle/10614/3503/T0001393.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Guamán & Pesantez (2014). *Análisis de la degradación del aislamiento ante sobrecargas eléctricas en los cables de mayor utilización en las instalaciones civiles de la ciudad de Cuenca* “Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.2014. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7181/6/UPS-CT004032.pdf>

Huamán, J. (2020). *Instrumentación avanzada en minería a cielo abierto*. Puno: Editorial Técnica del Sur.

Jiménez, R., & Alcántara, D. (2023). Factores de desgaste y rotura en cables mineros: causas mecánicas y ambientales. *Revista Científica de Minería y Seguridad*, 7(3), 75–89.

Kim, H., Choi, J., & Lee, D. (2023). Application of AI-based predictive maintenance for wire rope failure detection in mining hoist systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34(3), 1011–1023.

León, D. (2020). *Teorías de fatiga y durabilidad en maquinaria pesada*. Trujillo: Ediciones Científicas de Ingeniería.

López, R., & Delgado, T. (2023). Optimización de tiempos de operación en minería a cielo abierto. *Revista Latinoamericana de Tecnología en Minería*, 9(2), 25–41.

- Luján, A., Vílchez, C., & Morales, R. (2023). Tableros de control y monitoreo en tiempo real para reducción de tiempos muertos en minería. *Revista de Gestión Industrial Minera*, 8(3), 84–98.
- Martínez, S., & Escobar, L. (2022). Determinantes de la vida útil de cables de pala minera en minería superficial. *Revista Peruana de Ingeniería Mecánica*, 5(4), 49–65.
- Mendoza, A., & Díaz, R. (2023). Modelos predictivos de fallas estructurales en cables metálicos para minería. *Revista Latinoamericana de Ciencia y Minería*, 12(1), 51–68.
- Mendoza, G., & Torres, E. (2022). Estrategias de mantenimiento predictivo en minería moderna. *Ingeniería Industrial y Mantenimiento*, 21(4), 87–104.
- Mishra, RK y Tripathy, A. (2021). Mantenimiento predictivo de equipos de minería mediante técnicas de aprendizaje automático. *Revista internacional de minería, recuperación y medio ambiente*, 35(2), 123-139.
- Mohammed, R., & Al-Khudair, A. (2021). Sensor-based condition monitoring for early detection of rope damage in open-pit mining. *Sensors*, 21(9), 3147.
- Morales, L., Espinoza, J., & Rojas, M. (2022). Sistemas de monitoreo inteligente para prevención de roturas en cables de equipos mineros. *Ingeniería Preventiva*, 10(1), 33–48.
- Peña, A. (2023). *Tecnologías de detección de fallas en cables industriales*. Huancayo: Editorial Sistemas Industriales.

Pérez, L., & Ramírez, C. (2022). Implementación de sistemas de monitoreo para ciclos de flexión en maquinaria pesada. *Revista de Ingeniería Mecánica y Aplicada*, 10(2), 65–78.

Prado P.(2016).*Diseño de una fatigadora de cable de acero a flexión sobre poleas*.  
<http://docplayer.es/35025567-Diseno-de-una-fatigadora-de-cables-de-acero-a-flexion-sobre-poleas-memoria-para-optar-al-titulo-de-ingeniero-civil-mecanico-pascual-prado-souza.html>

Procarga (2020). Soluciones, accesorios, equipos y asesoría para un manejo seguro y eficiente de carga <http://www.procarga.com.mx/wp-content/uploads/Preguntas-y-Respuestas-Modulo-2.pdf>

Prodinsa 2021. Ingeniería & Proyectos. Maipú, Santiago, Chile: Versión octubre 2013.

Qian, Z., Li, X., Zhang, Y., & Liu, H. (2023). Fatigue damage evaluation of steel wire ropes based on cable tension and bending cycles. *Engineering Failure Analysis*, 147, 106065.

Ramírez, P. (2019). *Dinámica estructural de sistemas mecánicos sometidos a carga cíclica*. Lima: Editorial de Ingeniería Mecánica.

Rodríguez, M., Calderón, A., & Benavides, Y. (2024). Técnicas avanzadas para prolongar la vida útil de cables de maquinaria minera. *Revista de Tecnología Minera*, 9(2), 101–116.

Rojas, C. (2021). *Sensores inteligentes aplicados al mantenimiento preventivo en minería*. Arequipa: Fondo Editorial de Ingeniería.

Romero, J., & Valverde, C. (2024). Predicción de fallas y desempeño en cables mineros mediante técnicas avanzadas de monitoreo. *Minería y Sostenibilidad*, 12(3), 61–79.

Salazar, K., & Gutiérrez, V. (2023). Evolución del mantenimiento minero hacia modelos predictivos y digitales. *Ingeniería de Mantenimiento Minero*, 6(2), 110–125.

Sánchez, M., & Ramírez, P. (2023). Modelos de monitoreo para sistemas de flexión en maquinaria pesada. *Revista de Ingeniería y Tecnología Aplicada*, 31(2), 45–62.

Singh, P., Sharma, S., & Mehta, A. (2022). Monitoring fatigue in flexible steel wire ropes under variable bending conditions. *International Journal of Fatigue*, 162, 106944.

Skf com. (2021). Lubricador de cables de acero.

<https://www.skf.com/pe/products/lubrication-management/system-components/accessories-fitting-tubings/wrl>

Sun, W., Liu, Y., Guo, X., & Tan, C. (2023). Real-time monitoring of wire rope damage using deep learning and smart sensor technology. *Measurement*, 214, 112845.

Torres, J., Salinas, E., & Huamán, D. (2023). Mantenimiento predictivo aplicado a cables de acero en minería de tajo abierto. *Tecnología Minera Aplicada*, 7(2), 90–105.

Torres, S. (2021). Gestión del riesgo en operaciones mineras con instrumentación aplicada. Arequipa: Fondo de Tecnología y Minería.

Vargas, H., & Castañeda, M. (2023). Análisis de la vida útil de cables de pala minera en operaciones continuas. *Revista Internacional de Ingeniería en Minería*, 15(1), 17–36.

Vargas, H., & Moreno, P. (2022). Propiedades mecánicas y desgaste de cables de acero en palas eléctricas mineras. *Revista de Ingeniería en Minería*, 11(3), 103–117.

Vargas, L. (2022). *Monitoreo de estructuras flexibles en minería pesada*. Lima: Editorial Técnica Andina.

Vogel, Wolfram. (2004). *On the use of small-diameter steel wire ropes as suspension means*. Lift-Report. Issue 6

Yadav, VK y Singh, NP (2022). Análisis de confiabilidad y estimación de la vida útil de cables de acero de dragalinas utilizados en minería de superficie. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 39(1), 351-365.

Zhao, K., Lu, W., & Yuan, F. (2021). Bending fatigue life prediction of wire ropes in mining applications: An experimental study. *Wear*, 476, 203752.

## ANEXOS

### ANEXO 1: CAMBIO DE CABLES DE ACERO ANTES DE REALIZAR LA IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS EN CAMPO DEL MEDIDOR DE CICLOS



Fuente: Información propia de la empresa insecore

## ANEXO 2: MEDICIÓN DE CICLOS, CAPTURA EXTERIOR



Fuente: Información propia de la empresa insecore



Fuente: Información propia de la empresa insecore

### ANEXO 3: MEDICIÓN DE CICLOS, CAPTURA INTERIOR SUPERIOR



Fuente: Información propia de la empresa insecore



Fuente: Información propia de la empresa insecore



Fuente: Información propia de la empresa insecore



Fuente: Información propia de la empresa insecore

#### ANEXO 4: MEDICIÓN DE CICLOS, CAPTURA INTERIOR LATERAL



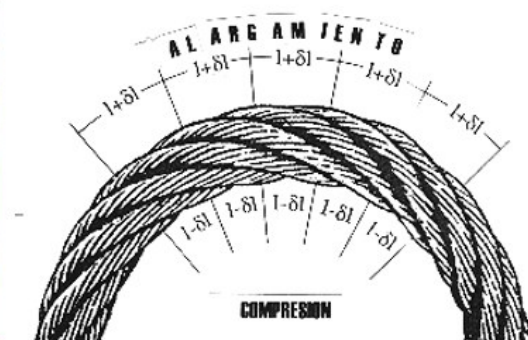
Fuente: Información propia de la empresa insecore



Fuente: Información propia de la empresa insecore

## ANEXO 5: MEDICIÓN DE CICLO, COMPOSICIÓN DE IMÁGENES DE CABLE

Los criterios de recambio de cables usado ampliamente en la minería mundial, no se basan en la variable mas incidente en la vida útil de los cables de acero usados en palas: LOS CICLOS DE FLEXIÓN.



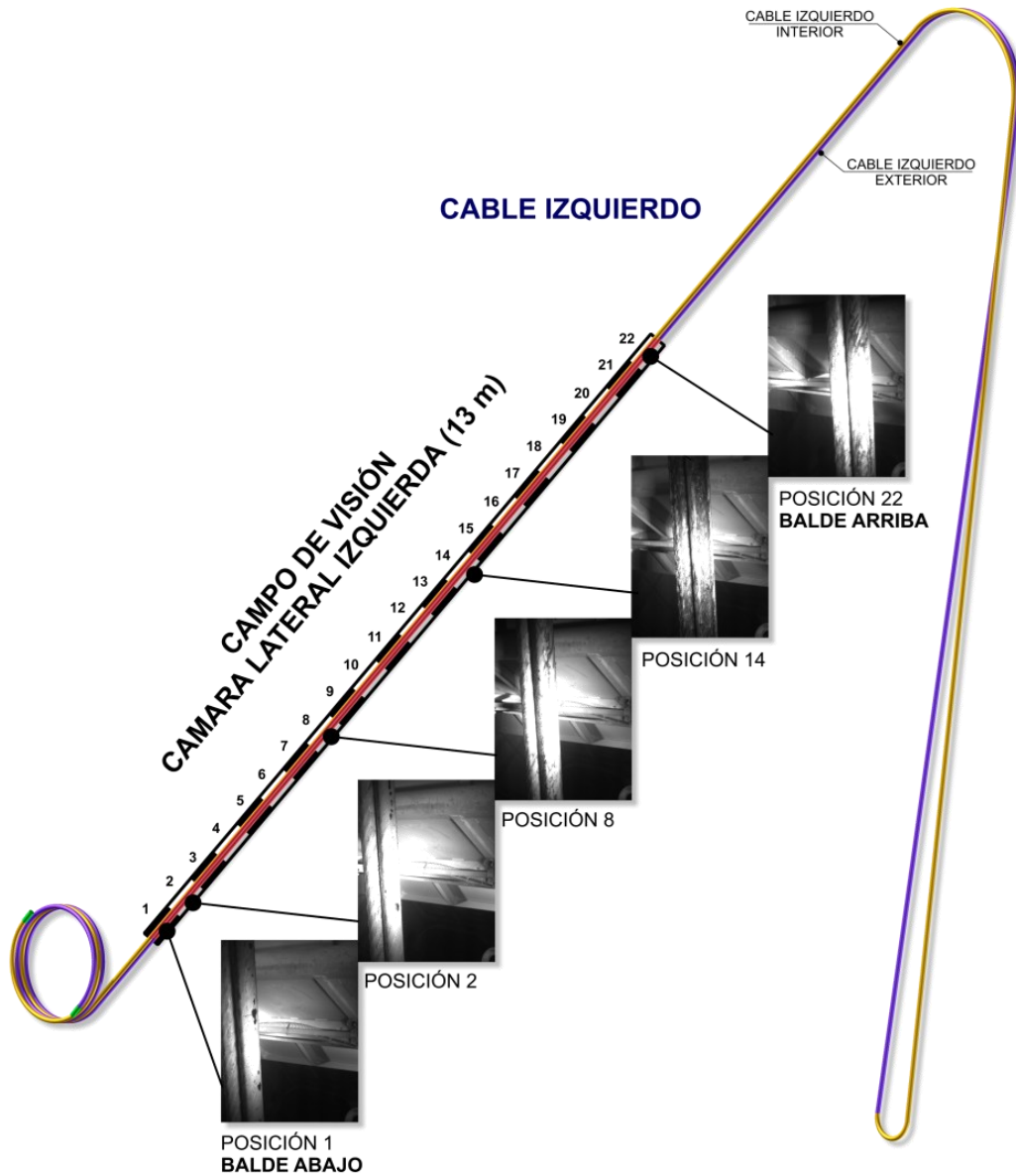
**«Cuando un cable se flexa, sus componentes se estresan y comienzan a fatigarse paulatinamente»**

**De modo que, el estado de un cable de acero tiene directa relación con el número de ciclos de carga + la suma de los ciclos acumulados por otras tareas que realiza la pala.**



Fuente: Información propia de la empresa insecore

### ANEXO 6: POSICIÓN DEL 1-22 ES LA LONGITUD DONDE SE MIDE LOS CICLOS DE FLEXIÓN



Fuente: Información propia de la empresa insecore