

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA



**PROPUESTA DE MEJORAS PARA PREVENIR COLISIONES EN CHUTE
TELESCOPICO MEDIANTE LA INSTALACION DE SENSORES DE PROXIMIDAD**

Trabajo de titulación para optar al título
Profesional de INGENIERIA EN
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL CON
LICENCIATURA EN MANTENIMIENTO.

Alumna:

María José Ruiz Calvo

Docente Guía:

Sr. Eduardo Vidal Páez



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.-IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Propuesta de mejoras para prevenir colisiones en chute telescópico mediante la instalación de sensores de proximidad

Nombre del candidato(a): María José Ruiz Calvo

Carrera/Grado: Ingeniería en mantenimiento industrial

Campus: Sede Viña del Mar **Departamento:** Mecánica

2.-VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Eduardo Vidal Páez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente

DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.-EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6meses ☐ 12meses ☐ 2años ☐ 3años ☐ 5años ☐ 10años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.-FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 07/08/2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 04/08/2026

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Resumen

El presente trabajo de título se enfoca principalmente, en la elección e instalación de un sistema de sensores de proximidad, para el chute telescópico, área Shiploaders, utilizado para la descarga de concentrado de cobre a granel de la compañía Minera Los Pelambres ubicada en la localidad de Los Vilos, región de Coquimbo.

Esta investigación surge ante la necesidad de prevenir colisiones que pueden generar daños estructurales, perdidas de material o retraso en la continuidad operacional del proceso, mediante la instalación de sensores de proximidad en el chute telescópico que descarga directamente a la bodega de la motonave. Dado el carácter crítico de esta operación, se plantea una solución técnica/operacional orientada principalmente a maximizar la seguridad, horas de detención, reducir los daños estructurales y evitar pérdidas económicas por interrupciones o siniestros.

En el capítulo uno se realizará un diagnostico operacional mediante el análisis Ishikawa, identificando y clasificando las principales causas de riesgo de colisión en el chute telescópico (equipos, métodos, materiales, personal, entorno), con el fin de establecer controles técnicos que maximicen la seguridad en la operación de carga.

En el capítulo número dos se elaborará un plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis causa raíz, se definirá inspecciones, calibraciones y pruebas constantes para los sensores de proximidad y el control, asegurando su operatividad continua y reduciendo la probabilidad de fallas.

El capítulo número tres constara de una evaluación de pre factibilidad técnica y económica, se analizarán costos, beneficios y viabilidad de implementar el plan preventivo, enfocándose en la optimización de la eficiencia del chute telescópico y la reducción de tiempos de inactividad en la operación.

Índice

Resumen.....	2
Índice.....	3
Índice ilustraciones.....	5
Índice de tablas.....	6
Siglas.....	7
Introducción.....	8
Objetivos.....	10
Objetivo general:.....	10
Objetivos específicos:.....	10
CAPÍTULO I: Antecedentes Generales.....	11
1.- Antecedentes Generales.....	13
1.1.- Antecedentes de la empresa.....	13
1.1.1.- Misión:.....	14
1.1.2.- Visión:.....	14
1.1.3.- Cultura:.....	15
1.1.4.- Localización:.....	15
1.1.5.- Política:.....	16
1.1.6.- Principios:.....	16
1.2.- Proceso productivo.....	18
1.2.1.- Proceso actual de carguío.....	18
1.2.2.- Metodología WRAC.....	20
1.2.3.- Matriz de riesgo.....	20
1.2.4.- Mapa riesgos.....	22
1.2.5.- Seguridad.....	22
1.2.5.- Reportes del centro documental de SSO:.....	24
1.3.- Análisis Ishikawa.....	26
CAPÍTULO II: Metodología.....	27
2.- Metodología.....	29

2.1.-Metodología Ishikawa:	29
2.2.- Análisis de causa raíz y plan de mantenimiento preventivo	29
2.2.1.- Equipos	29
2.2.2.-Métodos	30
2.2.3.- Personal	31
2.2.4.- Materiales	32
2.2.5.- Entorno	32
2.2.6.- Medición.....	33
2.3.- Hallazgos técnicos y de gestión de mantenimiento.....	33
2.4.- Determinación de la causa raíz.....	34
2.5.- Sensores de proximidad.....	34
2.5.1.- ¿Porque sensores ultrasónicos de proximidad?.....	35
2.5.2.- Opciones de sensores ultrasónicos.....	36
2.5.3.- Instalación de sensores.....	38
2.6.- Plan de mantenimiento preventivo propuesto	39
CAPÍTULO III: Evaluación técnica y económica.....	40
3.- Evaluación técnica y económica.....	42
3.1.- Evaluación técnica de los sensores propuestos.....	42
3.1.2.- Descripción general del entorno de aplicación.....	42
3.2.- Análisis técnico de los sensores evaluados.....	42
3.3.-Criterios de selección aplicados al chute de descarga.....	44
3.4.- Conclusiones de la evaluación	44
Tabla comparativa de sensores ultrasónicos para chute de descarga.....	45
3.5.- Evaluación económica de los sensores ultrasónicos.	46
3.5.1.- Costos de adquisición estimados	46
3.5.2.- Costos de instalación.....	47
3.5.3.- Costo de mantenimiento anual estimados.....	48
3.5.4.- Vida útil proyectada	48
3.5.5.- Costo total de operación (TCO) estimado a 5 años.....	49
3.6.- Evaluación económica del proyecto	49

Conclusión.....	53
Bibliografía	54

Índice ilustraciones

Figura 1-1: Muelle shiploaders puerto Punta Chungo.....	8
Figura 1-2: Vista aérea minera Los pelambres	11
Figura 1-3: Vista completa puerto Punta Chungo	13
Figura 1-4: Stock pile	15
Figura 1-5: Chute telescópico	17
Figura 1-6: Mapa de riesgo	20
Figura 1-7: Mapa de ruido	21
Figura 1-8: Boletín informativo de incidentes	22
Figura 1-9: Boletín informativo de incidentes	23
Figura 1-10: Boletín informativo de incidentes	23
Figura 1-11: Diagrama Ishikawa	24
 Figura 2-1: Huinche chute telescópico	 27
Figura 2-2: Estructura chute telescópico	27
Figura 2-3: Chute telescópico	28
Figura 2-4: Revestimiento chute telescópico	29
Figura 2-5: Chute telescópico	29
Figura 2-6: Operación carguío	32
Figura 2-7: Sensor Pepperl + Fuchs UMC3000-30H	33
Figura 2-8: Sensor Banner M25U	33
Figura 2-9: Sensor IFM UGT200 (M18,300mm)	33
Figura 2-10: Chute telescópico	34

Índice de tablas

Tabla 1: Matriz de riesgo.....	19
Tabla 2: Plan de mantenimiento preventivo.....	35
Tabla 3: Conclusiones de la evaluación.....	40
Tabla 4: Costos de adquisición estimados.....	41
Tabla 5: Costos de instalación.....	41
Tabla 6: Costos de mantenimiento anual estimados.....	42
Tabla 7: Vida útil proyectada.....	43
Tabla 8: Costo total de operación, estimada a 5 años.....	43

Siglas

AAMM: Autoridad marítima

VAC: Valor actual de costos

ROI: Retorno sobre la inversión

TIR: Tasa interna de retorno

IVA: Impuesto al valor agregado

PLC: Controlador lógico programable

UF: Ultra filtración

ICMM: Consejo Internacional de Minería y Metales

WRAC: Workplace risk assessment and control (herramienta para evaluación y control de riesgos laborales)

NR: Nivel de riesgo

LPP: Ley de protección personal

dB: Decibel (unidad de medida)

SSO: Seguridad y salud ocupacional

MN: Motonave

CLP: Peso chileno

Introducción

Desde los inicios de la humanidad, las herramientas elaboradas por el hombre se han ido perfeccionando cada día, lo que nos ha permitido obtener resultados constantes y precisos para el avance en la fabricación de productos que satisfagan las necesidades de todos los consumidores. Conforme el tiempo paso y a través de los esfuerzos por mejorar funciones y calidad, se han creado artefactos más rápidos e imprescindibles, actualmente podemos conseguir productos o servicios con máquinas que se encargan de elaborar más del 90% de las necesidades, lo cual ha sido posible por la constancia y dedicación que se le ha puesto al desarrollo de las labores de cuidado a los recursos naturales, físicos y de materias primas.

Las exigencias a las que estamos expuestos hoy en día, los altos estándares en calidad, mercados altamente competitivos, y un entorno variable hacen que nos replanteemos nuevos cambios, en todos los sentidos, logrando obtener resultados a una velocidad que sobrepasa en mucho nuestra capacidad de respuesta.

Con estas nuevas tecnologías y altos requerimientos se ha avanzado en la creación de maquinarias que pueden ayudar a obtener estos recursos. Con una continuidad operacional segura y de calidad para el bienestar socioeconómico de hoy y del futuro, las creaciones tecnológicas ofrecen una operación óptima fundamental para el crecimiento comunal, un desarrollo económico próspero y un estado general de paz.

Minera Los Pelambres se encuentra ubicada en la provincia del Choapa, Región de Coquimbo y su yacimiento comienza en la cordillera de los Andes, comuna de Salamanca a unos 3600 metros sobre el nivel del mar y termina en la comuna de los Vilos, en Puerto Punta Chungo, es aquí donde se filtra el concentrado de cobre, se seca y se almacena a una humedad del 9% en el stock pile (es apilada según porcentaje de arsénico). Y finalmente se embarca hacia los mercados internacionales, principalmente Asia.

La continuidad operacional es clave para mantener el proceso productivo funcionando de manera ininterrumpida, segura y eficiente, es por esto, que es tan importante el último eslabón del proceso, el carguío. El proceso para la solución de ésta problemática es por medio de la metodología de Ishikawa.

La presente investigación se sustenta en la recopilación de información de reportes emitidos por SSO y del personal especializado de la empresa, que trabaja directamente en el proceso de carguío del concentrado, complementando con revisión bibliográfica y consulta de fuentes digitales de carácter técnico. Este enfoque metodológico permite articular la experiencia práctica con fundamentos teóricos, garantizando la seriedad y validez del estudio.



Figura 1-1: Muelle shiploaders puerto Punta Chungo

Fuente: Elaboración propia

Objetivos

Objetivo general:

PROPONER UN PLAN DE MEJORA PREVENTIVO A CHUTE TELESCOPICO UTILIZANDO SENSORES DE PROXIMIDAD PARA MEJORAR LA SEGURIDAD OPERACIONAL DEL EQUIPO

Objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico inicial del impacto operacional, mediante un análisis Ishikawa para obtener máxima seguridad en el proceso de carga.
- Elaborar un plan de mantenimiento preventivo a través del análisis causa raíz para asegurar la operatividad continua del sistema de sensores implementados.
- Evaluar la pre factibilidad técnica y económica de la implementación del plan preventivo que garantice una operatividad ágil y eficiente del chute, reduciendo los tiempos de inactividad en las operaciones.

CAPÍTULO I: Antecedentes Generales

1.- Antecedentes Generales

1.1.- Antecedentes de la empresa

Minera Los Pelambres, es una empresa dedicada fundamentalmente a la extracción y producción de concentrado de cobre, molibdeno, plata y oro. La compañía forma parte del grupo minero Antofagasta Minerals, y se destaca por estar entre los cinco primeros productores de cobre del país. (Compañía Minera Los Pelambres, s.f)

La compañía minera tiene su yacimiento en la Cordillera de los Andes, a unos 45 kilómetros al este de la ciudad de Salamanca, Región de Coquimbo. Está ubicado entre 2500 y 4000 metros sobre el nivel del mar. Es un depósito tipo pórfido cuprífero de cobre. (Compañía Minera Los Pelambres, s.f)

La mina cuenta con una planta concentradora, flotación, planta de molibdeno, concentraducto de 120 km. Que transporta el concentrado hasta puerto Punta Chungo en los Vilos, y una planta desalinizadora que abastece de agua a la operación.

Fue descubierto en los años 1920-1930, pero su explotación industrial comenzó en el año 1999, cuando Minera Los Pelambres, propiedad de Antofagasta Minerals en un 60% inicio sus operaciones a gran escala. (Compañía Minera Los Pelambres, s.f)

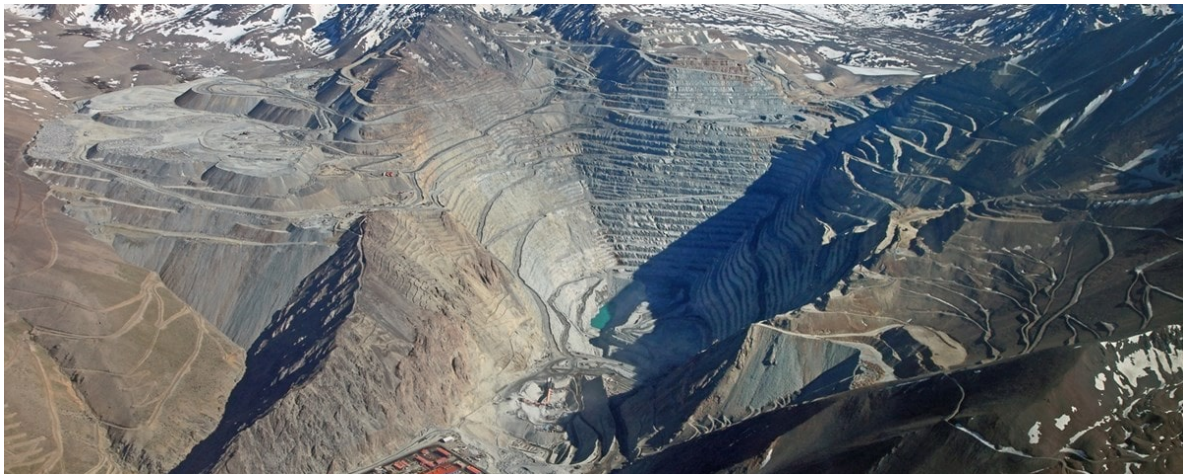


Figura 1-2: Vista aérea minera Los pelambres

Fuente: Minera Los Pelambres

En el año 1999 la mina comenzó su operación a gran escala, completando la puesta en marcha en 84 días con una capacidad de 85.000 toneladas diarias de mineral. Desde entonces y hasta el año 2016 se dice que la producción anual fluctuó entre 300.000 y 320.000 toneladas.(Compañía Minera Los Pelambres, s.f)

En el 2017 se comienza a procesar concentrado de molibdeno, produciendo alrededor de 8.500 toneladas. Este volumen representa una parte significativa de la producción nacional de molibdeno en Chile, ya que se estima que la producción nacional de este subproducto en el 2024 fue de alrededor de 11.324 toneladas, por lo que Pelambres contribuyo con aproximadamente el 74% de la producción nacional de ese año.(Compañía Minera Los Pelambres, s.f)

En el 2024 la producción alcanzo las 343.800 toneladas de cobre, consolidando a Minera Los Pelambres como una de las operaciones cupríferas más grandes del mundo. En la actualidad la mina ha producido un total acumulado de 8,5 millones de toneladas de cobre.(Compañía Minera Los Pelambres, s.f)

Cabe mencionar que el año 2024 se inauguró una planta desalinizadora en Puerto Punta Chungo para abastecer de agua a la operación, reduciendo con esto la dependencia de fuentes de agua dulce cercanas a la comunidad. La planta actualmente produce 400 l/s de agua desalinizada mediante el proceso de osmosis inversa, cuanta con 2 estructuras modulares donde se instalan las membranas de ultrafiltración (UF) en forma de cartuchos y 5 bombas de impulsión que envían el agua ya desalinizada a través de una tubería de 24" y con una longitud de 61 km desde el puerto hasta la estación de recirculación en el tranque El Mauro, para su uso final en la mina. (Compañía Minera Los Pelambres, s.f)

1.1.1.- Misión:

La misión de la empresa es producir cobre de manera responsable, contribuyendo al desarrollo de las comunidades y el progreso del país, con un compromiso firme con la seguridad, el medio ambiente y la sostenibilidad.

1.1.2.-Visión:

Ser una empresa minera líder, reconocida por su excelencia operativa, innovación y aporte al desarrollo sostenible, generando valor para sus accionistas, empleados y comunidades.

1.1.3.- Cultura:

Fomentar un ambiente laboral inclusivo, colaborativo y orientado principalmente al respeto mutuo, promoviendo el bienestar de los empleados y el desarrollo profesional continuo.

Fomentar un ambiente laboral inclusivo, colaborativo y orientado principalmente al respeto mutuo, promoviendo el bienestar de los empleados y el desarrollo profesional continuo.

- Principios:
- Compromiso con la seguridad y salud de las personas
- Respeto y cuidado del medio ambiente
- Integridad y ética en todas las operaciones
- Dialogo y colaboración con las comunidades
- Innovación y mejora continua

1.1.4.- Localización:

La operación minera se encuentra ubicada en la comuna de Salamanca, Región de Coquimbo, Chile, en la cordillera de los Andes, y su instalación Puerto Chungo se encuentra situada en la comuna de Los Vilos, Región de Coquimbo.



Figura 1-3: Vista completa Puerto Punta Chungo

Fuente: Elaboración propia

1.1.5.- Política:

La política de Minera Los Pelambres se estructura sobre principios de sustentabilidad, transparencia y responsabilidad social, integrando criterios técnicos y ambientales que aseguran la continuidad de sus operaciones. En materia hídrica, prioriza la recirculación de agua y la incorporación progresiva de agua de mar desalinizada, junto con la implementación de programas de conservación y mitigación ambiental. En el ámbito de gobernanza corporativa, la compañía orienta su gestión hacia la innovación y la creación de valor sostenible, consolidando relaciones de confianza con sus grupos de interés.

Asimismo, mantiene un compromiso con el desarrollo territorial, mediante la contratación local y la generación de capacitaciones en la comuna de Los Vilos.

Finalmente, su adhesión a estándares internacionales, como el consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM) y el Pacto Global de las Naciones Unidas, refuerza su transición hacia el uso de energías renovables y la mejora continua, posicionándola como un actor clave en el desarrollo económico, social y ambiental en Chile.(Compañía Minera Los Pelambres, s.f)

1.1.6.- Principios:

Minera Los Pelambres, sustenta su gestión en un código de ética que establece normas de transparencia, integridad y cumplimiento normativo, incluyendo un “Modelo de prevención de delitos” que abarca cohecho, soborno, lavado de activos y otros delitos económicos.

- Sus principios fundamentales son:
- Respeto por las personas
- Sustentabilidad
- Excelencia operacional
- Seguridad y salud ocupacional
- Innovación y visión de futuro
- Transparencia y ética

En la actualidad, la compañía minera refuerza estos principios con pilares estratégicos que son la inclusión y diversidad (el 29% de la contratación de la compañía es participación femenina), la sustentabilidad hídrica que refiere a la recirculación de agua y la implementación de la planta desalinizadora, el uso de

energías 100% renovables, y la protección ambiental.(Compañía Minera Los Pelambres, s.f)

Estos principios buscan asegurar una operación confiable, responsable y sostenible en el tiempo, generando valor tanto para sus accionistas como para la comunidad y el país.(Compañía Minera Los Pelambres, s.f)

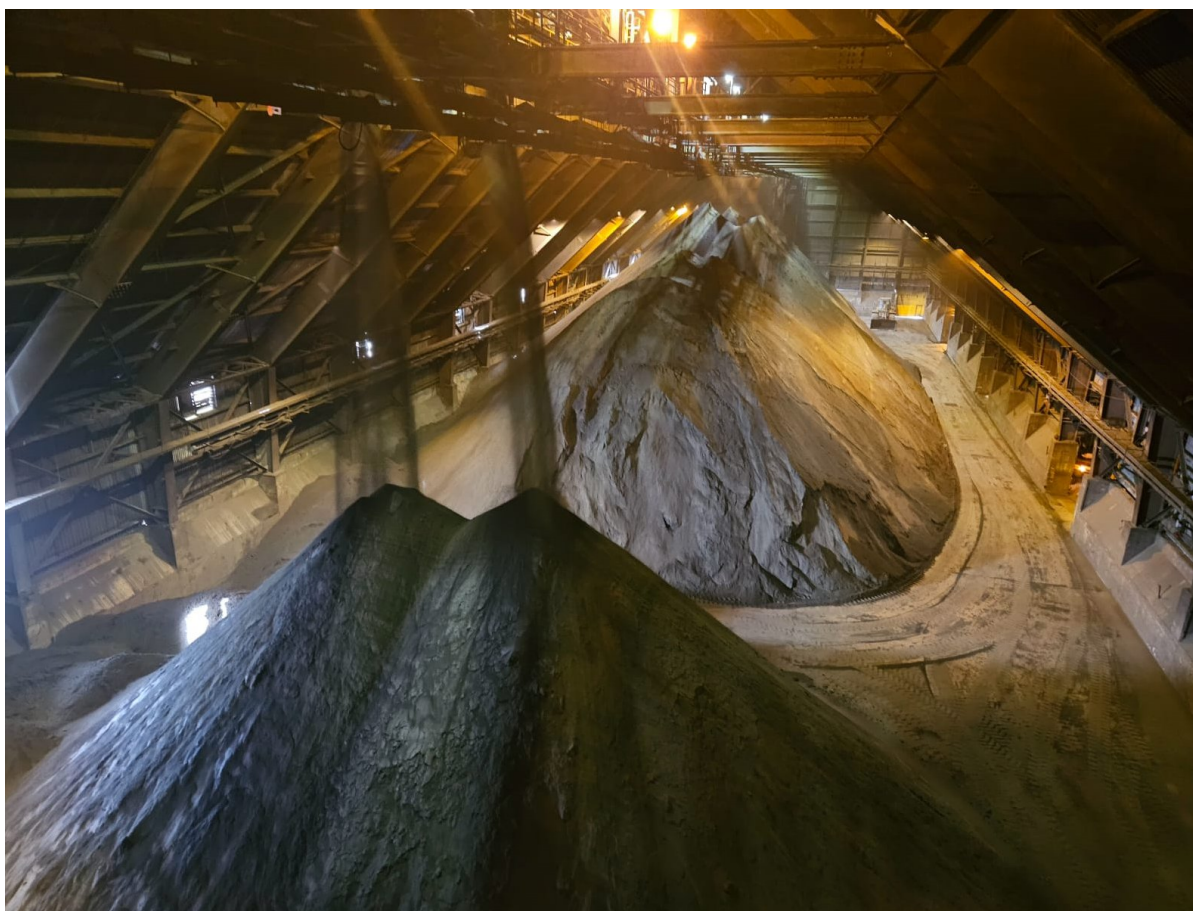


Figura 1-4: Stock pile

Fuente: Elaboración propia

El Equipo para cargar los barcos, denominado Shiploaders, es la culminación del proceso productivo de Minera Los Pelambres, el que permite, transportar y ubicar el concentrado en la bodega de los barcos, y ser trasladados a los diferentes destinos del mundo. Este trabajo involucra una alta expertis debido a la complejidad del equipo que se maneja y las distintas condiciones climáticas, también está la interacción con personal de apoyo y distintas tripulaciones de los barcos que recalán en nuestro terminal.

La propuesta generada pretende mejorar el sistema de embarque y minimizar los riesgos durante las maniobras de carguío del barco.

1.2.1.- Proceso actual de carguío

Durante el carguío del concentrado al interior de las bodegas del barco, se presentan varias situaciones las cuales aumentan los riesgos para el equipo de carguío y también las estructuras de la nave, éstas son:

1. Al depositarla carga en la bodega del barco, ésta no logra llegar a todas las esquinas, debido a la estructura del chute telescópico y las diversas formas de bodegas que traen los diferentes barcos que atracan en nuestro Puerto.
2. En la actualidad solo contamos con el aviso del personal de apoyo para poder acercar el equipo lo máximo posible durante las maniobras que así lo requieren, lo cual nos deja expuestos al criterio del personal de turno para realizar estas acciones que revisten muchísimo riesgo de colisión contra la nave.
3. Al aproximar el equipo a las “brazolas” del barco en ocasiones producto del oleaje se producen roces de metal contra metal entre el barco y el equipo de carguío lo cual genera desgaste y posibles daños.
4. Actualmente el diseño de la cuchara no permite que la carga sea lanzada a una mayor distancia, por lo tanto, es más difícil poder trimar de mejor forma la carga lo cual obliga al operador a tener que levantar el equipo para poder lograr un mejor ángulo y fuerza, para así llegar más lejos, produciendo con esto una mayor polución dentro de la bodega.
5. Al realizar un cambio de bodega o cuando finaliza el carguío, la cuchara es protegida por un maxi saco para prevenir la caída remanente de concentrado. El cambio de este se realiza con personal de apoyo, e involucra un riesgo de atrapamiento debido al permanente movimiento de la nave por el oleaje reinante.



Figura 1-5: Chute telescópico

Fuente: Elaboración propia

1.2.2.- Metodología WRAC

La metodología WRAC es una herramienta formal y sistemática empleada para identificar, evaluar y controlar riesgos operacionales en actividades industriales. En el ámbito del mantenimiento, su utilización es esencial para anticipar peligros asociados a tareas críticas, no rutinarias o de alta complejidad, con el objetivo de prevenir incidentes y garantizar la continuidad operacional. (https://sso.pelambres.cl/MLP_HomeWeb/)

El proceso WRAC se desarrolla a través de talleres participativos multidisciplinarios, en los que se analizan detalladamente las distintas etapas de una actividad de mantenimiento. Durante estos talleres, se identifican los peligros potenciales, se evalúan las consecuencias y las probabilidades de ocurrencia, y se determina el nivel de riesgo asociado a cada tarea.(https://sso.pelambres.cl/MLP_HomeWeb/)

Con base en esta evaluación, se establecen medidas de control preventivas y correctivas, las cuales se integran en la planificación y ejecución de los trabajos de mantenimiento, reduciendo de manera efectiva el riesgo. Ésta metodología promueve una evaluación colectiva y estructurada de escenarios complejos, permitiendo jerarquizar riesgos de acuerdo a su criticidad.(https://sso.pelambres.cl/MLP_HomeWeb/)

En Minera los Pelambres, esta metodología se aplica de forma sistemática en paradas programadas, mantenimientos mayores y trabajos críticos, fortaleciendo la gestión de riesgos operacionales y contribuyendo a una ejecución segura y eficiente de las actividades de mantenimiento.(https://sso.pelambres.cl/MLP_HomeWeb/)

1.2.3.- Matriz de riesgo

- Operación: Minera los Pelambres
- Gerencia: Mantenimiento
- WRAC: 2499.- Mantenimiento mecánica
- Paso del proceso: Apoyo embarque

ID	WRAC	Paso del proceso/frecuencia PDT	Peligro/dimensión	Evento top	Evento no deseado	Nivel sin controles	Nivel con controles
58217	2499.- Mantenimiento Mecánica	Apoyo Embarque	Terreno irregular o resbaladizo	Pérdida de equilibrio	Caída mismo nivel	6	3
58218	2499.- Mantenimiento Mecánica	Apoyo Embarque	Equipos energizados	Interacción con energía eléctrica	Contacto con energía eléctrica (Shock eléctrico)	12	8
58219	2499.- Mantenimiento Mecánica	Apoyo Embarque	Sobre esfuerzo físico al manipular la carga	Manipulación no controlada de carga en el trabajo	Sobreesfuerzo	12	8
58220	2499.- Mantenimiento Mecánica	Apoyo Embarque	Equipos en operación	Exposición de trabajador(a) sobre la dosis de ruido LPP	Hipoacusia	12	8

58221	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Mar	Caída al mar	Inmersión	6	3
58222	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Malas posturas, diseños ergonómicos deficientes, Ritmo impuesto por el equipo	Trastornos musco esquelético (Vibración cuerpo completo (VCC))	Lumbagos, tendinitis	9	6
58223	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Carga de trabajo	Pérdida del equilibrio físico y/o psíquico del trabajador(a) asociados a factores relacionados con el trabajo - burnout	Enfermedad profesional de naturaleza mental y/o accidente	12	6
58224	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Reconocimiento y claridad de rol	Pérdida del equilibrio físico y/o psíquico del trabajador(a) asociados a factores relacionados con el trabajo - burnout	Enfermedad profesional de naturaleza mental y/o accidente	4	2
58225	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Conflicto de rol	Pérdida del equilibrio físico y/o psíquico del trabajador(a) asociados a factores relacionados con el trabajo - burnout	Enfermedad profesional de naturaleza mental y/o accidente	4	2
58226	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Conflicto de rol	Pérdida del equilibrio físico y/o psíquico del trabajador(a) asociados a factores relacionados con el trabajo - burnout	Enfermedad profesional de naturaleza mental y/o accidente	4	2
58227	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Compañerismo	Pérdida del equilibrio físico y/o psíquico del trabajador(a) asociados a factores relacionados con el trabajo - burnout	Enfermedad profesional de naturaleza mental y/o accidente	3	2
58228	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Vulnerabilidad	Pérdida del equilibrio físico y/o psíquico del trabajador(a) asociados a factores relacionados con el trabajo - burnout	Enfermedad profesional de naturaleza mental y/o accidente	9	3
58229	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Violencia y acoso	Pérdida del equilibrio físico y/o psíquico del trabajador(a) asociados a factores relacionados con el trabajo - burnout	Enfermedad profesional de naturaleza mental y/o accidente	9	6
58230	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Inseguridad en las condiciones de trabajo	Pérdida del equilibrio físico y/o psíquico del trabajador(a) asociados a factores relacionados con el trabajo - burnout	Enfermedad profesional de naturaleza mental y/o accidente	9	4
58231	2499.- Mantencción Mecánica	Apoyo Embarque	Equilibrio trabajo y vida privada	Pérdida del equilibrio físico y/o psíquico del trabajador(a) asociados a factores relacionados con el trabajo - burnout	Enfermedad profesional de naturaleza mental y/o accidente	9	6

1.2.4.- Mapa riesgos

- Inherente: Sin controles (riesgo tal y como se presenta)
- Residual: Con controles implementados (Por lo tanto, el NR baja)

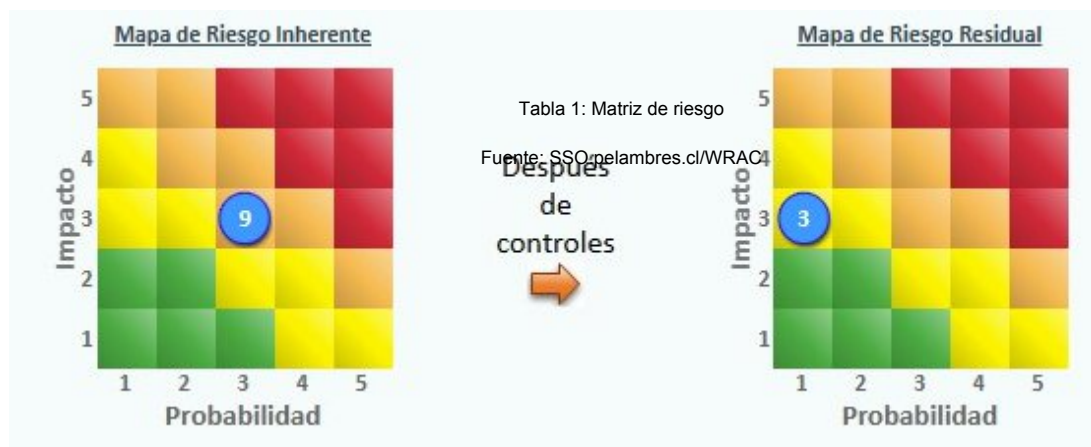


Figura 1-6: Mapa de riesgo

Fuente: SSO.pelambres.cl/WRAC

1.2.5.- Seguridad

En este ámbito y según lo que muestra la matriz de riesgo los puntos más críticos que se encontraron fueron:

- Interacción con energía eléctrica: Al estar la secuencia en operación todas las áreas se encuentran energizadas para continuar con el carguío de la motonave y esto puede provocar una descarga eléctrica en personal expuesto.
- Manipulación no controlada de carga en el trabajo: El mantenedor mecánico debe realizar rondas dentro de la operación en donde debe ingresar con sus herramientas en caso de caída de algún polín de las correas transportadoras, atollo del chute telescópico por desprendimiento de tapas, caída de material de las correas, colisiones, etc., que generan sobre esfuerzo.
- Exposición del trabajador (a) sobre la dosis de ruido LPP: Al estar las 3 correas transportadoras en operación para el carguío la dosis de ruido aumenta a casi los 60 dB (considerando un nivel de riesgo 3)

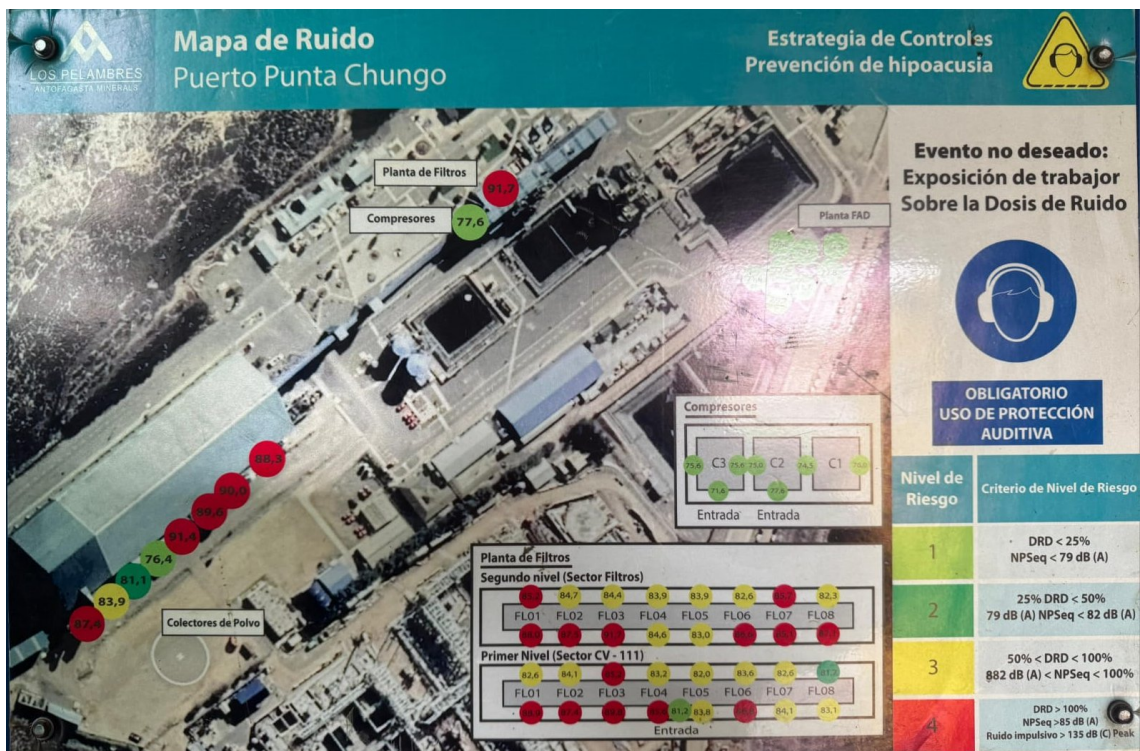


Figura 1-7: Mapa de ruido

Fuente: Minera Los Pelambres

- Pérdida del equilibrio físico y/o psíquico del trabajador (a) asociados a los factores relacionados con el trabajo: El operador esta 12 horas expuesto a condiciones adversas, por ser una tarea critica a bordo de la nave, la interacción entre dos activos de gran envergadura motonave, Shiploaders, genera una gran responsabilidad y concentración del operador en el trabajo que está ejerciendo.

1.2.5.- Reportes del centro documental de SSO:

La compañía posee un centro documental de seguridad y salud ocupacional, https://sso.pelambres.cl/MLP_HomeWeb/, que básicamente es una plataforma interna de gestión de documentos que concentra evidencias, procedimientos, estándares y herramientas que tienen como objetivo garantizar una gestión eficiente y conforme a las normativas vigentes.

En base a esta información y teniendo en cuenta los riesgos asociados a la actividad es que se abordaran las reiteradas colisiones que ha sufrido el Shiploaders en el proceso de carguío, dañando protecciones, chute, estructura de la motonave, entre otras.

Evidencia ocurrida en Shiploaders Puerto Punta Chungo 2024:

Boletín SSO N°774 2024





Colisión de motonave con chute telescópico durante carguío

08.12.2024 / 04:30 hrs. | Shiploader, Puerto Punta Chungo - MLP
Gerencia Puerto / SI Operaciones
Accidente Bajo Potencial, sin lesión, con daño material



¿Qué ocurrió?

Durante maniobra de carga de Motonave Explorer África, debido a movimiento popa-proa de nave, se produce colisión entre mica de iluminación de chute telescópico con tapa de Bodega N°4 de la motonave.

No existe exposición a tripulación durante el evento.

Acciones inmediatas:

- Se activa flujograma de comunicación.
- Se recopilan antecedentes con luz día.

¿Qué debemos reforzar?

- Verificar condiciones Climáticas (oleaje, viento, visibilidad).
- La tripulación debe mantenerse fuera de la línea de fuego y/o detrás de los escudos de protección ante movimientos involuntarios de la motonave por oleaje.
- Verificación de cumplimiento de especificaciones técnicas y estado de las espías utilizadas para la motonave y su debido tensado.



Figura 1-8: Boletín informativo de incidentes

Fuente: SSO.pelambres.cl/WRAC

Boletín SSO N°785 2024





Cuchara de chute telescópico pasa a llevar soporte línea de vida en cambio de bodega

13.12.2024 / 07:55 hrs. | Shiploader, Puerto Punta Chungo - MLP
Gerencia Puerto / SI Operaciones
Accidente de bajo potencial, sin lesión, con daño material



¿Qué ocurrió?

Durante actividad de embarque en Puerto Punta Chungo, operador MLP realizaba maniobra con cuchara de chute telescópico, para cambio de bodega 5 a bodega 2, durante esta operación la cuchara pasa a llevar estructura fija de escalera ubicada en el sector del portalón, la cual incluye cuerda de vida, para el acceso a plataforma de mantenimiento del equipo.

No había personal expuesto en el área.

Acciones inmediatas:

- Se activa protocolo de comunicación.
- Asistencia a policlínico según protocolo.

¿Qué debemos reforzar?

- Verificar condiciones climáticas (oleaje, viento, visibilidad).
- Se debe evaluar siempre las condiciones del entorno antes y durante la tarea de izaje (ART/ARTP riguroso).
- La tripulación debe mantenerse fuera de la línea de fuego, cuando se realiza movimiento de equipo.
- Ante condiciones inseguras o de riesgos, fomentar la aplicación de YO DIGO NO.



Figura 1-9: Boletín informativo de incidentes

Fuente: SSO.pelambres.cl/WRAC

- 2025:

Boletín SSO N°566 2025




Grúa de Motonave (MN) pasa a llevar baranda de Shiploader durante proceso de embarque
05.09.2025 / 15:28 hrs. | Shiploader, Puerto Punta Chungo - MLP
Gerencia Puerto / SI Operaciones Puerto
Accidente de bajo potencial, sin lesión, con daño material

¿Qué ocurrió?

Durante el proceso de embarque a MN Portsmouth en Puerto Punta Chungo, operador MLP realizaba maniobra de posicionamiento de Shiploader en bodega 1, una vez posicionado, la grúa de la MN pasa a llevar baranda de Shiploader debido al oleaje imperante.

No había personal expuesto en el área.

Acciones inmediatas:

- Se activa protocolo de comunicación.
- Se informa a la autoridad Marítima.
- Asistencia a policlínico según protocolo.
- Se recopilan antecedentes para investigación.

¿Qué debemos reforzar?

1. Verificar condiciones climáticas (oleaje, viento, visibilidad).
2. Se debe evaluar siempre las condiciones del entorno antes y durante la tarea de izaje (ART V.4 / ARTP riguroso).
3. La tripulación debe mantenerse fuera de la línea de fuego, cuando se realiza movimiento de equipo.
4. Ante condiciones inseguras o de riesgos, fomentar la aplicación de YO DIGO NO.

Imagen de daño en estructura





Figura 1-10: Boletín informativo de incidentes

Fuente: SSO.pelambres.cl/WRAC

“De: proceso de
carc brazola
lado proa de bodega de motonave, se solicita apoyo de personal de la empresa colaboradora STM para la visual de proximidad de colisión, indicando éste que había espacio de recorrido. El operador avanza con equipo Shiploaders y topa baranda sector salida CV-122 con punta saliente de grúa de motonave que se encuentra en parte alta del equipo. No hubo lesión a las personas. Se procede con flujo comunicacional y protocolo correspondiente.”(SSO.pelambres.cl/WRAC)

1.3.- Análisis Ishikawa

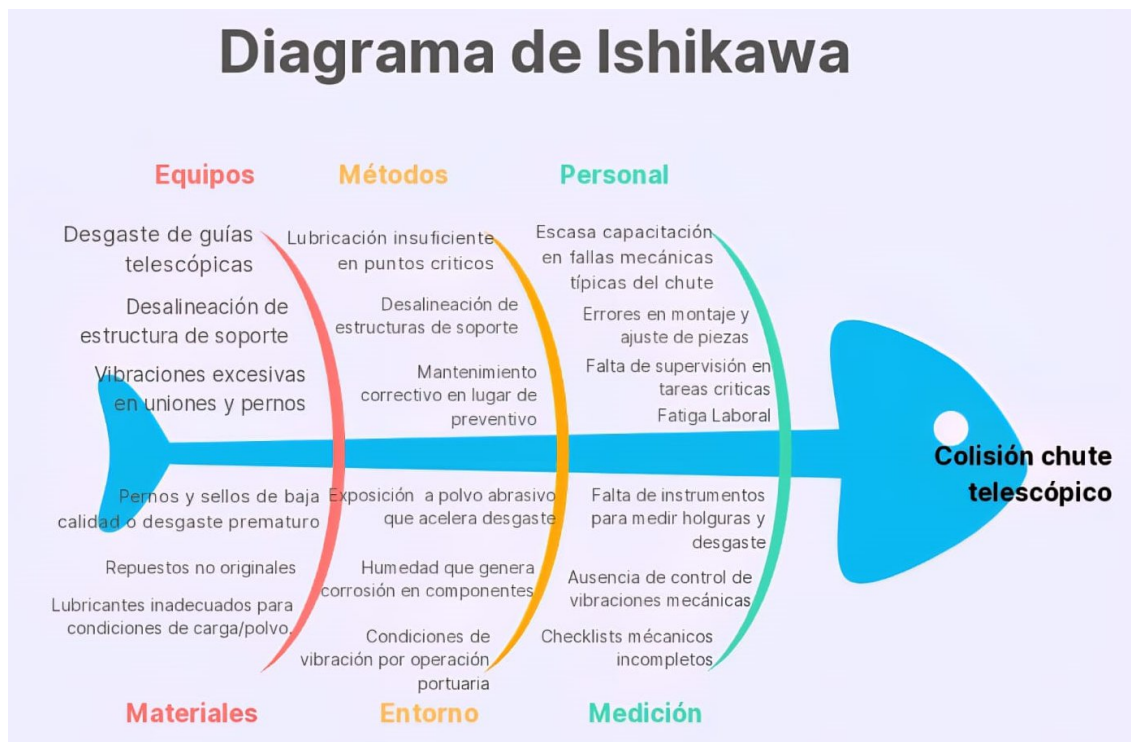


Figura 1-11: Diagrama Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

El análisis de Ishikawa aplicado a las colisiones en el chute telescópico permitió identificar de forma estructurada las causas raíz del problema, agrupándolas en seis categorías: equipos, métodos, personal, materiales, entorno y medición.

Entre las causas destacaron fallas en sensores y sistemas de control, procedimientos operacionales incompletos, problemas en la capacitación del personal, componentes estructurales deteriorados, condiciones ambientales adversas y falta de indicadores de desviación.

Este enfoque evidencio que las fallas técnicas combinadas con factores humanos y organizacionales incrementan el riesgo de colisiones. Como resultados, se definieron acciones orientadas a mejorar la detección temprana, reforzar procedimientos operativos, instalar sensores de proximidad y fortalecer la formación técnica del personal.

CAPÍTULO II: Metodología Ishikawa

2.- Metodología

2.1.-Metodología Ishikawa:

La metodología Ishikawa, también conocida como diagrama causa-efecto, constituye una herramienta de análisis que permite identificar de manera estructurada los factores que originan un problema dentro de un proceso. Este enfoque facilita la clasificación de las causas potenciales en categorías como equipos, métodos, materiales, personal, entorno y medición, con el propósito de determinar la causa raíz que da origen a una falla o desviación operativa. (Kaoru Ishikawa, 1985)

2.2.- Análisis de causa raíz y plan de mantenimiento preventivo

Desde la perspectiva del área del mantenimiento, el análisis de causa raíz se elaboró considerando las principales variables que inciden en las colisiones del chute telescópico durante las maniobras de carga. Para ello, se utilizó la metodología de Ishikawa como herramienta de diagnóstico, permitiendo clasificar las posibles causas en seis categorías: Equipos, métodos, personal, materiales, entorno y medición. Este enfoque facilita la identificación estructurada de los factores que influyen en la ocurrencia de los eventos, con el propósito de diseñar un plan de mantenimiento preventivo que reduzca la probabilidad de colisiones y mejore la seguridad operativa del sistema.

2.2.1.- Equipos

En la categoría de equipos se identificaron fallas asociadas al desgaste mecánico y a la falta de alineación estructural. Se observó que las guías telescópicas presentan deterioro progresivo debido a la fricción continua y a la exposición a condiciones medio ambientales. Asimismo, la desalineación de la estructura de soporte y las vibraciones excesivas en uniones (clamp) y pernos genera desviaciones en el desplazamiento del chute, se agregó que el uso de pernos y sellos de baja calidad, junto con la incorporación de repuestos no originales, disminuye la vida útil de los

componentes. Estos factores técnicos aumentan la probabilidad de impactos al no garantizar la precisión del movimiento telescópico.

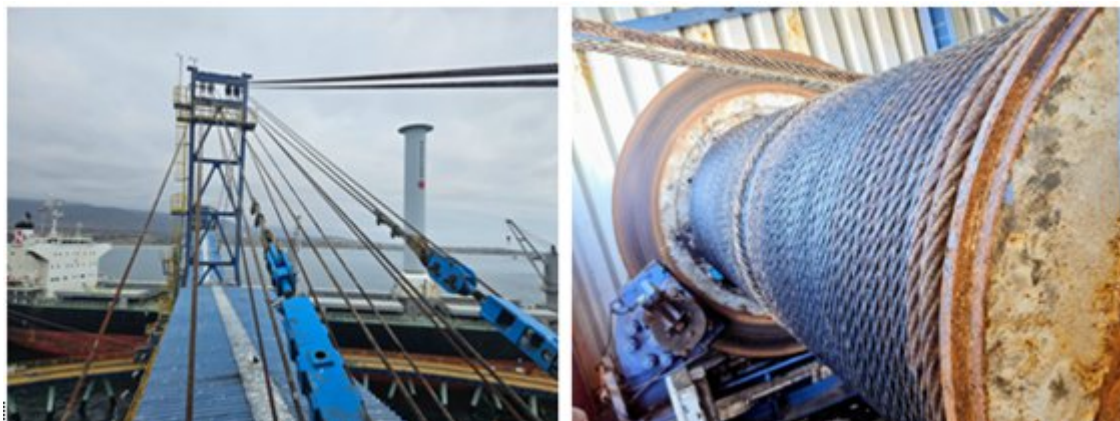


Figura 2-1: Huinche chute telescópico

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.-Métodos

En cuanto a los métodos aplicados, se determinó que la principal debilidad radica en la ejecución de mantenimiento correctivo en lugar de preventivo. Esta práctica constante retrasa la detección de fallas y permite la progresión del desgaste. Además, se evidenció lubricación insuficiente en puntos críticos, desalineación estructural por falta de seguimiento técnico y exposición constante a polvo abrasivo que acelera el deterioro. La ausencia de planificación en las tareas de inspección, el difícil acceso al área de trabajo y la inexistencia de estándares definidos en la ejecución incrementan la frecuencia de incidentes.



Figura 2-2: Estructura chute telescópico

Fuente: Elaboración propia



Figura 2-3: Chute telescópico

Fuente: Elaboración propia

2.2.3.- Personal

El análisis identificó deficiencias en la formación técnica del personal encargado de las maniobras y del mantenimiento. La escasa capacitación en fallas mecánicas específicas del chute, junto con errores de montaje y ajuste de piezas, contribuyen directamente a la pérdida de control operacional. Se suman a esto la falta de supervisión en tareas críticas y la presencia de fatiga laboral, condiciones que afectan la atención y precisión durante las maniobras. Estas causas reflejan la necesidad de fortalecer las competencias técnicas y la gestión del desempeño en el equipo de trabajo.

2.2.4.- Materiales

En la categoría de materiales, se reconoció que el uso de componentes y repuestos de calidad variable influye directamente en la confiabilidad del sistema. Los pernos y sellos con desgaste prematuro, junto con lubricantes inadecuados para ambientes con alta concentración de polvo, provocan pérdidas de hermeticidad y fallas en la amortiguación del movimiento. Asimismo, la utilización de repuestos no certificados compromete la estabilidad del chute y dificulta el cumplimiento de tolerancias de diseño.



Figura 2-4: Revestimiento chute telescópico

Fuente: Elaboración propia

2.2.5.- Entorno

Las condiciones ambientales representan un factor crítico para el funcionamiento del chute telescópico. La exposición constante al polvo abrasivo acelera el desgaste superficial, mientras que la humedad y salinidad ambiental genera corrosión en componentes estructurales. Además, las vibraciones propias del entorno portuario contribuyen a la desalineación progresiva de la estructura. Estas condiciones demandan estrategias de mantenimiento orientadas a la protección y limpieza frecuente de los sistemas móviles.

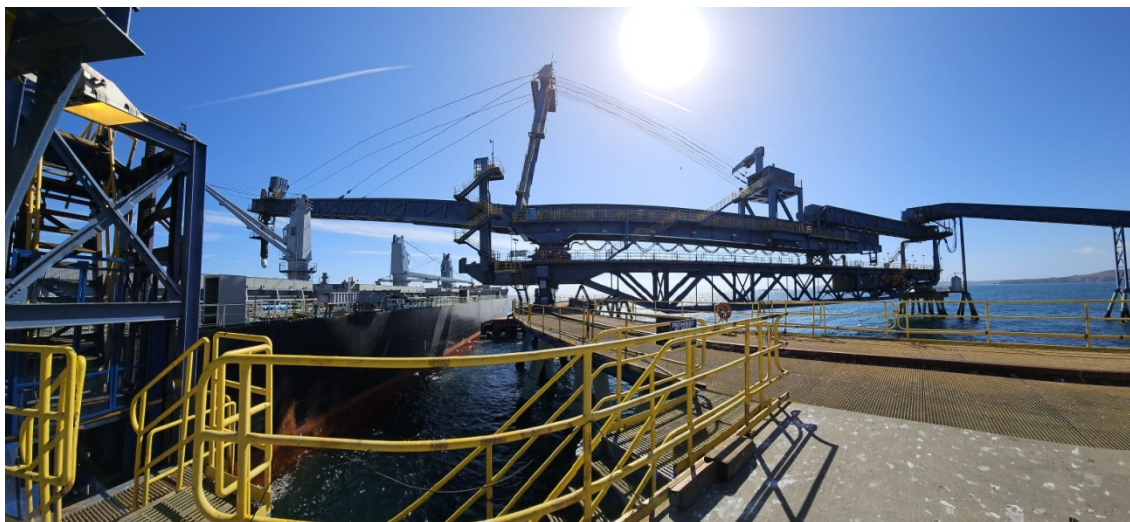


Figura 2-5: Chute telescópico

Fuente: Elaboración propia

2.2.6.- Medición

En relación con la categoría de medición, se determinó que la falta de instrumentos de control y monitoreo dificulta la identificación temprana de desviaciones. La ausencia de dispositivos para medir holguras y desgastes, junto con la carencia de control de vibraciones mecánicas, limita la precisión del diagnóstico técnico. Además, se observó que los checklist de mantenimiento se encuentran incompletos o desactualizados, lo que impide mantener trazabilidad sobre las intervenciones realizadas. La incorporación futura de sensores de proximidad permitirá fortalecer esta dimensión, proporcionando datos en tiempo real sobre la distancia y posición del chute.

2.3.- Hallazgos técnicos y de gestión de mantenimiento

Durante la revisión de antecedentes, el área de mantenimiento recopiló información a través de inspecciones en terreno, revisión de reportes históricos y entrevistas con operadores. El análisis permitió evidenciar los siguientes hallazgos:

- En el ámbito técnico se constató desgaste en las guías telescópicas, acumulación de material particulado en los puntos de desplazamiento y ausencia de un sistema de detección automatizado.

- Desde la gestión de mantenimiento, se detectó que los planes actuales no incluyen inspecciones funcionales orientadas a la verificación de movimiento.
- En el ámbito operacional, se determinó que las maniobras de posicionamiento se ejecutan de forma manual.
- Finalmente, se observó que las condiciones ambientales agravan la dificultad para mantener una operación segura y controlada.

2.4.- Determinación de la causa raíz

El análisis integral permitió concluir que la causa raíz de las colisiones en el chute telescópico se relaciona con una combinación de factores técnicos, operativos y de gestión. La ausencia de inspecciones predictivas, el mantenimiento basado en la corrección de fallas, la falta de control de desgaste y la escasa capacitación técnica contribuyen los elementos fundamentales que originan el problema. La incorporación de sensores de proximidad y la implementación de un programa preventivo permitirá reducir la exposición a fallas.

2.5.- Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad, específicamente los sensores ultrasónicos, constituyen dispositivos de detección sin contacto mecánico capaces de identificar objetos a diferentes distancias, que pueden ir desde pocos centímetros hasta varios metros. Su principio de funcionamiento se basa en la emisión de una señal ultrasónica que, al reflejarse en un objeto, permite determinar su distancia con gran precisión. (<https://techlib.net/techedu/sensor-de-proximidad/>)

2.5.1.- ¿Porque sensores ultrasónicos de proximidad?

En la operación del chute telescópico, estos sensores cumplen una función preventiva fundamental. El sistema proyecta una señal hacia el punto de descarga o hacia la tapa de la bodega de la motonave, transmitiendo en tiempo real la distancia medida hacia la sala de control. A partir de esta información, el operador es advertido sobre la proximidad del equipo a estructuras fijas o móviles.

Como medida adicional de seguridad, el sistema establecerá un margen de un metro entre la pluma y la tapa de la bodega. Si el sensor detecta que la distancia es menor a ese umbral, se activara una alarma para que el operador del Shiploaders desplace la pluma hacia una posición segura en el centro de la bodega. Este mecanismo busca prevenir colisiones derivadas de movimientos del barco ocasionadas por marejadas o variaciones de carga.

La implementación de sensores de proximidad se justifica por su contribución directa a la protección de activos críticos, tanto de la compañía como de la motonave involucrada en el proceso de carga. Su incorporación permite reducir de manera significativa el riesgo de colisión del chute telescópico o la pluma con la tapa del barco, evitando daños estructurales, incidentes ambientales y sanciones asociadas a la AA.MM.

Además de los costos materiales, una colisión podría generar perdida de reputación operacional del muelle, tiempos de detención prolongados y penalizaciones económicas derivadas de cartas de protestas emitidas por el capitán de la nave. Por la tanto, la integración de sensores ultrasónicos de proximidad se considera una medida preventiva prioritaria, alineada con los objetivos de seguridad operacional y continuidad productiva de la instalación.



Figura 2-6: Operación carguío

Fuente: Elaboración propia

2.5.2.- Opciones de sensores ultrasónicos

Sensor Pepperl + Fuchs UMC3000-30H

- Ventajas: Muy robustos, excelentes para entornos corrosivos (marinos) se pueden ajustar parámetros.
- Riesgo o limitación: Precio más alto, volumen de pedido podría retasar entrega.
- *Material: Acero inoxidable 316 LT. (<https://files.pepperl-fuchs.com>)*



Figura 2-7: Sensor Pepperl + Fuchs UMC3000-30H

Fuente: <https://files.pepperl-fuchs.com>

Sensor Banner M25U

- Ventajas: Muy buena resistencia a lavado, diseño sanitario, ideal para ambientes agresivos.

- Riesgo o limitación: Puede requerir cotización especial, despacho desde el extranjero.
- Material: Acero inoxidable 316Banner. (<https://www.bannerengineering.com>)



Figura 2-8: Sensor Banner M25U

Fuente: <https://www.bannerengineering.com>

Sensor IFM UGT200 (M18, 300mm)

- Ventajas: Muy buena relación tamaño/rendimiento, ideal para espacios compactos, robusto frente a suciedad, fácil de configurar y relativamente sencillo de mantener.
- Riesgo o limitación: Su alcance de 300mm. Podría ser una limitante si se necesita medir distancias mayores, la frecuencia de conmutación no es muy alta para aplicaciones dinámicas muy rápidas.
- Material: Cerámica, con grado de protección IP67. (<https://www.ifm.com>)



Figura 2-9: Sensor IFM UGT200 (M18, 300mm)

Fuente: <https://www.ifm.com>

2.5.3.- Instalación de sensores

Desde el enfoque técnico del área de mantenimiento se determina que los sensores de proximidad ultrasónicos serán instalados en la base del chute telescópico,

considerando que este punto corresponde a la zona de mayor riesgo de interferencias y colisiones durante la operación. La incorporación de estos dispositivos en dicho sector permitirá monitorear de manera continua la distancia entre el chute y posibles obstrucciones, generando señales preventivas antes de que ocurra un contacto no deseado.

Esta disposición favorece la detección temprana de desviaciones operacionales, optimiza la intervención planificada del equipo de mantenimiento y reduce la posibilidad de daños estructurales. Además, la instalación en la base facilita el acceso para las labores de calibración, inspección y reemplazo de ser necesario, asegurando la mantenibilidad del sistema sin afectar significativamente la disponibilidad del chute telescópico.

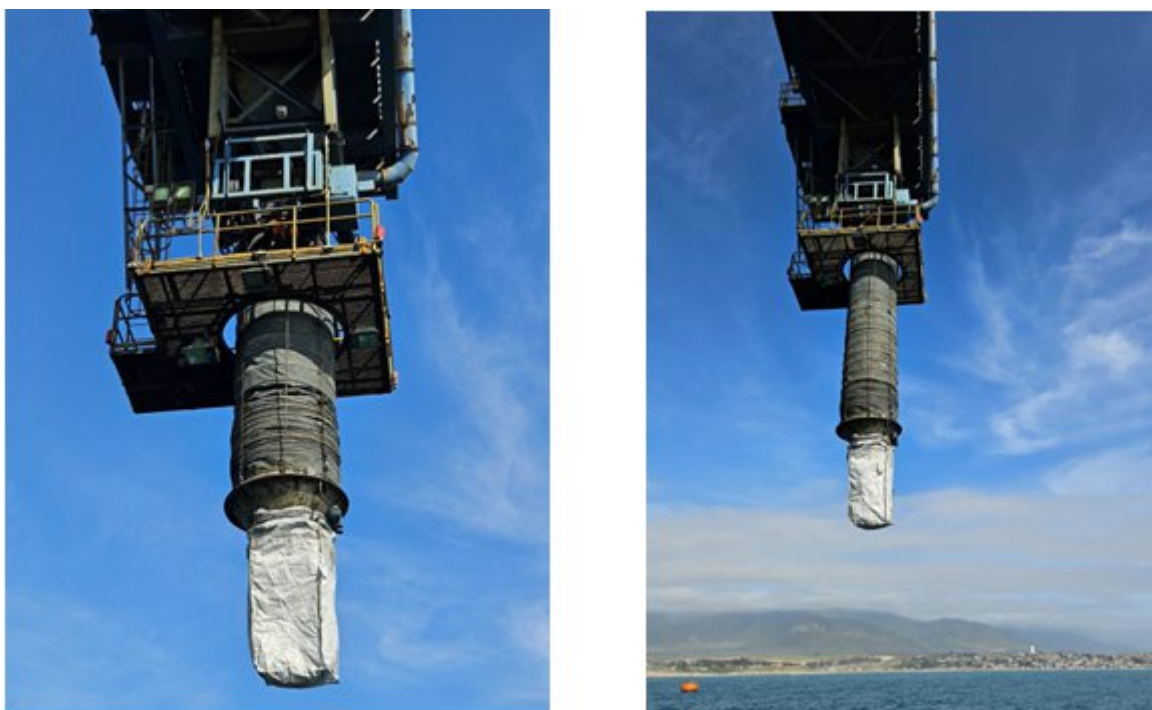


Figura 2-10: Chute telescópico

Fuente: Elaboración propia

2.6.- Plan de mantenimiento preventivo propuesto

El plan de mantenimiento preventivo propuesto desde el área de mantenimiento busca establecer rutinas de control sistemático que mitiguen los factores

identificados en el diagrama de Ishikawa. El enfoque integra la inspección mecánica, la limpieza de componentes, la verificación eléctrica, la capacitación técnica y la instalación progresiva de sensores de proximidad. Este programa se diseña con el objetivo de aumentar la confiabilidad del chute, reducir los eventos de colisión y garantizar la continuidad operacional del sistema.

Actividad:	Frecuencia:	Responsable:	Descripción técnica:
Inspección visual de guías telescópicas y puntos de unión	Semanal	Mantenimiento mecánico	Revisar desgaste, alineación y presencia de material particulado
Limpieza general del sistema del chute telescópico	Semanal	Personal externo	Retirar concentrado de manga y verificar sellos de protección
Revisión y lubricación de puntos críticos	Mensual	Mantenimiento mecánico	Aplicación de lubricantes adecuados a condición de polvo y carga
Verificación eléctrica y control de señales de proximidad	Realizar antes del embarque	Mantenimiento eléctrico	Comprobar integridad de cables, alarmas y sensores
Alineación estructural del chute	Trimestral	Mantenimiento mecánico	Asegurar paralelismo y correcta orientación de guías
Capacitación técnica en uso y verificación de sensores	Semestral	Supervisión de mantenimiento	Entrenar a personal en la identificación de fallas mecánicas y ajuste de componentes
Auditoría de cumplimiento del plan preventivo	Semestral	Jefatura de mantenimiento	Evaluar efectividad del plan y cumplimiento de rutinas

Tabla 2: Plan de mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: Evaluación técnica y económica

3.- Evaluación técnica y económica

3.1.- Evaluación técnica de los sensores propuestos

La evaluación se centra en determinar la idoneidad de distintos sensores ultrasónicos para ser instalados en el chute telescópico de descarga, considerando condiciones operacionales, requerimientos de detección y criterios de mantenimiento. El análisis aborda principalmente tres clases de sensores comúnmente utilizados en equipos de manejo de materiales: IFM UGT200, Pepperl+Fuchs UMC3000 y Banner M25U. El análisis se enfoca en su desempeño, robustez, alcance y resistencia frente a las condiciones operacionales del chute de descarga.

3.1.2.- Descripción general del entorno de aplicación

El chute telescópico opera en un ambiente con alta generación de polvo, vibración y posibles impactos derivados del flujo de material. Además, existen condiciones de humedad y limpieza periódica que exigen dispositivos con altos grados de protección y buena estabilidad frente a contaminación superficial. Por ello, la selección de sensores debe priorizar robustez mecánica, alcance suficiente y resistencia a la suciedad.

3.2.- Análisis técnico de los sensores evaluados

3.2.1 Sensor IFM UGT200 (M18)

Este dispositivo ultrasónico, en formato cilíndrico M18, ofrece un rango de medición acotado, adecuado para detecciones a corta distancia dentro de la base del chute. Su tamaño compacto facilita la instalación en zonas de difícil acceso. El sensor posee funciones de ajuste rápido y mantiene la lectura aún bajo niveles moderados de polvo. Sin embargo, su capacidad de resistencia mecánica e índice de protección resulta menor en comparación con modelos diseñados para entornos

extremadamente abrasivos o con procedimientos de lavado intensivo. Por esta razón, su utilización es recomendable únicamente en puntos donde el desgaste físico no sea significativo. (<https://www.ifm.com>)

3.2.2 Sensor Pepperl+Fuchs UMC3000

El modelo UMC3000 se caracteriza por su construcción robusta, generalmente fabricada en acero inoxidable y con una cara de medición metálica que tolera impactos y acumulación de material. Su nivel de protección IP68/69K lo hace especialmente adecuado para sectores donde se presentan humedad, lavado a presión o abrasión continua. Además, su rango operativo superior y la posibilidad de parametrización avanzada permiten configurarlo para detectar posiciones del chute o presencia de material a mayor distancia. Por estas razones, este sensor resulta altamente adecuado para zonas críticas del sistema donde se requiere confiabilidad prolongada. (<https://files.pepperl-fuchs.com>)

3.2.3 Sensor Banner M25U

El sensor de la serie M25U destaca por su carcasa en acero inoxidable 316 y su capacidad para mantener funcionamiento estable en entornos de lavado o con alta humedad. Su diseño prioriza durabilidad y velocidad de respuesta, lo que lo hace útil en aplicaciones donde la posición del chute varía rápidamente. Aunque su desempeño frente a abrasión es favorable, el fabricante especifica que no debe utilizarse como dispositivo de protección para personas, por lo que su rol debe limitarse estrictamente a funciones operacionales o de monitoreo del equipo. (<https://www.bannerengineering.com>)

3.3.-Criterios de selección aplicados al chute de descarga

Durante el análisis se consideraron los siguientes criterios técnicos:

- **Rango de detección requerida:** el chute necesita medición confiable tanto en distancias cortas como medias, dependiendo del punto de montaje.
- **Robustez mecánica:** la presencia de abrasión y material en caída exige sensores con cara metálica y carcasa reforzada.
- **Resistencia al polvo y humedad:** sensores con protección IP68/69K presentan mejor desempeño en ambientes con limpieza por agua o alta concentración de partículas.
- **Facilidad de integración al PLC:** la disponibilidad de salidas PNP/NPN o analógicas facilita la interoperabilidad con sistemas existentes.
- **Mantenibilidad:** se priorizaron dispositivos con superficies lisas y configuración simple para reducir tiempos de ajuste y limpiezas.

3.4.- Conclusiones de la evaluación

Tras comparar los modelos analizados, se determina lo siguiente:

- IFM UGT200: Es adecuado para posiciones internas o laterales donde la distancia de medición sea reducida y la exposición al desgaste no sea extrema.
- Pepperl+Fuchs UMC3000: Ofrece el mejor equilibrio entre alcance, robustez y resistencia ambiental, siendo el más apropiado para zonas críticas del chute donde exista abrasión, polvo o humedad intensa.
- Banner M25U: Representa una alternativa robusta, especialmente útil en áreas sometidas a lavado o variaciones rápidas de posición, aunque su uso debe limitarse a funciones no relacionadas con seguridad personal.

Tabla comparativa de sensores ultrasónicos para chute de descarga

Criterio técnico	IFM UGT200 (M18)	Pepperl+Fuchs UMC3000	Banner M25U (serie)
Tipo de carcasa	Cilíndrica M18, cuerpo metálico estándar	Cuerpo robusto en acero inoxidable, cara metálica	Acero inoxidable 316, diseño reforzado
Rango de detección típico	Corto alcance	Rango medio a largo (según modelo, desde cientos de mm hasta varios metros)	Rango medio, apto para mediciones dinámicas
Grado de protección	IP67 (según versión)	IP68/69K	IP69K
Resistencia a abrasión	Media	Alta (cara metálica pensada para entornos agresivos)	Alta (acero 316 con superficie resistente)
Comportamiento frente a polvo	Adecuado para polvo moderado	Excelente resistencia, mantiene lectura aun con ensuciamiento	Muy buena tolerancia al polvo y la humedad
Respuesta dinámica	Estándar	Configurable, buena estabilidad	Alta velocidad (según versión)
Facilidad de instalación	Muy simple por formato M18	Requiere montajes más robustos por su tamaño	Montaje medio (requiere montaje firme)
Aplicación recomendada	Mediciones cortas en zonas cerradas o protegidas	Áreas críticas del chute expuestas a desgaste, impacto o lavado	Sectores sometidos a lavados o con movimientos rápidos
Limitaciones	Menor resistencia mecánica e IP	Costo mayor y tamaño superior	No apto para funciones de seguridad personal
Adecuación general al chute telescópico	Media (uso puntual en zonas específicas)	Muy Alta (ideal para puntos críticos)	Alta (adecuado para zonas húmedas o dinámicas)

Tabla 3: Conclusiones de la evaluación

Fuente: Elaboración propia

En función del comportamiento esperado del chute telescópico y de las condiciones presentes en su área de operación, la selección más recomendable para garantizar continuidad operativa y minimizar fallas por ensuciamiento o impacto en la instalación de sensores con cuerpo metálico y grado de protección elevado, como los modelos UMC3000 o M25U.

3.5.- Evaluación económica de los sensores ultrasónicos.

La evaluación económica considera los costos asociados a la adquisición, instalación y mantenimiento de tres alternativas de sensores ultrasónicos: IFM UGT200 (M18), Pepperl+Fuchs UMC3000 y Banner M25U. El análisis busca determinar la opción más costo-efectiva en función del nivel de robustez requerido por el chute telescópico, evaluando no solo el costo inicial, sino también el costo total de la operación.

3.5.1.- Costos de adquisición estimados

Modelo	Costo unitario estimado	Comentario técnico/económico
UFM UGT200 (M18)	Bajo/medio	Alternativa económica orientada a detección básica donde el desgaste es limitado.
Pepperl+Fuchs UMC3000	Medio/alto	Mayor resistencia mecánica y vida útil; costo superior pero reduce reemplazos.
Banner M25U	Medio/alto	Construcción de acero 316 y alta protección IP; precio similar o ligeramente inferior a UMC3000 según versión.

Tabla 4: Costos de adquisición estimados

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.- de instalación

Costos

Tabla 5: Costos de instalación

Fuente: Elaboración propia

Modelo	Costo de instalación	Justificación
UFM UGT200 (M18)	Bajo	Formato M18 facilita montaje rápido y sin modificaciones estructurales
Pepperl+Fuchs UMC3000	Medio	Requiere soportes reforzados por su peso y tamaño
Banner M25U	Medio	Similar al UMC3000; necesita fijación firme para evitar vibraciones

Los costos de instalación se analizaron en función del tiempo requerido, tipo de soporte mecánico y necesidad de ajuste de calibración.

3.5.3.- Costo de mantenimiento anual estimados

Los costos se basan en la frecuencia de limpieza, probabilidad de fallo y disponibilidad de repuestos.

Modelo	Costo de mantenimiento anual	Comentarios
UFM UGT200 (M18)	Medio/alto	Requiere limpieza más frecuente y tiene mayor probabilidad de reemplazo por desgaste
Pepperl+Fuchs UMC3000	Bajo	Su robustez reduce intervención y prolonga vida útil
Banner M25U	Bajo/medio	Excelente resistencia a humedad y polvo; requerimientos de mantención moderados

Tabla 6: Costos de mantenimiento anual estimados

Fuente: Elaboración propia

3.5.4.- Vida útil proyectada

Modelo	Vida útil esperada	Condición operacional asumida
UFM UGT200 (M18)	2-3 años	Ambiente con polvo moderado y baja abrasión.
Pepperl+Fuchs UMC3000	5-7 años	Ambientes agresivos con polvo, humedad y vibración.
Banner M25U	4-6 años	Ambientes húmedos y con ciclos dinámicos y frecuentes.

Tabla 7: Vida útil proyectada

Fuente: Elaboración propia

3.5.5.- operación (TCO) estimado a 5 años

Costo total de

Modelo	TOC estimado	Conclusión económica
UFM UGT200 (M18)	Medio/alto	Aunque es el más barato al inicio, su reposición frecuente eleva el costo acumulado
Pepperl+Fuchs UMC3000	Bajo/medio	La inversión inicial es mayor, pero su durabilidad reduce significativamente el TCO
Banner M25U	Medio	Gran desempeño y mantenimiento bajo, costo de adquisición medio

Tabla 8: Costo total de operación, estimada a 5 años

Fuente: Elaboración propia

3.6.- Evaluación económica del proyecto

La presente evaluación económica tiene como objetivo analizar la conveniencia financiera de implementar sensores ultrasónicos Pepperl+Fuchs UMC3000 en el chute telescópico utilizado en operaciones de carguío. El análisis considera los costos de inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, así como los beneficios económicos derivados de la disminución de colisiones, reducción de horas de paro y menores costos de reparación. La evaluación se desarrolla bajo un enfoque conservador y con supuestos técnicamente justificables, permitiendo determinar la rentabilidad del proyecto mediante indicadores económicos clásicos.

3.6.1.- Inversión inicial

La inversión inicial corresponde a la adquisición e instalación de cuatro sensores ultrasónicos Pepperl+Fuchs UMC3000, incluyendo costos de importación y tributos asociados:

- Equipos: 4xPepperl+Fuchs UMC3000: CLP 3.590.972
- Costo de instalación: CLP 200.000 por sensor (mano de obra+ materiales de montaje) = CLP 800.000 en total
- Flete/despacho estimado total: CLP 150.000
- IVA: 19% (aquí se incluyen sensores+ instalación+ flete): CLP 862.785

Inversión inicial total: CLP 5.403.758

3.6.2.- Costos de operación y mantenimiento

Los sensores ultrasónicos presentan bajos costos operacionales, dado que no requieren consumos energéticos significativos ni insumos periódicos. Para efectos del análisis, se considera un costo anual de mantenimiento equivalente al 3% del valor del activo instalado, asociado principalmente a inspecciones, limpieza, calibración y eventuales ajustes.

Costo anual de operación y mantenimiento: CLP 131.729 por año.

3.6.3.- Beneficios económicos del proyecto

Los beneficios económicos se derivan principalmente de la reducción de colisiones del chute telescópico durante la operación de carguío, lo que impacta directamente en la disminución de horas de paro no programadas y en menores costos de reparación.

3.6.3.1.- Reducción de pérdidas por horas de paro

De acuerdo con la información operacional disponible, el equipo presenta aproximadamente 20 horas de paro anual producto de colisiones. El costo estimado por cada hora de carguío perdida asciende a CLP 10.021.880

Costo anual por horas de paro: 20 hrs. X CLP 10.021.880/hora= CLP 200.437.600 por año

Concepto	Valor	Unidad
Horas de paro por colisión	20	Horas/año

Costo por hora de carguío perdida	CLP10.021.880	CLP/Hora
Costo anual por hora de paro	CLP 200.437.600	CLP/Año

Tabla 9: Reducción de pérdidas por horas de paro

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.2.- Reducción de costos de reparación

Se estima una frecuencia promedio de cuatro eventos de colisión por año, con un costo de reparación aproximado de CLP 3.500.000 por evento, considerando mano de obra, insumos y ajustes mecánicos.

Costo anual de reparaciones evitadas: 4 eventos/año x CLP 3.500.000 /evento = 14.000.000 por año.

3.6.3.3.- Beneficio económico anual total

- Beneficio anual por reducción de paros: CLP 200.437.600
- Beneficio anual por reducción de reparaciones: CLP 14.000.000

Beneficio económico anual total: CLP 214.437.600

Al descontar el costo anual de operación y mantenimiento, se obtiene el beneficio neto anual del proyecto.

- Beneficio neto anual: CLP 214.305.871 por año.

3.6.4.- Flujo de caja del proyecto

El flujo de caja se evaluó para un horizonte de cinco años, considerando una tasa de descuento del 10% anual

Adquisición sensor Pepperl+Fuchs UMC3000	897.743	4	3.590.972						
Instalación y Montaje (MO, Mat)	200.000	4	800.000						
Fletes y Despacho	37.500	4	150.000						
Flujo de Inversión (CAPEX)			-4.540.972						4.540.972
Costo Anual Mtto	-136.229	3%		-136.229	-136.229	-136.229	-136.229	-136.229	-681.146
Ahorro Inactividad Equipo /H	10.021.880	20		200.437.600	200.437.600	200.437.600	200.437.600	200.437.600	1.002.188.000
Ahorro Costo Reparación	3.500.000	4		14.000.000	14.000.000	14.000.000	14.000.000	14.000.000	70.000.000
Ahorro Periodo			-4.540.972	214.301.371	214.301.371	214.301.371	214.301.371	214.301.371	1.071.506.854
Ganancia Neta Proyección									1.066.965.882
ROI									23596%
TIR									4719%
VAN	10%	Año							809.807.541

3.6.5.- Indicadores económicos

A partir del flujo de caja proyectado, se obtuvieron los siguientes indicadores económicos:

- Valor actual neto (VAN): CLP 809.807.541 (aproximadamente)
- Tasa interna de retorno (TIR): superior al 4719% anual
- Periodo de recuperación de la inversión: inferior a un mes de operación, equivalente a aproximadamente una semana de carguío continuo.

Estos resultados evidencian una alta rentabilidad del proyecto, incluso bajo un escenario conservador de pérdidas operacionales.

Conclusión

La presente investigación permitió desarrollar una propuesta de mejora preventiva para el chute telescópico mediante la implementación de sensores de proximidad, con el propósito de implementar la seguridad operacional del equipo y reducir la probabilidad de colisiones durante el proceso de carga.

La propuesta surgió a partir del análisis de las condiciones operacionales existentes y de la necesidad de fortalecer las medidas de prevención, contribuyendo tanto a la protección de los equipos como a la continuidad de las operaciones.

En relación con el primer objetivo específico, se realizó un diagnóstico inicial del proceso mediante la aplicación del análisis de Ishikawa, herramienta que permitió identificar y clasificar las principales causas que originan las colisiones del chute telescópico. Éste análisis evidenció que las fallas no obedecen únicamente a factores mecánicos, sino también a aspectos relacionados con la instrumentación, los procedimientos de trabajo, el mantenimiento y las condiciones operacionales, proporcionando una base técnica para definir las mejoras propuestas.

Respecto al segundo objetivo específico, se elaboró un plan de mantenimiento preventivo sustentado en un análisis de causa raíz, el cual permitió establecer acciones orientadas a asegurar la confiabilidad y operatividad continua del sistema de sensores de proximidad. La incorporación de actividades de inspección, verificación, limpieza, calibración y seguimiento periódico contribuye a disminuir la probabilidad de fallas inesperadas, fortaleciendo la disponibilidad del sistema y mejorando el desempeño del chute telescópico en el largo plazo.

Finalmente, el tercer objetivo específico se cumplió mediante la evaluación de la factibilidad técnica y económica de la propuesta. Los resultados obtenidos demostraron que la implementación de sensores de proximidad constituye una alternativa viable, ya que la inversión requerida se justifica por los beneficios asociados a la reducción de colisiones, la disminución de tiempos de inactividad, la optimización de las actividades de mantenimiento y el incremento de la seguridad operacional. Además, el análisis financiero evidenció indicadores favorables que respaldan la factibilidad de la iniciativa y su potencial para generar beneficios tanto operacionales como económicos.

En términos generales, se concluye que la implementación de un sistema preventivo basado en sensores de proximidad constituye una solución técnicamente viable y estratégicamente conveniente para Minera Los Pelambres, al fortalecer la seguridad operacional del chute telescópico y disminuir la probabilidad de colisiones durante el proceso de carga. La propuesta integra criterios de confiabilidad, mantenimiento preventivo y gestión del riesgo, favoreciendo la continuidad operacional y la protección de las personas, los equipos y los activos de la organización. Asimismo, la evaluación técnica y económica demuestra que la inversión requerida es consistente con los beneficios esperados, tanto en la reducción de tiempos de inactividad como en la disminución de costos asociados a fallas e incidentes.

En consecuencia, esta investigación entrega una base técnica sólida para la toma de decisiones y constituye un referente para la implementación de soluciones similares en otros equipos e instalaciones de la industria minera.

Bibliografía

- Antofagasta Minerals (s. f.) <https://www.aminerals.cl/>
- Minera Los Pelambres (s. f.) <https://web.pelambres.cl/>
- Minera Los Pelambres (s. f.) MLP home web - seguridad y salud ocupacional https://sso.pelambres.cl/MLP_HomeWeb/
- Minera Los Pelambres. (s. f.). *WRAC (Workplace Risk Assessment and Control): Plataforma de evaluación y control de riesgos*. De <https://sso.pelambres.cl/WRAC/>
- ifm electronic. (s. f.). *ifm Chile: Sensores, sistemas de comunicación y de control*. De <https://www.ifm.com/cl/es>
- Banner Engineering. (s. f.). *Sitio web oficial de Banner Engineering*. De <https://www.bannerengineering.com>
- Pepperl+Fuchs SE. (s. f.). *Repositorio de documentos técnicos de Pepperl+Fuchs*. De <https://files.pepperl-fuchs.com>
- Praxedo (2025) .Como elaborar un plan de mantenimiento preventivo: la guía definitiva <https://www.praxedo.es/blog/10-pasos-para-definir-un-plan-de-mantenimiento-preventivo/>

