

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

**DISEÑAR DISPOSITIVO DE IZAJE PARA MONTAJE Y DESMONTAJE DE
DUCTO 35R EN MINERA LOS PELAMBRES**

Trabajo de Titulación para optar al
Título Profesional de Ingeniero en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, CON
LICENCIATURA EN INGENIERÍA

Alumno:

Moisés Daniel Valverde Arredondo

Profesor Guía:

Mg. Ing. Marcelo Rojas Vidal

RESUMEN

KEYWORDS: IZAJE, SEGURIDAD, CARGAS, MANTENIMIENTO, NORMATIVA, SISTEMAS DE CARGA.

En el primer capítulo se dará a conocer los antecedentes generales, que, serán necesarios para el estudio y elaboración del diseño de un dispositivo de izaje, es decir, una estructura que nos ayudará para el montaje y desmontaje, bajo molino denominado, “ducto 35R”, en Minera Los Pelambres, comenzando por los objetivos del proyecto: objetivo general y objetivos específicos, luego se analizarán las normativas asociadas a estructura de izaje, seguido de las especificaciones técnicas a considerar, como los componentes asociados a diseñar, antecedentes del área de trabajo, analizando la criticidad del ducto en la producción, los cuales implicarán en la elección de la solución al proyecto.

En el segundo capítulo se definirá y analizará la ingeniería del proyecto, comenzando por todas las indicaciones técnicas seleccionadas en el capítulo anterior, para definir y establecer los requisitos básicos en el desarrollo del diseño. De esta solución, se iniciará la etapa de ingeniería inversa, incluyendo programas y aplicaciones que favorecerán el desarrollo del dispositivo, considerando su respectivo análisis funcional y elementos finitos, mostrando sus cargas asociadas y componentes para lograr el objetivo deseado. Además, la ingeniería de detalle que conlleva el proyecto, desde su modelación tridimensional realizada en software de ingeniería, se ratificará con memoria de cálculo aplicada dentro del proceso.

En el tercer capítulo se determinará la evaluación económica y financiera, donde se explicarán los costos del proyecto, asegurando que el proyecto no sólo sea técnicamente viable, sino también económicamente rentable. Los costos en base a la manufactura y trabajo en terreno incluirán la fabricación, montaje y mantenimiento asociados a la operación, realizando la respectiva cubicación de materiales y HH de trabajadores que participarán en dicha tarea.

En síntesis, el proyecto presentará la factibilidad de ser implementado en el área, ya que es un componente que puede ayudar en las cargas de distinto tipo aumentando su peso y transporte de diferentes tamaños en espacios amplios como también reducidos, en comparación con diferentes maquinarias similares a la de este proyecto. Además, se definirá que es un producto innovador y viable por su forma, debido a que sus costos son más convenientes para el diseño y realización del proyecto.

ÍNDICE

RESUMEN	
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES Y DOCUMENTACIÓN	2
1. ANTECEDENTES GENERALES	3
1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.2. MINERA LOS PELAMBRES	4
1.3. PROBLEMÁTICA	4
1.4. ASPECTOS LEGALES Y NORMATIVA	5
1.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	6
1.5.1. Funcionamiento dispositivo de izaje	6
1.5.2. Desarrollo constructivo	6
1.5.3. Requisito del cliente	7
1.5.4. Diseño preliminar	7
1.5.5. Cálculo de Ingeniería	8
1.5.6. Instrucciones de seguridad	8
1.5.7. Tipos de dispositivos de izaje	9
1.5.7.1. Grúa de torre	9
1.5.7.2. Grúas móviles	10
1.5.7.3. Polipastos	10
1.5.7.4. Elevadores eléctricos	11
1.5.8. Elementos para fabricación	12
1.5.8.1. Estructura	14
1.5.8.2. Acero A-36 características y aplicaciones	14
1.5.8.3. Acero A572 – Gr50 características y aplicaciones	15
CAPÍTULO 2 INGENIERÍA DE DETALLE Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO	17
2. INGENIERÍA DEL PROYECTO	18
2.1. INGENIERÍA INVERSA DEL PROYECTO	18
2.1.1. Recopilación de información	19
2.1.2. Idea preliminar del dispositivo de izaje	20
2.2. INGENIERÍA DE DETALLE DEL PROYECTO	21
2.2.1. Modelación dispositivo de izaje	21
2.2.2. Subconjunto estructural	22
2.2.3. Subconjunto eléctrico	24

2.3. MEMORIA DE CÁLCULO	25
2.3.1. Materiales	25
2.3.2. Desarrollo	26
2.3.3. Cargas y sujeciones	27
2.3.4. Tensión de Von Mises	29
2.3.5. Desplazamiento y dirección	29
2.3.6. Factor de seguridad	30
2.3.6.1 Normativa para elementos de izaje: ASME BTH-1	31
2.4. NORMATIVA DE SEGURIDAD A UTILIZAR	32
2.5. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	32
2.6. CONCLUSIONES MEMORIA DE CÁLCULO	32
2.6.1. Tensión máxima	32
2.6.2. Desplazamiento (deformación)	33
2.7. EJECUCIÓN DEL PROYECTO	33
2.7.1. Planimetría dispositivo de izaje	34
2.7.2. Ejecución de preparación	36
2.7.3. Ejecución final montaje y desmontaje ducto 35R	39
CAPÍTULO 3 EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DEL PROYECTO	41
3. EVALUACIÓN FINANCIERA Y ECONÓMICA	42
3.1. ESTUDIO DE COSTO	42
3.2. ESTUDIO DE COSTO SIN DISPOSITIVO DE IZAJE	43
3.2.1. Personal designado para ejecución sin dispositivo de izaje	43
3.2.2. Cuerpo de andamio	44
3.2.2.1. Tiempo de montaje de andamio	46
3.2.2.2. Conclusión tiempo de montaje de andamio	47
3.2.3. Insumos de seguridad y ropa de trabajo	48
3.2.4. Funcionamiento ducto 35R	49
3.2.4.1. Transporte de pulpa mineral en ducto 35R	49
3.2.5. Cálculo transporte de material ducto 35R	50
3.2.6. Aplicabilidad cálculo transporte de material ducto 35R	50
3.3. ESTUDIO DE COSTO CON DISPOSITIVO DE IZAJE	56
3.3.1. Personal designado para ejecución con dispositivo de izaje	57
3.3.2. Insumos de materia prima	59
3.3.3. Fabricación dispositivo de izaje	59
3.3.3.1. Cotización fabricación dispositivo de izaje	60
3.3.4. Cálculo tiempo operativo con dispositivo de izaje	61
3.3.5. Resumen de costos con dispositivo de izaje	62

3.3.6. Conclusiones de costos con dispositivo de izaje	62
3.4. CÁLCULO DEL VAN DISPOSITIVO DE IZAJE	63
3.4.1. Desarrollo y análisis del VAN	63
3.4.1.1. Conclusión VAN del dispositivo de izaje	65
CONCLUSIÓN	66
BIBLIOGRAFÍA	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Celdas de flotación con concentrado de cobre y molibdeno	4
Figura 1-2. Área ducto 35R bajo molino SAG 03	8
Figura 1-3. Grúa de torre	9
Figura 1-4. Grúas móviles	10
Figura 1-5. Polipastos eléctricos	10
Figura 1-6. Polipastos neumáticos	11
Figura 1-7. Elevador eléctrico	11
Figura 1-8. Cabrestantes eléctricos	12
Figura 1-9. Vigas HEA	12
Figura 1-10. Orejas W-ABA 10 [Ton]	13
Figura 1-11. Grilletes lira alta	13
Figura 1-12. Tecle eléctrico 5 [Ton]	14
Figura 2-1. Levantamiento 3D a distancia con escáner laser Trimble X7	19
Figura 2-2. Representación gráfica de la nube de puntos en Geomagic Design	19
Figura 2-3. Área proyectada para realizar montaje	20
Figura 2-4. Puente grúa Siemens sobre Molino SAG 3	20
Figura 2-5. Modelado 3D conjunto dispositivo de izaje	21
Figura 2-6. Modelado 3D ducto 35R	21
Figura 2-7. Modelado 3D Dispositivo de izaje	22
Figura 2-8. Modelado 3D de la estructura base	22
Figura 2-9. Oreja RUD 10 [Ton]	23
Figura 2-10. Modelado 3D revestimiento exterior	23
Figura 2-11. Modelado 3D dispositivo de izaje	23
Figura 2-12. Especificación técnica motor trifásico 5 [Ton] 380/460V	24
Figura 2-13. Especificación técnica botonera de telecontrol 100/380V	24
Figura 2-14. Sistema de equilibrio	26
Figura 2-15. Distancia punto de izaje - contrapeso	27
Figura 2-16. Ubicación de cargas en dispositivo de izaje	27
Figura 2-17. Ubicación de cargas en dispositivo de izaje	28
Figura 2-18. Ubicación de cargas en dispositivo de izaje	28
Figura 2-19. Sujeción de oreja RUD 10 [Ton]	28
Figura 2-20. Maqueta 3D conjunto completo en terreno	33
Figura 2-21. Plano de conjunto dispositivo de izaje	35
Figura 2-22. Repuesto ducto 35R y revisión del área	36
Figura 2-23. Pruebas de montaje dispositivo de izaje y ducto de repuesto 35R	38
Figura 2-24. Instalación de pernería entre dispositivo de izaje y ducto 35R	38

Figura 2-25. Prueba de resistencia y centro de masa del dispositivo de izaje exitoso	38
Figura 2-26. Desmontaje ducto 35R	39
Figura 2-27. Montaje ducto de repuesto 35R	40
Figura 2-28. Culminación montaje ducto de repuesto 35R	40
Figura 3-1. Andamio Certificado Fachada M6	45
Figura 3-2. Imagen del área, distancia piso a ducto 35R	45
Figura 3-3. Cotización dispositivo de izaje para fabricación.	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Características y especificaciones mecánicas del acero A-36	15
Tabla 1-2. Características y especificaciones mecánicas del acero A-572	16
Tabla 2-1. Características y propiedades Dispositivo de izaje	25
Tabla 2-2. Características y propiedades en pasadores	26
Tabla 2-3. Tensión máxima en vigas y planchas de acero	29
Tabla 2-4. Tensión máxima en pasadores	29
Tabla 2-5. Desplazamiento dispositivo de izaje	30
Tabla 2-6. Factor de seguridad Vigas, planchas y pasadores	31
Tabla 2-7. Tensión máxima, vigas, planchas y pasadores	32
Tabla 3-1. Sueldo y cantidad de trabajadores (sin dispositivo)	44
Tabla 3-2. Insumos de seguridad y ropa de trabajo	48
Tabla 3-3. Resumen de costos sin dispositivo de izaje	56
Tabla 3-4. Sueldo y cantidad de trabajadores (con dispositivo de izaje)	57
Tabla 3-5. Insumos de seguridad y ropa de trabajo.	58
Tabla 3-6. Valor insumos materia prima.	59
Tabla 3-7. Resumen de costos con dispositivo de izaje	62
Tabla 3-8. Desarrollo y análisis del VAN	64

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

ASTM	: American Standard for Testing and Materials
ISO	: International Organization for Standardization
SGC	: Sistema de gestión de Calidad
NCh	: Norma Chilena
SAE	: Society of Automotive Engineers
MLP	: Minera Los Pelambres
OSHA	: Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
SAG	: Semi-autogenous Grinding
FEM	: Método de Elementos Finitos
SII	: Servicio impuestos internos
VAN	: Valor Actual Neto
TIR	: Tasa Impuesto de Retorno
BTH	: Base Design Standard for Below-the-Hook Lifting Devices

B. SIMBOLOGÍA

%	: Porcentaje
Ø	: Diámetro
m	: Metros
cm	: Centímetros
mm	: Milímetros
t	: Toneladas
Kg	: Kilogramos
F	: Fuerza
P	: Presión
A	: Área
SF	: Factor de seguridad en izaje
K	: Carga de pandeo
I	: Momento de inercia
\$	: Peso chileno
UF	: Unidad de fomento
HH	: Horas Hombre

INTRODUCCIÓN

Minera los Pelambres ubicada en la comuna de Salamanca, en la provincia del Choapa, región de Coquimbo, es una de las principales mineras de Chile, propiedad de Antofagasta Minerals. Desde su fundación en 1998, se ha enfocado en la extracción y tratamiento del cobre, que es uno de los recursos exportados más importantes de Chile. Ha sido reconocida como una de las cinco minas de cobre más importantes del mundo a lo largo de los años. Se destaca por su volumen de producción y su enfoque en la sustentabilidad y la responsabilidad social empresarial.

El dispositivo de izaje, es un equipo fundamental en la utilización y elevación de cargas pesadas en la minería. Dentro de sus funciones principales, está en facilitar el alzamiento, movimiento y posición de componentes, asegurando que se realice de manera segura y eficiente. La selección del dispositivo de izaje adecuado, depende de varios factores; tales como el peso de carga, la altura a la que se debe operar, el mantenimiento y la inspección regular según normativa, son cruciales para su funcionamiento correcto. Además, el tipo de dispositivo de izaje cambia dependiendo de las necesidades particulares de cada operación minera. Por ejemplo, en áreas de espacio confinado, como túneles o galerías, los polipastos eléctricos de tamaño reducido pueden resultar más apropiados, mientras que en zonas abiertas como la ubicación del SAG 03 se pueden emplear grúas de mayor tamaño. Por último, otro factor crucial es la habilidad de maniobra y la exactitud en la ubicación de las cargas, lo cual impacta directamente en la eficacia operacional y en la disminución de tiempos ineficientes.

Para establecer los objetivos del proyecto, es fundamental seleccionar las especificaciones técnicas y los materiales apropiados para el dispositivo de izaje y así, garantizar su seguridad, eficacia y durabilidad. Es esencial la creación de un sistema de izaje seguro y eficaz para el mantenimiento del ducto 35R en Minera Los Pelambres, garantizando operaciones seguras y eficaces a través de la elección correcta de componentes y procedimientos claros. Por último, desarrollando el análisis técnico-económico del dispositivo de izaje, para el mantenimiento del ducto 35R, buscará que la inversión sea factible tanto en términos técnicos como económicos.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES GENERALES Y DOCUMENTACIÓN

1. ANTECEDENTES GENERALES

En el primer capítulo, se hacen referencias del proyecto, iniciando con los objetivos y las exigencias para solucionar la problemática. Luego, se explicará la criticidad del dispositivo, el funcionamiento del proceso en la gran minería y cómo diseñar en base al mantenimiento correctivo en la línea de proceso.

1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO

Diseñar un dispositivo de izaje, para el retiro del ducto designado como “Ducto 35R”, ubicado en el área molienda de Minera Los Pelambres, empleando software de ingeniería para el desarrollo del proyecto.

1.1.1. Objetivo general

Diseñar un dispositivo de izaje para montaje y desmontaje de “ducto 35R”, en Minera Los Pelambres, el cual se instalará en el área de molienda bajo SAG 03, donde se realizarán pruebas de carga con el ducto 35R para verificar su funcionamiento y así, optimizará los tiempos de operación, aumentará la seguridad y mejorará la precisión en las tareas realizada.

1.1.2. Objetivos específicos

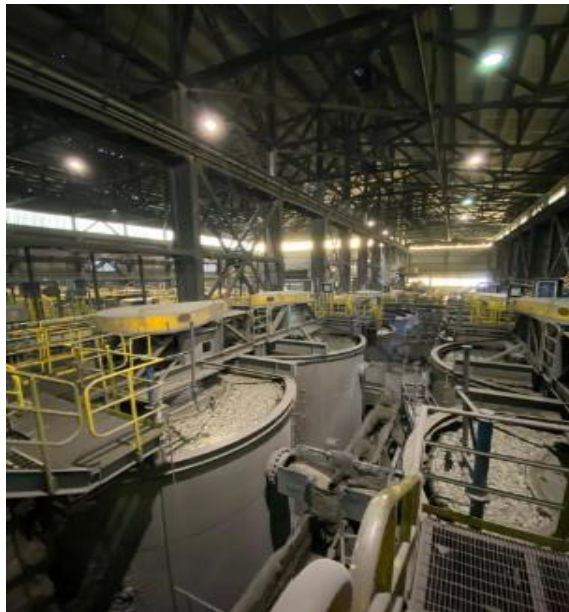
Para lograr los objetivos específicos se abordará una serie de etapas las cuales consisten en:

- Determinar las especificaciones técnicas y la selección de materiales adecuados para el dispositivo de izaje.
- Diseñar un sistema de izaje seguro y eficiente, para mantención ducto 35R en Minera los pelambres.
- Evaluación técnica económica, del dispositivo de izaje para la mantención del ducto 35R en Minera Los Pelambres.

1.2. MINERA LOS PELAMBRES

Minera Los Pelambres es una mina de extracción de concentrado de cobre (que contiene oro y plata) y concentrado de molibdeno, ubicada en el valle del Choapa, cuarta región de Chile y a 3.200 metros sobre el nivel del mar. El yacimiento de sulfuro, que produce mineral de concentrado a través de procesos de molienda y flotación, produjo 300.300 [t] de cobre en el año 2023.

La sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos son los pilares de la operación de Minera Los Pelambres. La empresa ha reducido su huella de carbono utilizando fuentes de energía renovable y reutilizando agua de procesos. Ha invertido en proyectos para aumentar la producción y prolongar la vida útil del yacimiento en los últimos años.



Fuente: Propiedad personal

Figura 1-1. Celdas de flotación con concentrado de cobre y molibdeno

1.3. PROBLEMÁTICA

Como se mencionó anteriormente, la problemática principal surge mediante un aviso de falla del ducto de 30 [pulgadas] bajo molino SAG 03 en Minera Los Pelambres, donde el operador del área de molienda al ver la variación en los indicadores de operación da aviso al área de confiabilidad de la compañía y se activa el plan de mantenimiento correctivo por la falla antes descrita. Posterior a la notificación, se realiza la inspección visual y operativa del componente, donde se recopila la información del estado actual del ducto, incluyendo componentes claves tales como flanges, pernería y, luego, se revisa el historial de reparaciones y mantenimientos previos. De lo anterior, el ducto antes mencionado fue montado en el año 1998 y, hasta la fecha de falla en el presente año, no se efectuaron reparaciones ni planes de mantenimiento para el ducto 35R.

1.4. ASPECTOS LEGALES Y NORMATIVA

A continuación, se dan a conocer los principios más importantes en cuanto a normativa y marco legal en que se verá involucrado el proyecto. La norma chilena establece la siguiente nomenclatura “NCh 1258/of.1999”, la cual menciona los requisitos generales para el sistema de protección de trabajos en altura, que se utilicen o que deban ser utilizadas en los dispositivos de izaje, para proteger personas de los peligros con respecto al trabajo de izaje propiamente tal y riesgos asociados.

Además, se utilizará la siguiente norma ASME para el desarrollo de la maquinaria a desarrollar:

- ASME B.30.20

La siguiente norma está asociada al diseño a desarrollar en cuanto a distanciamiento y desplazamiento de estructura en altura, para evitar accidentes a los operarios y equipo de mantenimiento que participará en el manejo del dispositivo. Además, al trabajar con componentes en altura en los procesos industriales se hará uso de la norma **ASME B30.20**, que contiene disposiciones aplicadas a la instalación, operación, inspección, pruebas, mantenimiento, uso de grúas y otros equipos relacionados con el izaje en manejo de carga. Por otro lado, indica la distancia de seguridad para la protección de maquinaria en el área, esto a su vez para que el operador tenga en consideración que está trabajando con mecanismos de izaje con peligro inminente de sufrir incidentes y/o accidentes.

Por lo tanto, los accidentes más comunes a considerar según la norma ASME B30.20 desarrolladas en el tema “dispositivos de izaje bajo gancho” se detallarán a continuación:

- Golpes y atrapamiento
- Rotura de eslingas.
- Daño de ganchos y accesorios comerciales.
- Desprendimiento de carga.
- Atrapamiento o arrastre.
- Sobrecarga del equipo.
- Desgaste de elementos críticos de izaje.
- Desplazamiento inesperado de la carga.

1.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En esta sección del proyecto, se investigarán las especificaciones técnicas, tales como el funcionamiento y las partes principales del dispositivo de izaje preferente al área del sector minero a desarrollar, tipos y distintos mecanismos que se emplean. Estos antecedentes serán los necesarios para tener un mejor desarrollo del diseño y posterior manufactura. Asimismo, se analizarán los materiales utilizados para fabricar los componentes del dispositivo de izaje, tomando en cuenta la corrosión, fatiga y abrasión y resistencia de los materiales, especialmente en ambientes extremos como los del sector minero. Para asegurarse de que tanto los trabajadores como los equipos estén protegidos, se evaluarán los mecanismos de seguridad integrados, como los sistemas de freno y el control de sobrecarga.

1.5.1. Funcionamiento dispositivo de izaje

Los dispositivos de izaje forman un mecanismo fundamental de transporte y manejo en el desplazamiento del material en altura. Acostumbran por su diseño a ser una gran ayuda para el ser humano, relacionados con una innovación bastante reciente. Es un equipo de elevación que sirve para cargar y transportar materiales de gran peso y tamaño a través de ganchos, debido a las diversas estructuras similares y aplicaciones, puede ser usado en cualquier tipo de actividad, industria o comercio que involucre la manipulación y transporte de cargas.

En el área industrial, el sector minero transporta toneladas de mineral, las cuales, para ser llevadas mediante correas transportadoras, deben pasar por varios procesos relacionados con las áreas de molienda, flotación, pebble y gravilla para su futuro transporte. Para ello, en el inicio de las líneas de producción de cobre se encuentran diferentes mecanismos, los cuales están encargados de dar un avance importante a la línea de producción, proporcionando la ayuda necesaria para concluir con el producto final.

1.5.2. Desarrollo constructivo

El desarrollo constructivo del dispositivo de izaje dentro del proceso de ingeniería implica considerar conceptos claves que permiten realizar un diseño seguro y una funcionalidad bajo las normativas asociadas al transporte del ducto en altura. Dentro del proceso de ingeniería se deben analizar todas las cargas relacionadas, incluido el peso del ducto, el material a utilizar y, lo más importante, garantizar la estabilidad en la operación cuando el dispositivo esté en altura. Es esencial cumplir con las normas de seguridad en las que trabajaremos, como ASME B30.20 que señala las pruebas y el manejo de carga, el cual se trabajará con un accionamiento eléctrico de tecles con botonera a distancia para

el control total del dispositivo y así tener un monitoreo continuo en el análisis de riesgo, incluyendo planes de contingencias para fallas o sobrecargas.

1.5.3. Requisito del cliente

El inicio del proyecto nace en base a una necesidad del cliente con respecto a la funcionalidad y fallas que presenta la cañería en la línea de ducto bajo el molino SAG 03. Es necesario comprender la urgencia de realizar el mantenimiento correctivo de este componente a la criticidad por el desprendimiento del fluido y la posición en que se encuentra en terreno. Además, la intervención de mantenimiento es complicada porque el ducto está ubicado bajo el molino. La posición en terreno implica restricciones de acceso, lo que requiere un análisis cuidadoso para planificar las acciones correctivas de manera segura y eficiente. El objetivo de este proyecto no es sólo solucionar la falla actual, sino también sugerir mejoras de diseño y estructura que prevengan futuras deficiencias, teniendo en cuenta la resistencia del material y la facilidad de acceso para mantenimientos posteriores.

1.5.4. Diseño preliminar

Se realiza un diseño preliminar del dispositivo de izaje, donde el cliente señala el esquema estructural el cual se desarrollará los sistemas mecánicos y eléctricos involucrados, como cadenas, ganchos, orejas de izaje, tecles eléctricos, elementos comerciales y otros mecanismos de seguridad.

El proyecto tiene como propósito principal el montaje y desmontaje del ducto 35R, cuya funcionalidad es el transporte de fluido y material en el proceso de molienda a través de un dispositivo de izaje que tendrá la misión de levantar una carga aproximada de 1800 [Kg]. (Figura 1-2). Por último, el proyecto considera evaluar los puntos de anclaje y accesos disponibles en el área, teniendo en cuenta las restricciones de espacio y las condiciones del terreno que pueden afectar la maniobra. Se utilizarán cadenas, ganchos y pasadores certificados para garantizar un manejo controlado de la carga, evitando desplazamientos o caídas que puedan dañar el ducto o al personal operativo. Este enfoque completo garantiza que la intervención no sólo solucione el problema actual, sino que también mejorará la confiabilidad operativa de la línea de ductos bajo molino a largo plazo, optimizando la durabilidad de la cañería y reduciendo la probabilidad de fallas del sistema en el futuro.



Fuente: Propiedad personal

Figura 1-2. Área ducto 35R bajo molino SAG 03

1.5.5. Cálculo de Ingeniería

Se realiza un diseño preliminar del dispositivo de izaje, donde el cliente señala el esquema estructural en el cual se desarrollarán los sistemas mecánicos involucrados, como cadenas, ganchos, orejas de izaje, elementos comerciales y otros mecanismos de seguridad. Por otro lado, se verificará mediante cálculos que la capacidad del dispositivo debe ser mayor al ducto que se desplazará y así determinar el factor de seguridad que por normativa de izaje debe ser igual o mayor a 2 [-], incluyendo centros de gravedad del dispositivo y componentes asociados y así evitar inestabilidad en la operación, teniendo en consideración el cálculo de tensión, Von Mises, estabilidad y componente estructural.

1.5.6. Instrucciones de seguridad

- a) El operario debe leer y entender el manual y todas las señales de advertencia de la normativa NCh 1258/of.199 antes de empezar a operar.
- b) No usar el teclé eléctrico sin previamente tener los conocimientos adecuados.
- c) Revisar e inspeccionar la elevación del dispositivo antes de usar a maniobrar. Poner especial atención a los grilletes, la cadena y los componentes críticos.
- d) Usar el contrapeso en posiciones calculadas y verificadas por el departamento de ingeniería.
- e) Cuando el ducto sea elevado transportado es recomendable demarcar el área de operación.

- f) No sobrepasar la carga máxima especificada en el diseño.
- g) El peso de la carga se debe distribuir entre los centros de masa del dispositivo.
- h) Es recomendable el uso de guantes para una mejor protección durante el cambio de flange en terreno.

1.5.7. Tipos de dispositivos de izaje

Los dispositivos de izaje son perfectos para cargar y transportar materiales pesados en altura y permiten la optimización de los espacios de almacenamiento. Trabajan con mucha precisión y ejecutan de gran manera las tareas a realizar, reduciendo los tiempos y la cantidad de personas afectadas. De hecho, la correcta selección de material y elementos comerciales son los factores que determinan cuántos kilos [Kg] y toneladas [t] pueden llevar. La demanda de los dispositivos de izaje es cada vez mayor y para cada necesidad en especial, existe un determinado tipo de dispositivos con diferentes características que permitió de gran manera realizar un bosquejo y posterior modelo 3D del dispositivo de izaje.

1.5.7.1. Grúa de torre

Debido a su amplio alcance y capacidad para levantar cargas pesadas a grandes alturas, las grúas de torre son esenciales para la construcción de edificios altos y proyectos industriales. Se componen de una base anclada, un mástil modular que determina su altura, una pluma horizontal que amplía su alcance, una contrapluma para el equilibrio, una cabina de control, un gancho de carga y un sistema de cables de poleas. Estas grúas tienen una capacidad de carga que se puede ajustar según la distancia del centro de masa y giran en 360 grados. (Figura 1-3).



Fuente: Página web: “<https://adrkurs.pl/es/publikacje/gruas-torres/>”

Figura 1-3. Grúa de torre

1.5.7.2. Grúas móviles

Las grúas móviles son equipos que se montan en vehículos de gran capacidad para facilitar su desplazamiento. Se componen por estabilizadores, un brazo telescópico o articulado para la elevación y un chasis con ruedas. Pueden levantar hasta cientos de toneladas y giran 360 grados para aumentar su flexibilidad, mover o girar todo tipo de carga en suspensión. Se emplean en el montaje de equipos industriales, el sector minero y la logística, destacando por su movilidad y la capacidad para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo. (Figura 1-4).



Fuente: Página web: “<https://www.rocesan.com>”

Figura 1-4. Grúas móviles

1.5.7.3. Polipastos

Los polipastos son dispositivos de elevación que utilizan poleas, cables o cadenas para elevar cargas pesadas con menos esfuerzo y mayor seguridad. Dependiendo de la fuente de energía, pueden ser principalmente eléctricos (Figura 1-5), que son utilizados principalmente por motor eléctrico para el desplazamiento de la carga y neumáticos (Figura 1-6), donde se caracterizan por ser compactos, ligeros y tener velocidad. Las poleas distribuyen el peso de la carga; dependiendo de la altura y la carga, utilizan cadenas o cables. Son comunes en la industria manufacturera, la construcción y el mantenimiento de equipos pesados, y son necesarios para operaciones de elevación seguras y eficientes.



Fuente: Página web: “<https://policrane.com>”

Figura 1-5. Polipastos eléctricos



Fuente: Página web: “<https://polipastos.com>”

Figura 1-6. Polipastos neumáticos

1.5.7.4. Elevadores eléctricos

Como su nombre lo indica, los elevadores eléctricos utilizan motores eléctricos para elevar y desplazar cargas de manera eficiente y rápida. Para proporcionar el control preciso mediante sistemas de ajuste de velocidad y dirección, utilizan cables de acero y/o cadenas. Se destacan por su seguridad, con sistemas para evitar sobrecargas y frenos automáticos. Algunos de los tipos de elevadores eléctricos incluyen plataformas elevadoras, montacargas y elevadores de cable y cadena. Debido a que son fáciles de usar y pueden manejar cargas pesadas con precisión, se utilizan en construcción, mantenimiento y fábricas. (Figura 1-7).



Fuente: Página web: <https://hpctecnologias.com>”

Figura 1-7. Elevador eléctrico

1.5.7.5. Cabrestantes eléctricos

Los cabrestantes eléctricos son dispositivos que enrollan o desenrollan un cable en un carrete con un motor eléctrico, lo que permite levantar, arrastrar o mover cargas pesadas de manera eficiente. Tienen frenos automáticos y se pueden manejar manualmente o por botonera eléctrica. Existe una variedad de modelos que son portátiles, industriales y cada uno está diseñado para satisfacer diferentes demandas. Se destacan por su seguridad y eficacia, y se utilizan en industrias, automoción¹, construcción para mover equipos, remolcar vehículos y levantar materiales pesados. (Figura 1-8).

¹ Estudio o descripción de las máquinas que se desplazan por la acción de un motor.



Fuente: Página web: "<https://prowinch.cl>"

Figura 1-8. Cabrestantes eléctricos

1.5.8. Elementos para fabricación

Para llevar a cabo el proyecto, se utilizará un dispositivo de izaje de tipo eléctrico, el cual conlleva vigas HEA, orejas de izaje tipo W-ABA, grilletes, teche de cadena eléctrico, entre otros elementos esenciales para el funcionamiento del dispositivo de izaje. A continuación, se explicarán los componentes para ejecutar.

a) Viga HEA 280 y 240

Las vigas HEA son perfiles de acero estructural en forma de "H" con alas anchas y caras paralelas. Son ampliamente utilizados en minería debido a su alta resistencia y capacidad para soportar cargas. El diseño del dispositivo de izaje del proyecto en el ámbito estructural se seleccionó debido a que mejora la distribución del peso de la cañería, la resistencia a la flexión y la fabricación en acero al carbono laminado en caliente. Con una longitud estándar de 12 metros, están disponibles en una variedad de dimensiones y se utilizan en la construcción de edificios e infraestructura como puentes y componentes. (Figura 1-9).



Fuente: Página web: "<https://tuboferro.com/producto/h-e-a/>"

Figura 1-9. Vigas HEA

b) Orejas de izaje W-ABA 10 [Ton]

Las orejas tipo "W-ABA" son un elemento en el diseño de estructuras que se utilizan particularmente cuando se construyen puentes y otros componentes de soporte en sistemas de elevación. El factor de seguridad es 4:1 y se utilizan para proporcionar apoyo adicional en las uniones de las vigas, aumentando la estabilidad y la resistencia de las estructuras. (Figura 1-10).



Fuente: Catálogo RUD

Figura 1-10. Orejas W-ABA 10 [Ton]

c) Grilletes lira alta tipo G-2130

Los grilletes de lira alta son dispositivos de sujeción y anclaje utilizados en la manipulación y levantamiento de cargas. Su diseño en forma de "lira" aumenta su resistencia y capacidad de carga, permitiendo que la carga se distribuya uniformemente y reduciendo el riesgo de torsión. Son ideales para entornos industriales y de minería porque están hechos de acero de alta resistencia. Se utilizan con frecuencia en grúas y equipos de elevación en proyectos de construcción para asegurar componentes estructurales. Para garantizar la seguridad y la eficiencia en las operaciones de levantamiento, su uso es esencial y permite un izaje seguro dentro de la operación. (Figura 1-11).



Fuente: Página web: "<https://impomin.cl/producto/grilletes-tipo-lira/>"

Figura 1-11. Grilletes lira alta

d) Tecla cadena eléctrica con gancho – 5 [Ton]

El tecla de cadena eléctrica es un dispositivo utilizado para levantar y mover cargas pesadas, que son comunes en la industria. Su motor eléctrico, que permite un levantamiento rápido y controlado, su cadena de acero, que garantiza la durabilidad, y su disponibilidad en una variedad de capacidades son sus características propias. Además, suelen incluir controles remotos (botoneras) para que sea más fácil trabajar con ellos. Es una herramienta crucial para aumentar la seguridad y la eficiencia en el manejo de cargas pesadas. (Figura 1-12).



Fuente: Página web: “<https://prowinch.cl/catalog/tecle-cadena-trifasico-9-metros-3-toneladas-heavy-duty-380-460v>”

Figura 1-12. Tecle eléctrico 5 [Ton]

1.5.8.1. Estructura

La estructura del dispositivo de izaje será principalmente a base de acero ASTM – A36 y ASTM A572 y en caso de ejes SAE – 4340, el cual estará encargada de soportar la elevación y el desplazamiento del dispositivo.

1.5.8.2. Acero A-36 características y aplicaciones

El acero estructural A-36 tiene buena soldabilidad, generalmente se lamina en caliente en acero rectangular, acero cuadrado, acero redondo, placa de acero, y también se hace comúnmente en todo tipo de secciones de acero, como vigas H, vigas I, canal U, ángulo de acero, tubo de acero, etc.

Debido a que el acero A-36 tiene una composición química simple, es muy fácil de soldar, lo que lo convierte en un material estructural atractivo en los oficios de construir donde puede ser encontrado como un soporte temporal o permanente de material de revestimiento. Son utilizados en la fabricación de estructuras de acero soldadas y atornilladas para la construcción industrial y civil, así como para la construcción de puentes. El acero laminado ASTM - A36 también se utiliza en la fabricación de artículos y piezas para usos generales del sector de la construcción y la ingeniería. (Tabla 1-1).

El acero A-36 es una opción confiable debido a que su resistencia estructural se mantiene en condiciones adversas en el sector minero, donde los componentes están expuestos a la abrasión, la humedad y las variaciones térmicas. Además, se pueden aplicar recubrimientos protectores como pinturas o galvanizado para aumentar su durabilidad y protegerlo de la corrosión.

Tabla 1-1. Características y especificaciones mecánicas del acero A-36

Propiedades mecánicas y composición química	Grado A-36
Límite elástico (KSI)	36 (mín)
Resistencia a la tensión (KSI)	58 - 80
% elongación en 8"	20 (mín)
% elongación en 2"	21 (mín)
% Carbono	0.26 (máx)
% Manganeso	-
% Fósforo	0.04 (máx)
% Azufre	0.05 (máx)
% Silicio	0.40 (máx)
% Cobre, cuando el cobre es especificado	0.20 (mín)

Fuente: Página web: “<https://www.acerostramontana.com/acero/tee-lac-a36/>”

1.5.8.3. Acero A572 – Gr50 características y aplicaciones

El acero estructural A-572 es un material ideal para una variedad de aplicaciones en la industria porque es conocido por su alta resistencia y buena soldabilidad comúnmente laminadas en caliente. Principalmente se usan en planchas laminadas, planchas gruesas, cañerías y flanges.

Por otro lado, es un material estructural atractivo para su uso en minería donde puede actuar como soporte temporal o permanente debido a su composición química bien equilibrada. Es fácil de soldar. Es ampliamente utilizado para construir puentes y estructuras de acero soldadas y atornilladas para usos civiles e industriales donde se requiere un material de mucha resistencia y durabilidad. (Tabla 1-2).

Finalmente, la capacidad de reciclaje es una ventaja del acero A-572 en el sector minero. El acero puede ser recuperado y reutilizado después de su vida útil en un proyecto o instalación, lo que lo convierte en una opción económica y sostenible. Este aspecto es particularmente útil en la industria minera, donde el aprovechamiento y la eficiencia de los recursos son cruciales.

Tabla 1-2. Características y especificaciones mecánicas del acero A-572

PROPIEDADES MECÁNICAS		ASTM A36	ASTMA A572 GR 50	ASTM A992
		(MPa)	(MPa)	(MPa)
Límite de Fluencia (mín.)		250	345	345
Resistencia a la Tracción		410	450	450
Fluencia / Traccion máx		-	-	0.85

Composición Química			
Componente	ASTM A36	ASTM A572 Gr50	ASTM A992
Carbono(%) máx.	0.23	0.23	0.23
Manganeso(%) máx.	1.35	1.35	0.50 a 1.6
Fósforo (%) máx.	0.04	0.04	0.035
Azufre (%) máx.	0.05	0.05	0.045
Silicio (%) máx.	0.4	0.4	0.4
Vanadio (%) máx.	0.01 - 0.15	0.01 - 0.15	0.15
Niobio (%) máx.	0.005 - 0.05	0.005 - 0.05	-
Columbio (%) máx.	-	-	0.05
Cobre (%) máx.	-	-	0.6
Nickel (%) máx.	-	-	0.48
Cromo (%) máx.	-	-	0.35

Fuente: Página web: “<https://www.acerostramontana.com/acero/vigas-h/>”

CAPÍTULO 2 INGENIERÍA DE DETALLE Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO

2. INGENIERÍA DEL PROYECTO

En el presente capítulo se desarrollará una solución adecuada al proyecto: diseñar un dispositivo de izaje para solucionar la problemática de una línea de proceso para Minera Los Pelambres, específicamente en el transporte de material del ducto ubicado bajo el molino. Se presenta la solución acompañada con prototipos en 3D, en el cual se trabajará con software de ingeniería para modelar las ideas. Además, se realizará análisis sistémico y análisis funcional del componente. Posterior a esto, se desarrollará en primera instancia la ingeniería inversa en base al software Trimble RealWorks, donde el entregable del software será definir los componentes existentes en terreno e inferencias que están situadas en el área a ejecutar el proyecto. Luego, la ingeniería básica que permitirá definir principalmente el modelo a diseñar, los alcances y el requerimiento del cliente. Por último, se analizará la información recopilada y se efectuará la resistencia de los materiales, análisis de elementos finitos, Von Mises, factor de seguridad y análisis de esfuerzo, mediante cálculos que se especificarán en la memoria de cálculo de los componentes principales para el funcionamiento de la máquina, el cual se desarrollará en el software SolidWorks.

A continuación, se expondrán las partes en que se dividirá esta etapa del proyecto. El diseño de la maquinaria a trabajar será definido para mejorar el desplazamiento en altura en un conjunto con un sistema eléctrico.

2.1. INGENIERÍA INVERSA DEL PROYECTO

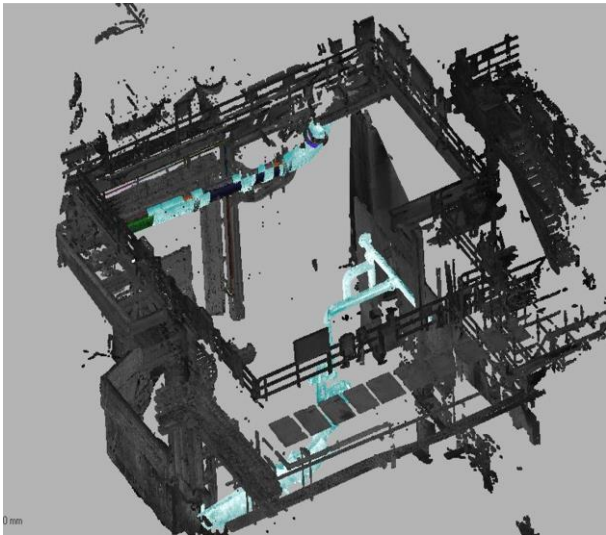
La ingeniería inversa es un proceso que analiza la estructura, las funciones y las operaciones de un componente para identificar sus características. Para crear una representación digital tridimensional del objeto, se toman medidas de la geometría de toda su superficie, ya sea manualmente o utilizando diferentes softwares de medición 3D. Actualmente es aún más precisa y rápida gracias a tecnologías de medición 3D como el escáner 3D (Figura 2-1) que se utilizará en el proyecto. Esto permite capturar detalles complejos mediante nubes de puntos en el software Geomagic Design donde se representará el área a trabajar para verificar interferencia que afectarán directamente en el diseño final del dispositivo de izaje (Figura 2-2). La modificación del modelo en el software antes de la fabricación reduce los errores y garantiza que el diseño final tenga menor porcentaje al error.

Finalmente, la ingeniería inversa es una herramienta útil que no sólo facilita la innovación en los proyectos, sino que también permite a los ingenieros realizar mejoras significativas, adaptaciones tecnológicas y reparaciones mediante un análisis detallado del componente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-1. Levantamiento 3D a distancia con escáner laser Trimble X7



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2. Representación gráfica de la nube de puntos en Geomagic Design

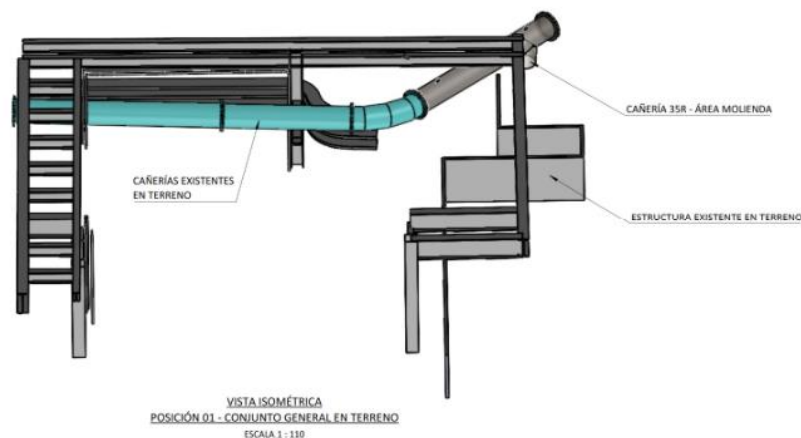
2.1.1. Recopilación de información

Dentro del primer paso a desarrollar, es la recopilación que respecta a toda la información correspondiente a la ingeniería inversa. De lo anterior, consiste en reunir todos los antecedentes y datos disponibles, como planos, manuales, códigos y especificaciones técnicas. Además, el análisis según el conjunto de datos recopilados tiene como objetivo encontrar áreas de mejora o ineficiencia en el diseño original. Los ingenieros pueden encontrar fallas en la integración y oportunidades para optimizar el rendimiento de los componentes en la operación. Esta fase es crucial para asegurarse de que tenga una comprensión clara y detallada del sistema antes de pasar a la etapa de modelado o rediseño.

2.1.2. Idea preliminar del dispositivo de izaje

Un concepto inicial de un dispositivo de izaje incluye su diseño para elevar y desplazar cargas de manera eficiente y segura. Una estructura resistente, un sistema de tecles eléctricos para realizar el accionamiento con botonera y elementos comerciales tales como grilletes, orejas de izaje y pernerías son todos los componentes necesarios para ejecutar el montaje del ducto 35R (Figura 2-3).

La ejecución requiere la selección adecuada de puntos de elevación para distribuir el peso de manera uniforme y reducir el riesgo de deformaciones o daños en el ducto, por lo que se trabajará con el puente grúa marca Siemens de capacidad máxima 25 [ton] (Figura 2-4). Basado en lo anterior, requiere que el equipo de trabajo, el operador del sistema de elevación y los supervisores de seguridad trabajen juntos de manera efectiva, conociendo las interferencias y un estudio del área en que se desarrollará el proyecto.



Fuente: Software SolidWorks

Figura 2-3. Área proyectada para realizar montaje



Fuente: Elaboración personal

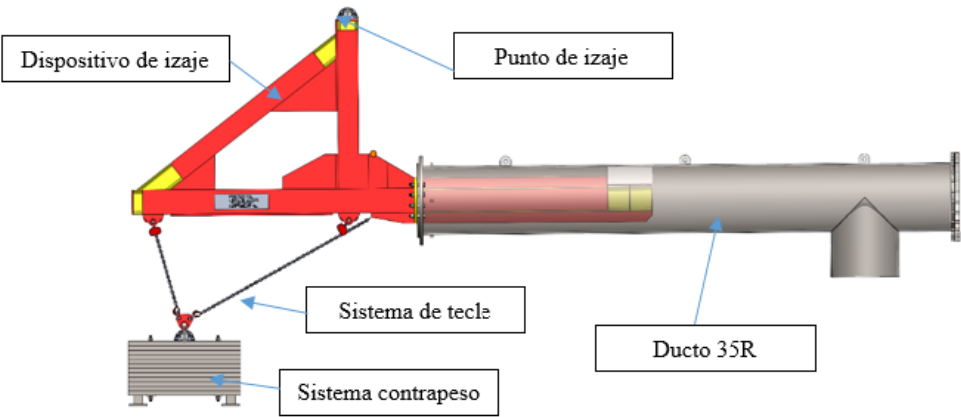
Figura 2-4. Puente grúa Siemens sobre Molino SAG 3

2.2. **INGENIERÍA DE DETALLE DEL PROYECTO**

En esta sección se mostrará el diseño virtual del proyecto, en la cual consiste en diseñar el dispositivo de izaje desarrollado en el proyecto, para esto se dividirá esta sección en tres partes que se detallarán a continuación.

2.2.1. Modelación dispositivo de izaje

Para el diseño del dispositivo de izaje se desarrollará en el software de ingeniería SolidWorks para luego realizar una planimetría de conjunto y de fabricación de los componentes que serán diseñados (Figura 2-5). Además, se utilizará el mismo software para realizar simulaciones de esfuerzos y análisis de carga, lo que permitirá validar la resistencia y funcionalidad del dispositivo antes de su fabricación. Las condiciones operativas reales, como el peso del ducto 35R (Figura 2-6), las fuerzas aplicadas durante el izaje y los factores externos potenciales, como las vibraciones, centro de masa, se incluirán en estas simulaciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-5. Modelado 3D conjunto dispositivo de izaje



Fuente: Elaboración propia

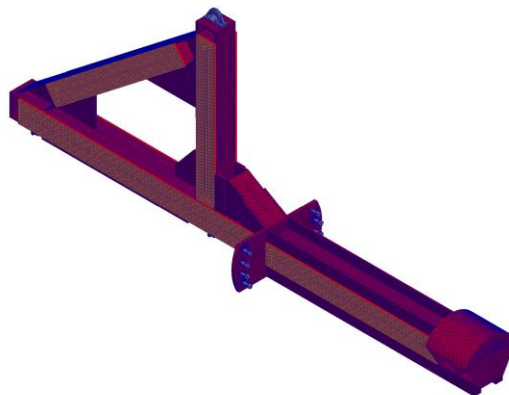
Figura 2-6. Modelado 3D ducto 35R

El modelado tridimensional del dispositivo de izaje constará de los siguientes subconjuntos mencionados anteriormente:

- a) Subconjunto estructural.
- b) Subconjunto eléctrico.

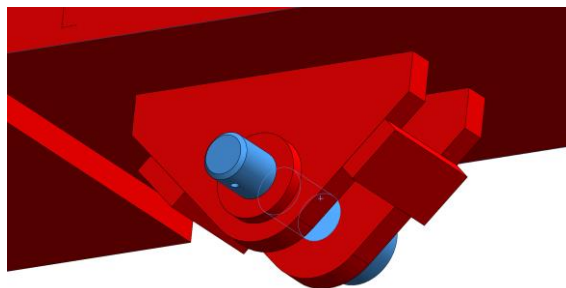
2.2.2. Subconjunto estructural

El subconjunto estructural estará confeccionado por vigas HEA W280 en la parte central para dar mayor resistencia y W240 para las vigas transversales (Figura 2-7). Luego, las planchas de acero, refuerzos y atizadores a utilizar serán principalmente de ASTM A572, finalizando con los pasadores que serán fabricados de SAE 4340 (Figura 2-8) por tener una buena tenacidad, resistencia al desgaste y resistencia a la fatiga. Con respecto a las uniones soldadas, serán mediante soldadura TIG, exceptuando las orejas de izaje RUD (Figura 2-9) que obligatoriamente tendrán que ser soldadas según indicación del fabricante debido a que esta estructura base será la encargada de sostener las fuerzas generadas por el peso propio de la máquina y para no generar contacto de acero entre dispositivo y cañería, el diseño tendrá revestimiento superficial para evitar cualquier tipo de roce o deslizamiento que no esté contemplado (Figura 2-10) y así, definir el modelado final del dispositivo de izaje (Figura 2-11).



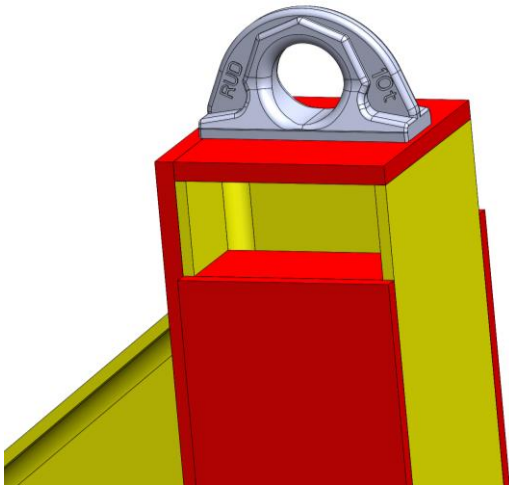
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-7. Modelado 3D Dispositivo de izaje



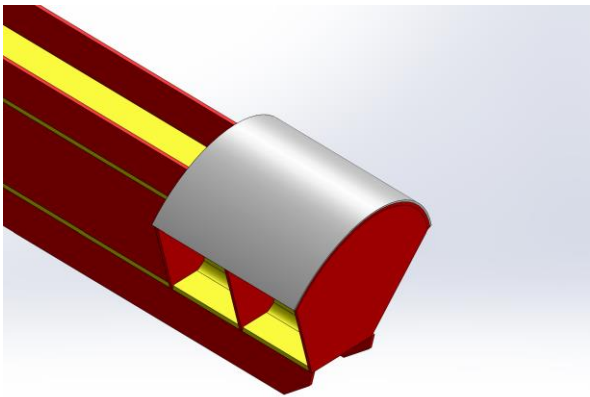
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8. Modelado 3D de la estructura base



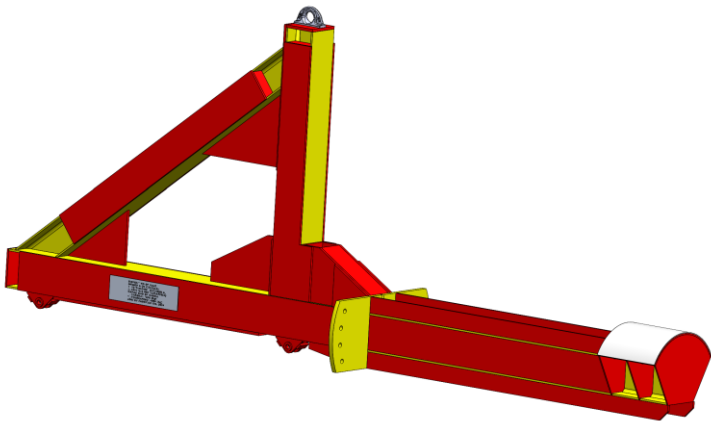
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-9. Oreja RUD 10 [Ton]



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-10. Modelado 3D revestimiento exterior



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-11. Modelado 3D dispositivo de izaje

2.2.3. Subconjunto eléctrico

El subconjunto eléctrico es un componente crucial que permite el control seguro y preciso de las operaciones de elevación y desplazamiento de cargas. Este sistema tiene varios componentes que utilizaremos en la ejecución, fundamentalmente motores eléctricos (Figura 2-13) y botoneras de control (Figura 2-14). La botonera de control activa el sistema eléctrico del dispositivo de elevación, que envía señales al motor a través de contactores y relés. Si hay un variador de frecuencia en el sistema, el operador puede ajustar la velocidad del izaje según las necesidades del trabajo. Los dispositivos de protección y los finales de carrera monitorean continuamente la operación para evitar sobrecargas o mal funcionamiento. Para garantizar la confiabilidad del dispositivo de izaje, es esencial mantener el sistema eléctrico en buen estado. Para evitar la acumulación de polvo o desechos que puedan afectar su funcionamiento, esto incluye la revisión regular de cables, conexiones y componentes. Además, se deben realizar pruebas de aislamiento eléctrico y pruebas de sistemas de protección para garantizar que funcionen correctamente.



PWR5



Tecle Cadena Trifasico 9 Metros 5 Toneladas Heavy Duty 380/460V

Características Esenciales

- La Calidad está adentro: Equipo Heavy Duty H3/M4. Carcasa de Aluminio Compuesto, Rodamientos NSK
- Seguridad: Cadena G100 Super Heavy Duty, 25% superior a la G80. Standard ASTM A973.
- Flexibilidad: Voltaje, altura de izaje y alcance de la botonera se pueden customizar.
- Estándares: US y EC ASME HST-1, ASME B30.16/B30.17, EN14492-2 , EN60204-32
- 3 Años de Garantía, Servicio y Atención al Cliente en Chile

Fuente: Cotización PWR5 – Empresa Prowinch

Figura 2-12. Especificación técnica motor trifásico 5 [Ton] 380/460V



F21-2S



TeleControl Serie 21 , 2 Botones , 1 Velocidad, Alcance 100Mts 110~380V

Características Esenciales

- 3 Años de Garantía, Servicio y Atención al Cliente en Chile

Fuente: Cotización F21-2S – Empresa Prowinch

Figura 2-13. Especificación técnica botonera de telecontrol 100/380V

2.3. MEMORIA DE CÁLCULO

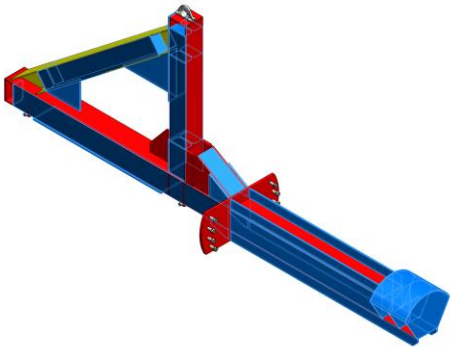
Las memorias de cálculo son los procedimientos descritos de forma detallada de cómo se realizaron los cálculos en el desarrollo de un proyecto, en la cual se describen los cálculos y los procedimientos que se llevaron a cabo para determinar las secciones de los elementos estructurales, así mismo, esta memoria de cálculo indica cuales fueron los criterios con los cuales se calculan todos y cada uno de los elementos, como son las cargas, dimensiones, los factores de seguridad, etc.

2.3.1. Materiales

Para el desarrollo del análisis FEM, se utilizan criterios de diseño para la obtención de los resultados realizados. Se asignan propiedades mecánicas a los materiales utilizados en la estructura, como módulo de elasticidad, límite de tracción, límite de fluencia y densidad. La evaluación de las deformaciones y tensiones a las que está sujeta la estructura depende de estos valores. Además, se establecen las condiciones de contorno que representan las restricciones físicas del sistema, como apoyos fijos, desplazamientos permitidos o restricciones de movimiento en ciertos ejes. Estas condiciones tienen un impacto directo en cómo la estructura distribuye las cargas.

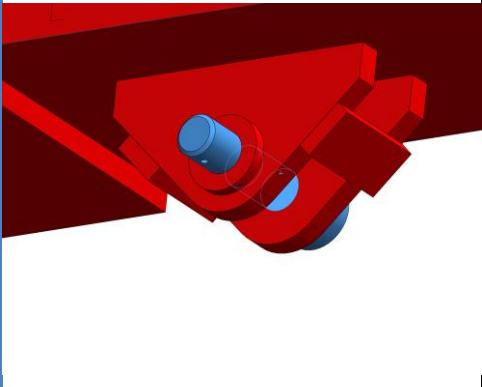
La estructura se divide en componentes más pequeños mediante la malla de elementos finitos, lo que facilita el análisis. La densidad y el tamaño de la malla son cruciales para equilibrar la precisión y los tiempos de cálculo. Se utilizan criterios de falla para determinar si la estructura es capaz de fallar bajo las condiciones en base a la carga en que se someterá. Los resultados posteriormente se comparan con normas y/o análisis previos para asegurar de que el cálculo es verídico (Tabla 2-1 y 2-2).

Tabla 2-1. Características y propiedades Dispositivo de izaje

Referencia de modelo	Propiedades (Estructura)	
	Nombre:	ACERO ASTM A-572 GR.50
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de Von Mises
	Límite elástico:	345 MPa
	Límite de tracción:	450 MPa
	Módulo elástico:	210 GPa
	Coeficiente de Poisson:	0.29
	Densidad:	7850 kg/m^3
	Módulo cortante:	81395 MPa

Fuente: Dispositivo de izaje, análisis FEM

Tabla 2-2. Características y propiedades en pasadores

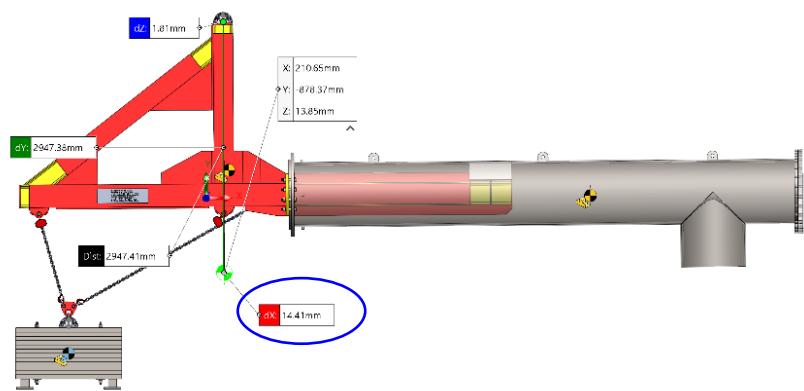
Referencia de modelo	Propiedades (Pasadores)	
	Nombre:	SAE 4340
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de Von Mises
	Límite elástico:	710 MPa
	Límite de tracción:	1110 MPa
	Módulo elástico:	210 GPa
	Coefficiente de Poisson:	0.32
	Densidad:	7850 kg/m^3
	Módulo cortante:	81395 MPa

Fuente: Pasadores, análisis FEM

2.3.2. Desarrollo

El uso que tendrá el componente analizar, será para el izaje de una cañería existente, manteniendo su punto de equilibrio lo que permitirá que el dispositivo de izaje esté controlado en todo momento por el operador mediante botonera eléctrica (Figura 2-14).

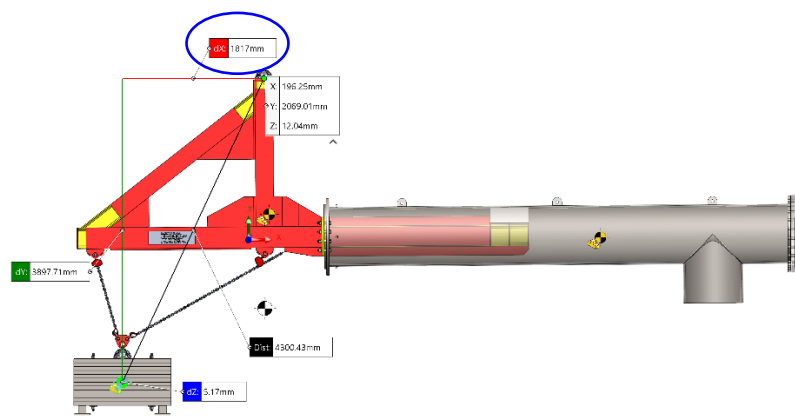
Para este análisis, se debe tener en cuenta el peso de la cañería y cómo se distribuye a lo largo del componente. Esto garantizará que el punto de equilibrio permanezca estable durante todo el proceso de elevación. El sistema de contrapeso manual debe permitir ajustes precisos en el tiempo de operación, lo que implica que el diseño debe prever una fácil regulación y una respuesta rápida a las variaciones de carga o desplazamiento.



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-14. Sistema de equilibrio

En la imagen anterior, se observa el sistema en equilibrio, presentándose una desviación del punto de izaje, con el centro de gravedad de todo el conjunto, de 14 [mm] (en dirección horizontal o eje “x”). Esta desviación se considera como admisible, debido a las condicionantes de fabricación que no se abarcan en el proceso de análisis (volúmenes de soldadura creado) Por último, se indica la distancia entre el punto de izaje (punto referencial de operación) y el centro de gravedad del contrapeso (Figura 2-15).



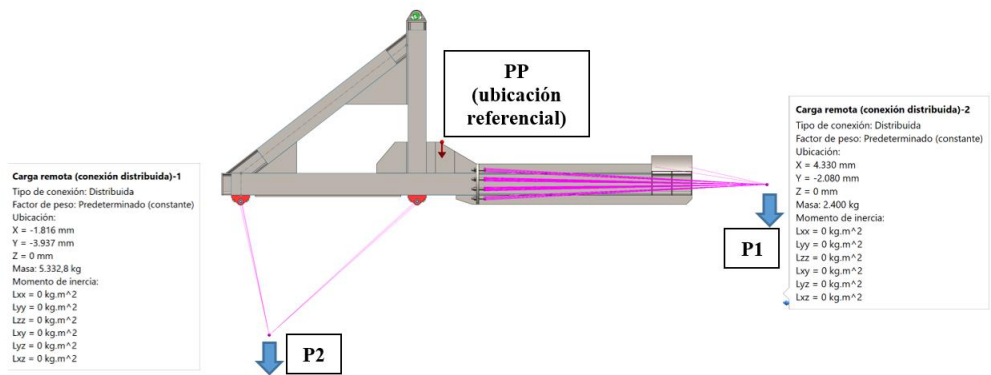
Fuente: Elaboración personal

Figura 2-15. Distancia punto de izaje – contrapeso

2.3.3. Cargas y sujeciones

Las cargas que debe soportar el dispositivo de izaje, corresponderían al peso del ducto 35R y del contrapeso, como también al peso propio que presenta el sistema (Figura 2-16), las cuales se determinan de la siguiente forma:

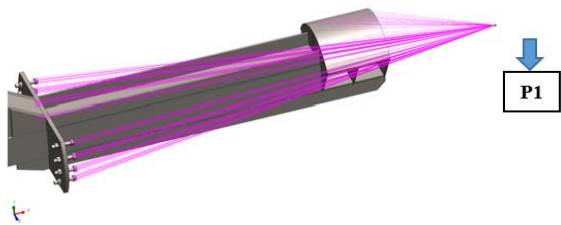
- **P1** (peso ducto 35R * 20%) = 2400 [Kg] (se considera un factor de impacto de 20%)
- **P2** (peso contrapeso * 20%) = 5332,8 [Kg] (se considera un factor de impacto de 20%)
- **PP** (peso propio * 20%) = 2355,6 [Kg] (se considera un factor de impacto de 20%)



Fuente: Elaboración personal

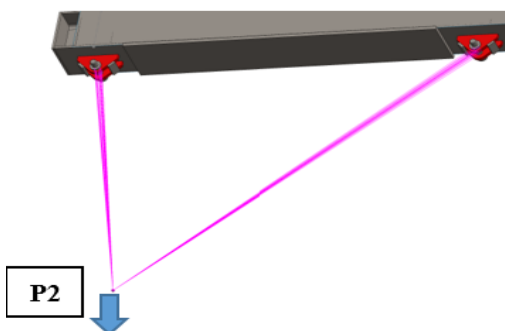
Figura 2-16. Ubicación de cargas en dispositivo de izaje

La carga P1 se distribuye en la cara inferior de los pernos de amarre, junto a la cara superior del soporte, donde “descansará” el ducto 35R. Mientras que la carga P2 se aplica en pasadores inferiores (Figura 2-17 y 2-18).



Fuente: Elaboración personal

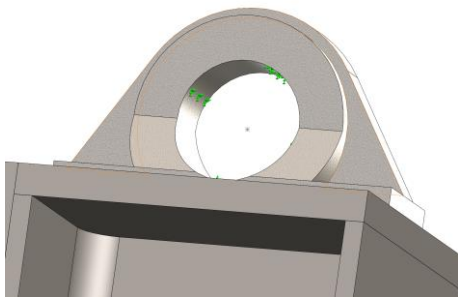
Figura 2-17. Ubicación de cargas en dispositivo de izaje



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-18. Ubicación de cargas en dispositivo de izaje

El punto principal de sujeción será la oreja comercial ubicada en la parte superior del dispositivo de izaje. Este componente debe ser seleccionado cuidadosamente para soportar las cargas máximas esperadas, asegurándose de que su resistencia y capacidad de carga estén en línea con las fuerzas que se generarán durante el proceso de izaje. Para evaluar su comportamiento bajo carga, se realizará un análisis FEM específico de la oreja para asegurarse de que no haya concentraciones de tensiones que puedan causar deformaciones permanentes o fallas estructurales. La evaluación de las tensiones en las áreas adyacentes de la estructura donde se conectará la oreja será parte de este análisis (Figura 2-19).



Fuente: Elaboración personal

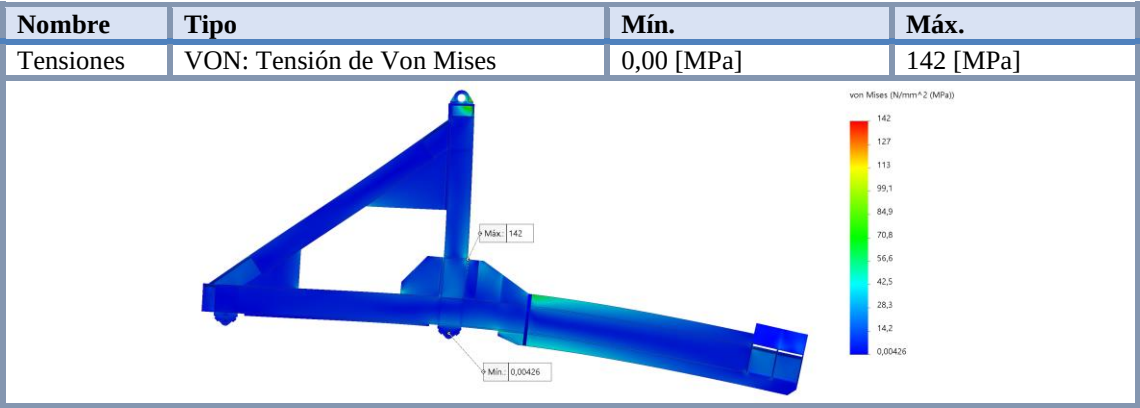
Figura 2-19. Sujeción de oreja RUD 10 [Ton]

2.3.4. Tensión de Von Mises

En el análisis de materiales dúctiles, la tensión de Von Mises es un criterio ampliamente utilizado para predecir cuándo un material comenzará a plastificarse o fallar bajo un estado de tensiones complejos. Este criterio, también conocido como el criterio de distorsión de energía, se basa en la energía que altera la forma de un material sin tener en cuenta sus componentes volumétricos.

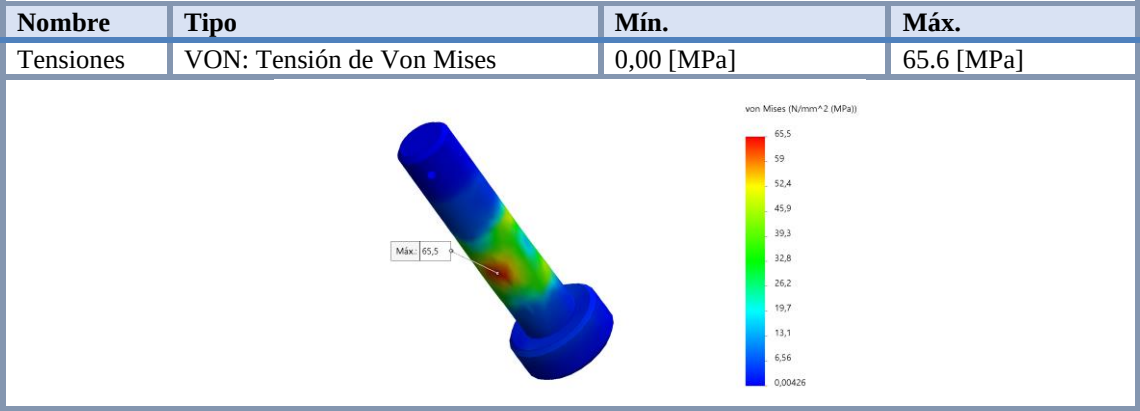
A continuación, se determinará el resultado de tensión máxima de vigas, planchas y pasadores, a través del criterio de falla para materiales elásticos Von Mises (Tabla 2-3 y 2-4).

Tabla 2-3. Tensión máxima en vigas y planchas de acero



Fuente: Tensión de Von Mises, análisis FEM

Tabla 2-4. Tensión máxima en pasadores



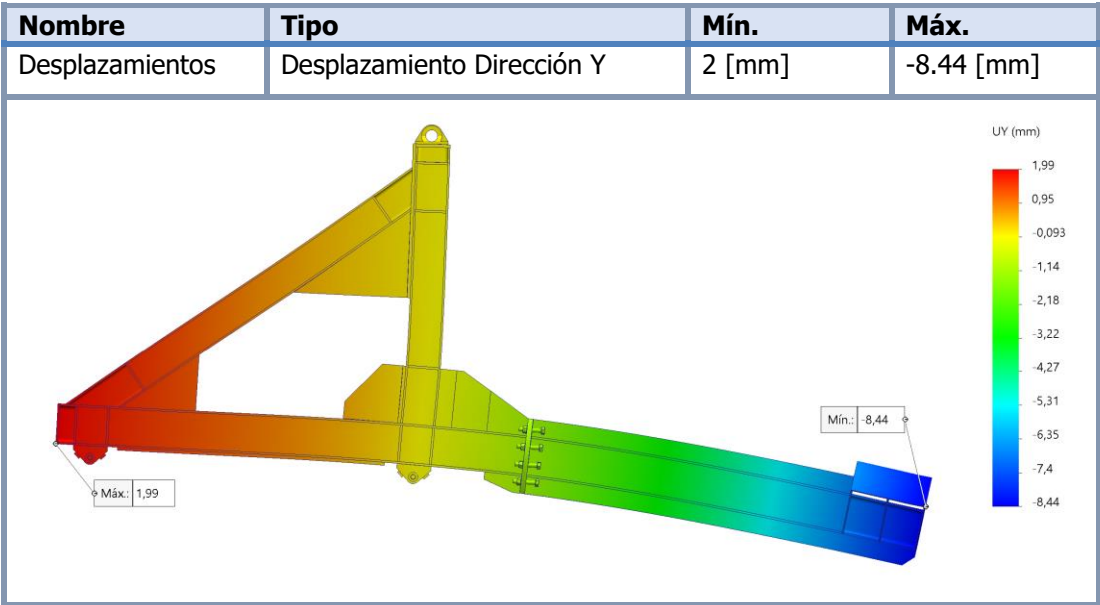
Fuente: Tensión de Von Mises, análisis FEM

2.3.5. Desplazamiento y dirección

Debido a que es la dirección vertical en la que se realizará el izaje de la cañería, se aplicarán las cargas de operación sobre el modelo FEM para determinar el desplazamiento en la dirección Y del dispositivo de izaje. El cambio en esta dirección tendrá un impacto significativo en la estabilidad y seguridad de la operación.

El análisis evaluará la distribución de la carga, así como cómo el peso de la cañería y el contrapeso afectan el desplazamiento en Y. La rigidez estructural garantizará que este desplazamiento sea mínimo y dentro de los límites normativos, mientras que las restricciones y sujeciones deben controlarlo. Para evitar deformaciones permanentes que puedan comprometer la integridad del sistema, se comparará el desplazamiento con el límite elástico del material (Tabla 2-5).

Tabla 2-5. Desplazamiento dispositivo de izaje



Fuente: Desplazamiento dirección eje Y, análisis FEM

2.3.6. Factor de seguridad

El factor de seguridad (FS) analizado en el proyecto, se establece basándose en la utilidad del elemento que se está evaluando. Para tal fin, se emplea el programa de ingeniería SolidWorks, que utiliza el criterio de Von Mises que se utiliza en materiales lineales isotrópicos² para determinar la tensión máxima. Este estándar es una norma de falla para componentes elásticos y se determina dividiendo la fluencia del material y la tensión máxima alcanzada durante el análisis.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

Para el caso de la estructura, el material utilizado es el acero ASTM A572, que tiene un límite elástico de 345 [MPa] (valor entregado por tabla) y una tensión máxima de 142 [MPa] según análisis FEM. Al aplicar estos valores en la ecuación antes mencionada, se obtiene un factor de seguridad de 2,42 [-], lo que indica que el material puede soportar

² Es el estudio de las propiedades mecánicas de los materiales, significa que un componente tiene valores idénticos en todas las direcciones

hasta el doble de la tensión máxima antes de alcanzar su límite de fluencia. Para el caso del pasador, el material utilizado es el acero SAE 4340, que tiene un límite elástico de 710 [MPa] (valor entregado por tabla) y una tensión máxima de 66 [MPa] según análisis FEM. Al aplicar estos valores en la ecuación antes mencionada, se obtiene un factor de seguridad de 10,75 [-]. Para este caso, se considera $\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_{VM}$, siendo esta última expresión, la tensión máxima obtenida a través del criterio de falla de Von Mises donde se reemplazan los datos en la siguiente tabla (Tabla 2-6).

Tabla 2-6. Factor de seguridad Vigas, planchas y pasadores

Item	Tensión máxima (σ_{VM}) [MPa]	Límite elástico (S_y) [MPa]	Factor de seguridad [-]
Vigas y planchas	142	345	2.42
Pasadores	66	710	10.75

Fuente: Factor de seguridad, análisis FEM

2.3.6.1 Normativa para elementos de izaje: ASME BTH-1

La norma ASME BTH-1 (norma básica de diseño para dispositivos de elevación bajo el gancho) establece los criterios de diseño para dispositivos de elevación que se emplean bajo el gancho en sistemas de elevación, tales como grúas y eslingas. Su objetivo es asegurar la seguridad y eficacia en la producción y utilización de estos equipos. La reglamentación incluye estándares de diseño estructural y mecánico, elección de materiales, técnicas de cálculo, elementos de seguridad, y necesidades de revisión y conservación. Estas normas garantizan que los dispositivos puedan resistir las cargas previstas y mantener su funcionamiento de forma segura a lo largo del tiempo.

La aplicación a la norma es esencial en el desarrollo del dispositivo de izaje, dado que contribuye a evitar incidentes y fallas estructurales del proyecto. Las empresas que se ajustan a esta norma pueden garantizar que sus equipos de izaje satisfacen los estándares de seguridad y calidad más elevados, protegiendo tanto a los trabajadores como a los materiales que se emplean. Además, el cumplimiento de la ASME BTH-1 permite que las empresas aumenten su eficiencia en las operaciones al garantizar que sus equipos de izaje operen de forma óptima bajo las condiciones establecidas.

Para concluir, la norma ASME BTH-1 establece que los componentes de izaje deben cumplir un factor de seguridad específico, en función del ciclo de uso al que serán sujetos. Esto implica que, dependiendo de la frecuencia y la intensidad del uso, el diseño del dispositivo de izaje debe incluir un margen de seguridad apropiado para evitar fallos. Este método asegura que los dispositivos sean capaces de resistir cargas dinámicas y estáticas a lo largo de su vida útil, reduciendo así el peligro de incidentes y potenciando la confiabilidad de las operaciones de izaje.

2.4. NORMATIVA DE SEGURIDAD A UTILIZAR

- Norma de elementos de izaje ASME B.30.20.
- Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction

2.5. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

- Esfuerzos admisibles: 0,6 x Límite elástico del material (Sy)
- Desplazamiento admisible: L/500
- Factor de utilización (a través de Factor de seguridad) > 2 [-]

2.6. CONCLUSIONES MEMORIA DE CÁLCULO

A través de los resultados obtenidos en el análisis FEM realizado, se puede determinar que **el dispositivo de izaje soportará las condiciones de operación a las que será sometido, cumpliendo con los criterios de Tensión máxima, Factor de seguridad y Deformación.** A continuación, se detallan y comentan los resultados obtenidos.

2.6.1. Tensión máxima

De acuerdo con lo indicado en requerimiento de diseño, el criterio de admisibilidad de los elementos se encontrará bajo criterio de la tensión máxima admisible (σ_{adm}), la cual se determina por la siguiente expresión:

$$\sigma_{adm} = S_y * 0.6$$
$$\text{Si } \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} > 1, \text{admisible}$$

Para este caso, se considera $\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_{VM}$, siendo esta última expresión, la tensión máxima obtenida a través del criterio de falla de Von Mises.

Tabla 2-7. Tensión máxima, vigas, planchas y pasadores

Item	Tensión máxima (σ_{VM}) [MPa]	Límite elástico (S_y) [MPa]	Tensión admisible (σ_{adm}) [MPa]	¿Admisible?
Vigas y planchas	142	345	207	Si
Pasador	66	710	426	Si

Fuente: Tensión máxima, análisis FEM

2.6.2. Desplazamiento (deformación)

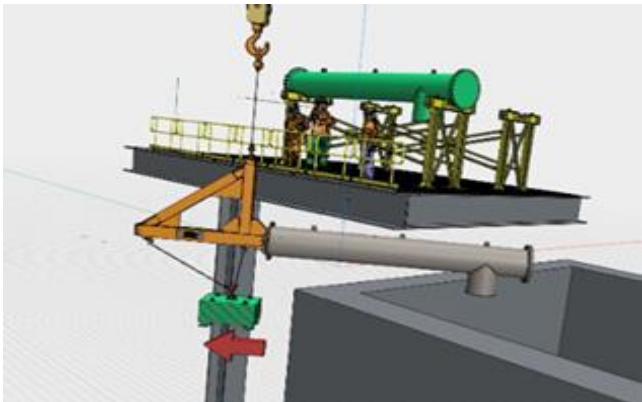
A través del criterio de deformación admisible determinado en requerimiento de diseño y el resultado obtenido de deformación en dirección de carga a izar ($\Delta_{DI}= 8.44$ [mm]), se puede determinar que el dispositivo de izaje tendrá deformaciones ubicadas en un rango admisible, cumpliéndose lo siguiente:

$$\Delta_{adm} = \frac{L}{500} = 11.6 \text{ [mm]}$$
$$\Delta_{DI} < \Delta_{adm}$$

2.7. EJECUCIÓN DEL PROYECTO

La ejecución del proyecto de diseño de un dispositivo de izaje para el ducto 35R en Minera Los Pelambres se realizará en la mantención programada de 48 horas en el mes de octubre del presente año, que comprende fases esenciales que permiten el éxito de la operación. En base a lo anterior, se considera la organización con carta Gantt de acuerdo con la planificación, en la cual se realiza una licitación del proyecto, concluyendo con un presupuesto y evaluación económica por parte de los oferentes. Luego, el diseño e ingeniería con planos, compra de materiales, producción, manufactura y posterior control de calidad, finalizando con las pruebas de funcionamiento, modificaciones y documentación. Esto garantiza que el dispositivo cumpla con los estándares de seguridad y eficacia para el montaje del ducto 35R (Figura 2-20).

El final del proyecto contemplará un análisis exhaustivo de todas las fases para maximizar tiempos y recursos en proyectos parecidos a futuro, y garantizar que se han logrado los objetivos de eficiencia y seguridad. Esto finaliza con la entrega de la memoria de cálculo del dispositivo de izaje a los trabajadores responsables de su manejo y operación, además de proporcionar un manual de operación y técnico que garantice su funcionamiento adecuado a largo plazo en el ducto 35R.



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-20. Maqueta 3D conjunto completo en terreno

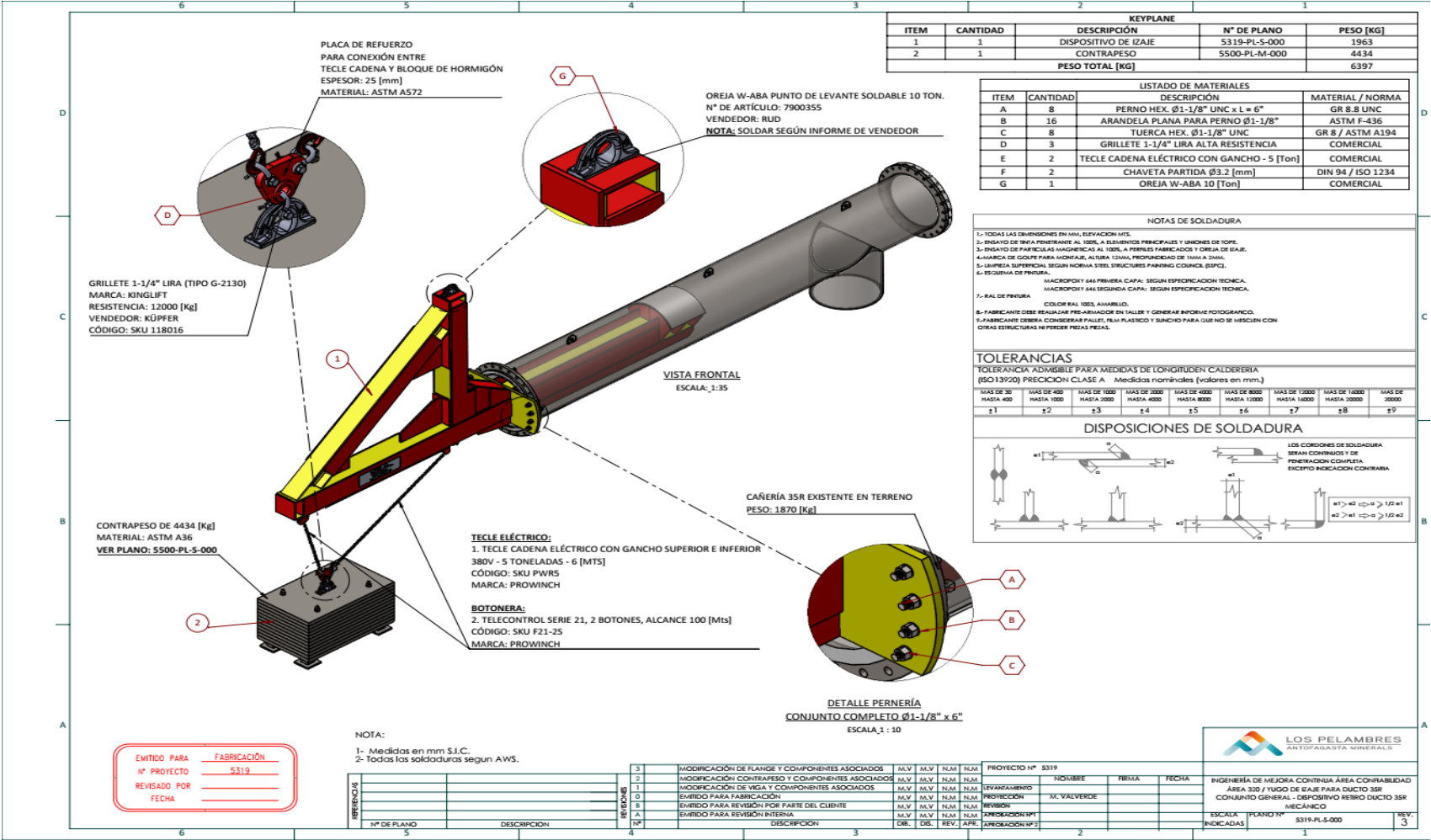
2.7.1. Planimetría dispositivo de izaje

El diseño de un dispositivo de izaje para el montaje y desmontaje del ducto 35R requiere una planimetría que contenga detalles esenciales tales como materiales, peso, especificaciones técnicas, listado de elementos comerciales y notas de soldadura para garantizar su adecuada producción, instalación y funcionamiento (Figura 2-21).

El diseño de elementos estructurales debe especificar las vigas, columnas y perfiles, los tipos de uniones como soldaduras, pernos y refuerzos extra, además de los planos de los puntos de sujeción y bases de apoyo para asegurar la estabilidad.

Para la protección, el sistema de control y seguridad debe incluir indicadores de carga, centro de masa y sistemas de regulación, además de especificaciones del teclé eléctrico y elementos de seguridad, junto con el diseño de paradas de emergencia y localizaciones de puntos de control. El esquema de montaje y desmontaje debe especificar la secuencia para el montaje y desmontaje del dispositivo, indicaciones concretas para la conexión y desconexión segura, así como la dirección del equipo en el lugar de ubicación. La documentación entregada en conjunto con la planimetría también debe contener un plan de mantenimiento preventivo y correctivo, especificando periodos de revisión, métodos de inspección de ensayos no destructivos (END) para la soldadura y modificaciones esenciales para garantizar el funcionamiento óptimo del dispositivo de izaje. Es crucial que se identifiquen los repuestos y componentes de sustitución, facilitando una pronta intervención en caso de deterioro o avería. Además, las directrices de almacenaje y transporte serán fundamentales para salvaguardar los elementos estructurales y mecánicos del dispositivo, particularmente en situaciones de desplazamiento a áreas mineras con suelos irregulares.

Finalmente, las especificaciones técnicas y notas de producción deben contener una tabla de materiales que detalla cada componente, requerimientos de soldadura, tolerancias y acabados superficiales, además de indicaciones para pruebas de carga, mantenimiento y sugerencias de funcionamiento. Estos esquemas garantizan que el dispositivo de izaje satisfaga las exigencias técnicas y de seguridad para el ducto 35R en Minera Los Pelambres.



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-21. Plano de conjunto dispositivo de izaje

2.7.2. Ejecución de preparación

El proceso de preparativos para la mantención y uso del dispositivo de izaje se realizó el miércoles 02 de octubre del 2024. De lo anterior, este proceso conlleva una serie de etapas esenciales para asegurar tanto la seguridad como la eficacia en el proceso de montaje y desmontaje del ducto 35R.

2.7.2.1. Análisis previo y planificación

Para el ajuste del ducto 35R, es crucial establecer su peso y medidas para elegir el dispositivo correcto, elegir grilletes y cadenas que se adecuen a las condiciones del lugar y comprobar el espacio disponible y la existencia de barreras que puedan obstaculizar la maniobra en la operación. Además, es crucial preparar el área de trabajo, garantizando que esté libre de obstáculos y bien segregado para prevenir la entrada de personal no autorizado. Previo al izaje, es necesario llevar a cabo revisiones minuciosas a los equipos, comprobando su condición y garantizando que posean certificaciones. Igualmente, es importante que la carga esté correctamente amarrada, repartiendo el peso de forma homogénea en los puntos de sujeción asignados para asegurar su estabilidad. Por último, es fundamental la coordinación del equipo y la comunicación continua entre los operadores para llevar a cabo la maniobra de manera segura y eficaz (Figura 2-22).



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-22. Repuesto ducto 35R y revisión del área

2.7.2.2. Preparación del área

Antes de iniciar la operación de izaje, es necesario efectuar una revisión detallada del equipo para detectar posibles deterioros o perjuicios y garantizar que se encuentre en óptimas condiciones. La carga debe ser correctamente sujeta, empleando cadenas apropiadas y puntos de sujeción certificados para repartir el peso de manera balanceada. Además, resulta crucial organizar al equipo, determinar funciones y definir protocolos de seguridad definidos, asegurando una comunicación continua durante todo el proceso para reaccionar de manera rápida ante cualquier inconveniente y asegurar una acción segura y eficiente.

2.7.2.3. Coordinación del personal y protocolos de seguridad

Es vital definir con exactitud los roles de cada miembro del equipo, examinar los protocolos de seguridad y realizar un ensayo previo para asegurar que todos comprendan sus obligaciones y el procedimiento que se realizará. Durante la ejecución del izaje, es esencial comenzar la maniobra de forma controlada, supervisando constantemente la estabilidad de la carga y haciendo modificaciones según sea necesario.

2.7.2.4. Ejecución del izaje y prueba de preparación

Al momento de iniciar el izaje de manera regulada, se monitorea constantemente la estabilidad de la carga y garantiza una comunicación continua entre el operador del dispositivo de izaje y el equipo de montaje (Figura 2-23).

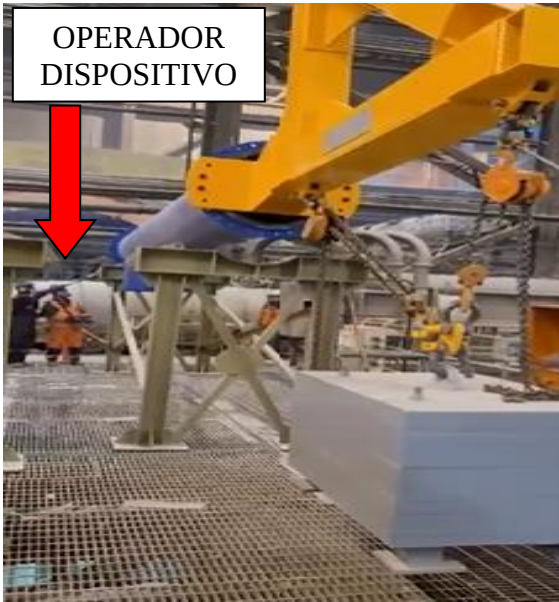
Al finalizar la maniobra, se realiza una inspección completa del montaje y desmontaje para asegurar que el ducto 35R esté correctamente posicionado y en condiciones seguras (Figura 2-24). Finalmente, se revisa el equipo de izaje para detectar posibles desgastes o daños y documenta todo el proceso, incluyendo cualquier ajuste o incidencia, con el fin de mejorar futuras operaciones y mantener un registro detallado de la actividad realizada, logrando alcanzar con éxito los objetivos antes mencionados (Figura 2-25).

Terminando con la documentación de cada etapa y cualquier suceso ofrece un fundamento para la organización de futuras operaciones de izaje, mejorando así la seguridad y la eficacia. Además, es crucial compartir los hallazgos con el equipo, fomentando un perfeccionamiento constante en los protocolos y procedimientos de izaje.



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-23. Pruebas de montaje dispositivo de izaje y ducto de repuesto 35R



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-24. Instalación de pernería entre dispositivo de izaje y ducto 35R



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-25. Prueba de resistencia y centro de masa del dispositivo de izaje exitoso

2.7.3 Ejecución final montaje y desmontaje ducto 35R

La ejecución del montaje y desmontaje del ducto 35R se realizó el domingo 13 de octubre del 2024 en el área de molienda en Minera Los Pelambres, en el cual se realizaron diferentes fases en el proceso previamente planificadas para garantizar la seguridad y eficiencia del procedimiento.

Para desmontar el ducto 35R, es necesario garantizar que este esté desconectado y desvinculado de la línea de ducto. El dispositivo de izaje se situará y se modificará de acuerdo con el diseño, garantizando que los puntos de anclaje sean sólidos y estén correctamente alineados. Mediante el uso del dispositivo de izaje, se realizará el levantamiento del ducto de sus soportes y su traslado gradual fuera de su posición inicial, previniendo movimientos bruscos que puedan perjudicar la estructura. Tras la extracción del ducto, se situará en una zona segura para su revisión, conservación o disposición (Figura 2-26).



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-26. Desmontaje ducto 35R

En el proceso de montaje, se evaluaron los planos y el diseño del dispositivo de izaje diseñado específicamente para el ducto 35R. Se realizó una revisión del área de molienda, específicamente en el SAG 03 y se confirmaron las condiciones de acceso donde se instalará el dispositivo de izaje. El equipo de mantención y operadores recibirá una introducción de seguridad previa donde se detallarán los peligros relacionados y se suministrarán equipos de protección personal (EPP) específicos para este trabajo. Además, tras la revisión y verificar modificaciones requeridas, se alistará el ducto para su instalación. Por último, se llevó a cabo el montaje del ducto con los sistemas de conexión, y se colocarán los pernos y sujeciones requeridos para asegurarlo en su lugar, realizando la maniobra con éxito (Figuras 2-27 y 2-28).



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-27. Montaje ducto de repuesto 35R



Fuente: Elaboración personal

Figura 2-28. Culminación montaje ducto de repuesto 35R

El proyecto del dispositivo de izaje para el montaje y desmontaje del ducto 35R en Minera Los Pelambres es **factible y viable** debido a la planificación y a la puesta en marcha de procedimientos de seguridad y control de calidad. Este proyecto ha sido concebido para maximizar la utilización de recursos y garantizar que las actividades de mantenimiento y gestión del ducto 35R se lleven a cabo de forma segura, reduciendo así las interrupciones en la producción y los posibles peligros para el equipo y el personal.

Para concluir, la inspección técnica y el mantenimiento correctivo previstos en el proyecto garantizan la solidez estructural del ducto 35R, reduciendo de esta manera el peligro de fallas futuras y extendiendo la durabilidad de este. Este método no sólo aumenta la seguridad en el funcionamiento, sino que también implica un ahorro a largo plazo en cuanto a mantenimiento y sustitución de equipos, elementos que fortalecen aún más la factibilidad del proyecto.

CAPÍTULO 3 EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DEL PROYECTO

3. EVALUACIÓN FINANCIERA Y ECONÓMICA

En el presente capítulo, se desarrollará el análisis económico y financiero del dispositivo de izaje diseñado específicamente para el montaje y desmontaje del ducto 35R, en Minera Los Pelambres, el cual representa un estudio completo que facilita la determinación de su factibilidad técnica y financiera. Este procedimiento comprende la detección y evaluación de los gastos vinculados al diseño, producción, funcionamiento y mantenimiento del dispositivo de izaje, en comparación con las ventajas que podría producir, como la disminución de los tiempos de funcionamiento, la mejora en la seguridad en el trabajo, el incremento en la eficacia operacional y la reducción de riesgos en la operación.

El propósito principal es determinar si la inversión necesaria para instalar el dispositivo es suficiente por los beneficios directos e indirectos que resultarían de su uso, además de los resultados beneficiosos que podría generar en la productividad y sostenibilidad de las actividades mineras. Este estudio tiene como objetivo proporcionar un fundamento sólido para la toma de decisiones estratégicas y asegurar que el proyecto sea económicamente rentable y financieramente sustentable en el marco de las actividades de la compañía AMSA.

3.1. ESTUDIO DE COSTO

Los estudios de costos, son estimaciones cuantitativas, las cuales ayudan a determinar la envergadura del proyecto, así como el dimensionamiento general que tendrá este, y se estudiarán los gastos asociados al proyecto, contabilizando todos los factores involucrados, y estará dirigido por la empresa mandante que será esta la que proporcionará alguno de los costos para la implementación del centro de mecanizado.

La evaluación de costos para el dispositivo de izaje, abarca el diseño y desarrollo, en el que se analizan los elementos estructurales, la elección de materiales y las pruebas del dispositivo. En componentes y materiales, se toman en cuenta la estructura principal, los mecanismos de aislamiento y los sistemas de seguridad. La producción incluye, los gastos de personal especializado y andamios. Finalmente, se toman en cuenta los gastos asociados al mantenimiento preventivo y la formación del personal. Cada fase debe ser examinada con exactitud para conseguir una evaluación completa, incluyendo un margen para situaciones inesperadas. El análisis económico nos permitirá calcular el costo asociado al funcionamiento del dispositivo de izaje, además de mostrar los costos administrativos que se deben considerar para la implementación de la maquinaria de izaje. También, en el estudio económico se mencionarán los requisitos legales que hay que cumplir y conocer para que el proyecto se ejecute.

Los costos en general, se pueden clasificar de distintas maneras, dependiendo de qué y cómo se quiera controlar. En el caso de nuestro proyecto, estos se clasifican de acuerdo con la fase o etapa en la cual se encuentren, pues su control es distinto, porque los productos o servicios se comportan distinto, así tenemos:

I. Fase de operación, los costos se dividen en:

- Costos variables: Costos relacionados con el volumen del producto.
- Costos fijos: Costos relacionados con la gestión del producto.

II. Fase de Pre-inversión e inversión, los cuales se dividen en:

- Costos directos: Relacionados con el producto.
- Costos indirectos: Ayudan en la creación del producto.

3.2. ESTUDIO DE COSTO SIN DISPOSITIVO DE IZAJE

Un análisis de costos sin el dispositivo de izaje, debe enfocarse en las opciones disponibles para llevar a cabo las operaciones requeridas, considerando factores como el personal de mantenimiento, equipos auxiliares, plazos de realización y riesgos relacionados.

La evaluación de costos sin el dispositivo de izaje, requiere identificar la utilización de mecanismos ya existentes, tales como grúas móviles, andamios o sistemas manuales, teniendo en cuenta factores como compra, traslado y disponibilidad. Además, podría ser requerido el involucramiento de personal extra o especializado, lo que eleva los gastos de trabajo y formación. Otro elemento crucial, es el potencial incremento en los periodos de funcionamiento, lo cual puede impactar en la productividad y producir gastos indirectos considerables.

Finalmente, se deben tener en cuenta los riesgos vinculados a eventuales daños, errores o incidentes, que podrían resultar en costos extra para la reparación, compensación o cese de actividades. Este método exige un estudio comparativo con la alternativa del dispositivo para establecer la solución más rentable y eficaz.

3.2.1. Personal designado para ejecución sin dispositivo de izaje

Sin un dispositivo de izaje, la ejecución demanda personal con habilidades manuales y la gestión de equipos auxiliares, asegurando tanto la seguridad como la eficacia del procedimiento. Esto abarca operadores de maquinaria, expertos técnicos, rigger, supervisores y personal de soporte logístico, ajustándose a las demandas particulares del proyecto.

Cada miembro del equipo debe poseer experiencia en su campo para reducir los riesgos y maximizar los tiempos. Los operadores de maquinaria tienen la responsabilidad de gestionar con exactitud grúas o tecles mecánicos, mientras que los técnicos especializados, se ocupan de modificar y situar los componentes. Los rigger garantizan la adecuada gestión de cargas, a través de señales y procedimientos apropiados, mientras que los supervisores inspeccionan el cumplimiento de las regulaciones de seguridad y las especificaciones técnicas.

El personal de apoyo logístico, respalda las operaciones asegurando la disponibilidad de herramientas, controlando el transporte y colaborando en actividades secundarias esenciales, para el éxito de la ejecución. La coordinación efectiva entre estos roles es fundamental para evitar retrasos, errores y accidentes durante las maniobras. A continuación, se presenta la cantidad de trabajadores y los sueldos correspondientes para cada función (Tabla 3-1). Valor UF \$37.914,20 correspondiente al 01/10/2024 (SII).

Tabla 3-1. Sueldo y cantidad de trabajadores (sin dispositivo)

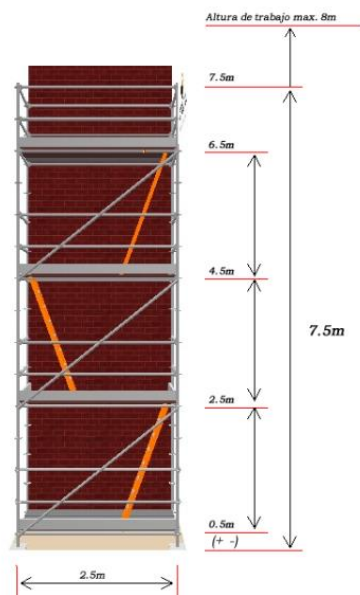
SUELDOS Y CANTIDAD DE TRABAJADORES (SIN DISPOSITIVO)							
Cargo	Cantidad	Sueldo Bruto (CLP)	Sueldo Bruto (UF)	Valor HH (CLP)	Valor HH (UF)	Sueldo Bruto Total (CLP)	Sueldo Bruto Total (UF)
SUPERVISOR	3	1.500.000	39,56	4.167	0,11	4.500.000	118,69
MECÁNICO	10	800.000	21,10	2.222	0,06	8.000.000	211,00
PREVENCIONISTA DE RIESGO	3	1.300.000	34,29	3.611	0,10	3.900.000	102,86
OPERADORES	3	900.000	23,74	2.500	0,07	2.700.000	71,21
ANDAMIEROS	20	800.000	21,10	2.222	0,06	8.000.000	211,00
ELÉCTRICOS	2	1.400.000	36,93	3.889	0,10	2.800.000	73,85
TOTAL	41	6.500.000	171,44	18.056	0,48	33.900.000	894,13

Fuente: Elaboración personal

3.2.2. Cuerpo de andamio

El cuerpo de andamio sin mecanismo de sujeción debe ser resistente, firme y seguro, fabricado con materiales con gran capacidad de carga. Debe tener bases regulables, plataformas antideslizantes y sistemas de seguridad contra caídas. Su diseño modular, facilita la adaptación a diferentes estructuras y alturas. Es imprescindible que su instalación sea efectuada por personal formado, con revisiones regulares para asegurar su seguridad y funcionalidad, pudiendo ser complementada con dispositivos auxiliares para simplificar el trabajo.

Adicionalmente, el andamio debe ser diseñado para resistir tanto el peso de los elementos manipulados, como las fuerzas producidas durante su tratamiento manual. Es fundamental que se empleen materiales certificados y que el diseño se adecue a las regulaciones de seguridad correspondientes. El andamio será proporcionado por la compañía Bostonmetals, que ofrece diversas alternativas de plataformas en su sitio web. De acuerdo con las necesidades del proyecto, se emplearán 02 unidades para la operación, este será de 3 cuerpos con una altura máxima de trabajo de 8 metros. (Figura 3-1).



Fuente: <https://www.bostonmetals.cl/andamio-certificado-fachada-m6-3-cuerpos/>

Figura 3-1. Andamio Certificado Fachada M6

En el transcurso de las operaciones, es esencial asegurar un monitoreo continuo de la operación, garantizando que las cargas estén balanceadas y que las operaciones se lleven a cabo de forma regulada. Esto se debe a que la altura estimada desde la base o piso -1 en el área de molienda bajo el molino SAG 03 hasta el ducto 35R es de alrededor de 15 a 20 metros (Figura 3-2).



Fuente: Elaboración personal

Figura 3-2. Imagen del área, distancia piso a ducto 35R

3.2.2.1. Tiempo de montaje de andamio

El cálculo para la construcción de un andamio, debe tener en cuenta la carga máxima que puede resistir, incluyendo el peso del andamio mismo, del personal, de las herramientas y los materiales, aplicando un factor de seguridad apropiado. Es crucial elegir materiales resistente, como el acero o el aluminio, y establecer dimensiones conforme a las regulaciones de seguridad, asegurando la estabilidad a través de amarres, contrapesos o bases regulables, especialmente en suelos irregulares o alturas considerables. Adicionalmente, la duración y el costo del armado se determinarán por los módulos necesarios, la fuerza laboral disponible y las herramientas requeridas para su adecuada instalación.

La correcta organización del armado, también comprende una valoración de los riesgos vinculados, como la exposición a condiciones meteorológicas desfavorables, que podrían impactar la estabilidad o la seguridad del andamio. Es vital llevar a cabo revisiones antes y durante el montaje, para detectar posibles fallas estructurales o de montaje. Una vez instalado, es necesario establecer protocolos de uso, limitando el acceso a personal debidamente formado y dotado con dispositivos de seguridad apropiados.

El tiempo del montaje de un andamio depende del tipo de andamio, su altura, las condiciones del terreno y la pericia del equipo encargado de su construcción. Los andamios prefabricados modulares, se arman con mayor rapidez que los convencionales, y el tiempo se incrementa con la altura y la cantidad de módulos. Las condiciones del suelo, también tienen un impacto, puesto que terrenos irregulares necesitan más adaptaciones. Además, un equipo con experiencia, puede disminuir el tiempo de formación, en cambio, uno con menos formación podría requerir más tiempo. En alturas que superan los 4 metros, labores extra como amarres o anclajes también prolongan el tiempo del procedimiento. A continuación, se efectúa el cálculo para la construcción del andamiaje utilizando los siguientes datos: (Técnicas de montaje y desmontaje de andamios, 2020).

- **Dimensiones del andamio:** 8 [m] de alto, 6 [m] de largo, 2 [m] de ancho.
- **Cantidad de andamios** = 2 unidades.
- **Equipo:** 4 andamieros por nivel.
- **Valor HH andamiero:** \$2.222
- **Tiempo por nivel:** 2 horas.
- **Base:** 2 horas.

$$a) \text{ Número de niveles} = \frac{\text{Altura total}}{\text{Altura por nivel}}$$

$$\text{Número de niveles} = \frac{8 \text{ [m]}}{2 \text{ [m]}}$$

$$\text{Número de niveles} = 4$$

$$b) \text{ Tiempo total de montaje} = \text{Base} + (\text{Niveles} \times \text{tiempo por nivel})$$

$$\text{Tiempo total de montaje} = 2 + (4 \times 2 \text{ horas})$$

$$\text{Tiempo total de montaje} = 10 \text{ horas}$$

$$c) \text{ Valor total de montaje} = \text{Tiempo total de montaje} \times \text{Valor HH}$$

$$\text{Valor total de montaje} = 10 \times (\$2.222 \times 4)$$

$$\text{Valor total de montaje} = \$88.880$$

$$d) \text{ Valor total} = \text{Valor total de montaje} \times \text{cantidad de andamios}$$

$$\text{Valor total} = \$88.880 \times 2$$

$$\text{Valor total} = \$177.760$$

3.2.2.2. Conclusión tiempo de montaje de andamio

Tras realizar los cálculos, se estableció que el tiempo total requerido para la instalación de un andamio de 4 niveles es de 10 horas, teniendo en cuenta una base de 2 horas y 2 horas extra por cada nivel. El costo total del montaje de un andamio se eleva a \$88.880, estimado con un costo por hora de mano de obra (Horas Hombre) de \$2,222 y con 4 andamieros asignados.

En última instancia, ya que la operación que demanda el montaje es de 2 andamios, el costo total del montaje diario asciende a \$177.760. Este valor facilita la planificación del presupuesto requerido para llevar a cabo esta tarea, garantizando una correcta distribución de recursos económicos y tiempo en el proyecto. Estos hallazgos indican que la planificación empleada en el cálculo de tiempos y costos garantiza un estudio minucioso y realista de los recursos requeridos para la tarea de montaje. La metodología empleada puede funcionar como fundamento para la organización de proyectos futuros parecidos, ofreciendo una orientación precisa para maximizar tanto el tiempo como los gastos relacionados.

Finalmente, el análisis de los costos permite tomar decisiones fundamentadas respecto a la distribución del presupuesto, posibilitando la identificación de potenciales áreas de mejora sin poner en riesgo la seguridad o la calidad del trabajo ejecutado.

3.2.3. Insumos de seguridad y ropa de trabajo

La tabla que se mostrará a continuación contiene elementos fundamentales como cascos, guantes, chalecos reflectantes, zapatos de seguridad y arnés, entre otros, que se emplearán en el mantenimiento de octubre del presente año. Esta tabla detallará las cantidades requeridas y su costo por unidad, basándose en el valor UF \$37.914,20 correspondiente al 01/10/2024 (SII). Además, se especificará el costo total por cada tipo de recurso, teniendo en cuenta su deterioro y sustitución debido a las condiciones del proyecto.

El propósito de este desglose es garantizar que el equipo para los trabajadores disponga de la seguridad necesaria para llevar a cabo las tareas asignadas de manera segura, respetando las normas establecidas y reduciendo los riesgos de accidentes en el trabajo. Este estudio facilitará una adecuada organización del presupuesto y asegurará la disponibilidad de los materiales durante todo el año. (Tabla 3-2).

Tabla 3-2. Insumos de seguridad y ropa de trabajo

Insumos de seguridad y ropa de trabajo					
Descripción	Cantidad	Valor Pesos (CLP)	Valor Unitario (UF)	Valor Pesos (CLP)	Valor Total (UF)
Botín de Seguridad Ederbrock	15	48.909	1,29	733.636	19,35
Extintor ABC	5	30.710	0,81	153.552	4,05
Casco Blanco/Azul/Verde MSA	10	4.171	0,11	41.705	1,10
Guante Cabritilla	100	1.896	0,05	189.570	5,00
Arnés de cuatro argollas	3	8.720	0,23	26.161	0,69
Cabo de sujeción con perlón	6	1.517	0,04	9.099	0,24
Chaleco Geólogo	10	5.308	0,14	53.080	1,40
Chaqueta Soft Shell	3	17.440	0,46	52.321	1,38
Polera Pique	20	3.791	0,10	75.828	2,00
Pantalón Jeans	20	4.929	0,13	98.576	2,60
Buzo Papel Tyvek	50	1.896	0,05	94.785	2,50
Anteojo protección	12	2.654	0,07	31.848	0,84
Protector Solar	12	1.137	0,03	13.649	0,36
Mascara para soldar Fotosensible	2	40.189	1,06	80.378	2,12
Chaqueta descarné soldador	5	36.018	0,95	180.092	4,75
Pantalón para soldador	5	25.402	0,67	127.012	3,35
Guante de soldador	10	4.550	0,12	45.497	1,20
Total insumos de seguridad y ropa de trabajo				2.006.788	52,93

Fuente: Elaboración personal según estudio de mercado

3.2.4. Funcionamiento ducto 35R

El ducto 35R, está diseñado para llevar un fluido cuyo tipo define los materiales, la ingeniería y el mantenimiento necesario para su operación. Este líquido se conoce como pulpas minerales, es una combinación de minerales sólidos, suspendidos en un líquido, ya sea agua o una disolución química. Las características físicas del líquido, tales como su viscosidad, densidad y temperatura, son elementos cruciales que influyen en la presión interna y el deterioro del ducto.

La presión y la velocidad del flujo, también tienen un rol crucial, puesto que establecen el esfuerzo al que se enfrentará el ducto, durante su funcionamiento. Por otro lado, es necesario tener en cuenta los peligros de sedimentación³ o obstrucción en el desplazamiento de fluidos con partículas sólidas, lo que podría incrementar la necesidad de mantenimiento preventivo.

El ducto 35R, debe ser fabricado para resistir las condiciones de presión provocadas por el movimiento del fluido, ya sea bombeado o por gravedad. La rapidez del fluido tiene un impacto directo en el nivel de desgaste interno, en particular si incluye partículas sólidas. Cuando se trata de fluidos calientes o corrosivos, se requiere el uso de materiales o revestimientos que soporten tanto el calor como la corrosión, tales como goma, cerámica o epóxicos. El ducto, al ser de material acero ASTM A36, necesita ser compatible con las características del fluido para asegurar su resistencia y durabilidad.

Los revestimientos internos son fundamentales para extender la durabilidad del ducto, en particular en el traslado de fluidos abrasivos o corrosivos. El uso de estos revestimientos debe ser exacto y ajustado a las condiciones de funcionamiento del ducto, dado que su eficacia se basa en elementos como la temperatura, la rapidez del fluido y su composición química.

Finalmente, se recomienda implementar planes de mantenimiento preventivo para verificar la condición del ducto y sus revestimientos, con el objetivo de identificar posibles deterioros o fallas que puedan poner en riesgo la integridad del sistema. Este método preventivo asegurará el funcionamiento seguro y eficaz del ducto durante toda su duración.

3.2.4.1. Transporte de pulpa mineral en ducto 35R

Las pulpas minerales, dado que son una combinación de sólidos y líquidos, suponen un reto extra en la gestión del flujo dentro del ducto 35R. La viscosidad y densidad del fluido definen su facilidad para fluir a través del sistema, lo que puede afectar

² Proceso de separación de partículas sólidas de un fluido, más densas que este, por la acción de la gravedad.

la energía necesaria para su bombeo y la potencial acumulación de sólidos en determinadas zonas del conducto.

Adicionalmente, la temperatura del fluido puede influir en la fluidez y la tendencia a la sedimentación de los sólidos, lo que demanda un seguimiento continuo para prevenir bloqueos o obstáculos en la línea de proceso.

El deterioro del ducto se intensifica cuando el fluido contiene partículas abrasivas, dado que estas pueden provocar erosión en las paredes internas del ducto, disminuyendo así su durabilidad. Para disminuir estos impactos, se deben aplicar soluciones como revestimientos especiales, tales como cerámica o polímeros reforzados, que resguarden las superficies del ducto.

3.2.5. Cálculo transporte de material ducto 35R

Para calcular la cantidad de fluido que circula por el ducto 35R en toneladas por hora [Ton/h], es necesario conocer algunos datos clave sobre el fluido y el sistema de transporte. Los factores más importantes para el cálculo son:

- a) Caudal volumétrico (Q): Esto se refiere al volumen de fluido que pasa por el ducto en una unidad de tiempo, generalmente expresado en metros cúbicos por hora (m^3/h).
- b) Densidad del fluido (ρ): La densidad del fluido es crucial, ya que determina el peso de cada metro cúbico de fluido. La densidad se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).
- c) Conversión de unidades: Para obtener el resultado en toneladas por hora, se realiza una conversión, considerando que 1 tonelada = 1.000 kg.

3.2.6. Aplicabilidad cálculo transporte de material ducto 35R

Es esencial calcular la cantidad de fluido en el ducto 35R para establecer la capacidad de transporte, la eficiencia en las operaciones y las exigencias de diseño para los sistemas de bombeo y los elementos del conducto.

El caudal volumétrico (Q) del fluido es un indicador crucial para establecer el volumen del material que fluye por el ducto durante un periodo específico. Esto es fundamental para dimensionar adecuadamente el ducto, calcular la potencia del sistema de bombeo y analizar la eficacia del transporte. La densidad del fluido afecta la transformación del flujo a toneladas por hora, lo que resulta crucial para calcular la masa trasladada, dimensionar equipos y asegurar la compatibilidad con el ducto. Además, el volumen del fluido influye en la eficacia del sistema de transporte, dado que un flujo alto

puede provocar pérdidas de carga más significativas y necesitar más energía. También es crucial el cálculo para dimensionar correctamente el ducto, elegir los sistemas de bombeo apropiados y definir protocolos de mantenimiento preventivo. Por último, es necesario tener en cuenta variables operacionales como la temperatura, viscosidad y composición del fluido, dado que pueden variar durante el funcionamiento, lo que demanda un estudio dinámico del flujo para ajustarse a las condiciones variables.

3.2.6.1. Cálculo de caudal volumétrico (Q)

Para calcular el caudal volumétrico se utiliza la siguiente fórmula: (Medición de presión y caudal, 2000):

$$Q = A \times v$$

Donde:

- A es el área de la sección transversal del ducto 35R en [m²].
- v es la velocidad media de fluido = 6 [m/s]. (Dato entregado por el departamento de Confiabilidad, Minera Los Pelambres).

a) Desarrollando en primera instancia el área de la sección transversal:

$$\begin{aligned} A &= \pi \times \text{radio}^2 \\ A &= \pi \times (381 \text{ [mm]})^2 \\ A &= \mathbf{456.023 \text{ [mm}^2\text{]}} \\ A &\approx \mathbf{0,455 \text{ [m}^2\text{]}} \end{aligned}$$

b) Desarrollando finalmente el caudal volumétrico (Q) con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} Q &= A \times v \\ Q &= 0,455 \text{ [m}^2\text{]} \times 6 \text{ [m/s]} \\ Q &= \mathbf{2,73 \text{ [m}^3\text{/s]}} \end{aligned}$$

3.2.6.2. Cálculo toneladas por hora ducto 35R

La fórmula básica para calcular la cantidad de fluido en toneladas por hora. Desarrollando finalmente la toneladas por hora del ducto 35R con la siguiente fórmula: (Medición de presión y caudal, 2000).

$$\text{Toneladas por hora} = Q \times \rho \times \frac{1}{1000}$$

Donde:

- Q es el caudal volumétrico = 2,73 [m³/s].
- ρ es la densidad del fluido = 2.800 [kg/m³]. (Dato entregado por el departamento de Confiabilidad, Minera Los Pelambres).
- El factor $\frac{1}{1000}$ convierte el resultado a toneladas.

$$\text{Toneladas por hora} = Q \times \rho \times \frac{1}{1000}$$

$$\text{Toneladas por hora} = 2,73 [m^3/h] \times 2.800 [kg/m^3] \times \frac{1}{1000}$$

$$\text{Toneladas por hora} = 7,644 [Ton/h]$$

El caudal másico transportado por el ducto 35R representa 7,644 toneladas por hora [Ton/h], lo que demuestra su elevada capacidad de operación. Este valor es vital para el diseño del dispositivo de izaje y evidenciar el rendimiento del proceso, asegurando un traslado eficaz del material. Además, aporta directamente al desempeño óptimo de la operación, garantizando que el flujo alcance las metas de producción sin causar inconvenientes operativos.

3.2.6.3. Pérdida económica por tonelada

El impacto financiero por tonelada se refiere al efecto económico que se deriva de una interrupción o reducción en la cantidad de material procesado o trasladado, expresado en términos de toneladas. Esta pérdida se determina dividiendo el volumen de material impactado por el valor de cada tonelada.

Basándonos en lo mencionado anteriormente, se lleva a cabo el cálculo utilizando la siguiente fórmula: (Medición de presión y caudal, 2000).

$$\text{Pérdida económica [Ton]} = \text{Toneladas por hora} \times \text{Precio por tonelada}$$

Desglose de la fórmula:

- a) Toneladas perdidas: Representa la cantidad de material que no fue procesado, transportado o vendido debido a interrupciones o ineficiencias en el sistema.
- b) Precio por tonelada: Es el valor económico de cada tonelada del material, dependiendo del tipo de producto (mineral, concentrado, etc.).

3.2.6.3.1. Desarrollo pérdida económica por tonelada ducto 35R

El estudio de la pérdida económica por tonelada, posibilita medir el efecto financiero de una interrupción o falla del ducto. Cuantificar estas pérdidas no sólo facilita la evaluación del impacto económico, sino que también guía la toma de decisiones respecto al mantenimiento, la inversión en tecnología y la optimización de la eficiencia operativa, con la finalidad de reducir interrupciones y asegurar la continuidad del negocio.

A continuación se presentan los datos correspondiente para desarrollar la fórmula: (Medición de presión y caudal, 2000).

Donde:

- Tonelada por hora = 7,644 [Ton/h].
- Precio por tonelada = 8.495 USD (Dato entregado por el departamento de Confiabilidad, Minera Los Pelambres).

$$\text{Pérdida económica} = \text{Toneladas por hora} \times \text{Precio por tonelada}$$

$$\text{Pérdida económica} = 7,644 \text{ [Ton/h]} \times 8.495 \text{ [USD]}$$

$$\text{Pérdida económica} = 64.935 \text{ USD/[Ton/h]}$$

El resultado de una pérdida económica, de 64.935 USD, refleja el impacto financiero significativo de una interrupción operativa. Este valor subraya la importancia de implementar estrategias preventivas y correctivas, para minimizar tiempos de inactividad y optimizar los procesos productivos, ya que incluso breves interrupciones pueden traducirse en pérdidas sustanciales para la operación. Además, este cálculo evidencia la necesidad de monitorear continuamente el rendimiento de los sistemas y equipos para identificar posibles fallos antes de que ocurran. La implementación de tecnologías de automatización, mantenimiento predictivo y análisis de datos puede ser clave para reducir riesgos operativos y, por ende, evitar pérdidas económicas de esta magnitud.

3.2.7. Tiempo operativo sin dispositivo de izaje

Sin un dispositivo de izaje, el tiempo operativo se aumenta, ya que las operaciones se llevan a cabo con herramientas menos eficaces, lo que extiende la preparación y ejecución. Los procedimientos son más pausados y menos seguros, aumentando las interrupciones para modificaciones y comprobaciones, además de los descansos requeridos para evaluar y minimizar riesgos. Esto no sólo impacta en la duración total de la operación, sino que también puede aumentar los costos de operación y el riesgo de fallas.

3.2.7.1. Cálculo tiempo operativo sin dispositivo de izaje

La fórmula que se presentará a continuación permite calcular el tiempo operativo total considerando tanto actividades programadas como imprevistos. (Cálculo de tiempos estándar, 2022)

$$\mathbf{T_{operativo} = T_{preparación} + T_{operación} + T_{mantenimiento} + T_{ajustes}}$$

Donde:

- Tiempo de preparación: Incluye las actividades previas a la operación, como la preparación del sitio, el acondicionamiento de herramientas y equipos, la evaluación de seguridad y la planificación del trabajo.

- Tiempo de operación manual: Es el tiempo dedicado a las tareas de izaje manual, como el levantamiento, desplazamiento y colocación de la carga utilizando equipos manuales o equipos de izaje de baja capacidad.
- Tiempo de mantenimiento correctivo: Es el tiempo dedicado a solucionar problemas inesperados que surjan durante las operaciones, como fallas en el equipo de izaje manual, daños en las herramientas o fallas mecánicas de los equipos auxiliares.
- Tiempo de ajustes adicionales: Son los tiempos adicionales requeridos para realizar ajustes menores en el proceso o en las herramientas, como cambiar la configuración, afinar el alineamiento de las cargas o corregir problemas menores en la operación.

$$T_{operativo} = T_{preparación} + T_{operación} + T_{mantenimiento} + T_{ajustes}$$

$$T_{operativo} = 4 \text{ Horas} + 12 \text{ Horas} + 12 \text{ Horas} + 6 \text{ Horas}$$

$$T_{operativo} = 34 \text{ Horas}$$

Esto indica que el tiempo total requerido para finalizar las operaciones sin un dispositivo de izaje sería de mínimo 34 horas de ejecución, lo que evidencia un alto tiempo operativo debido a la complejidad y las ineficiencias propias del procedimiento manual.

3.2.8. Resumen de costos sin dispositivo de izaje

La implementación de tecnologías de automatización, mantenimiento predictivo y análisis de datos, puede ser clave para reducir riesgos operativos y, por ende, evitar pérdidas económicas de esta magnitud. Por último, este tipo de análisis, permite tomar decisiones más informadas para priorizar inversiones en infraestructura y asegurar la sostenibilidad financiera de las operaciones. A continuación se presentará la tabla de los costos involucrados en la mantencion sin dispositivo de izaje (Tabla 3-3). Valor UF \$37.914,20 correspondiente al 01/10/2024 (SII).

Tabla 3-3. Resumen de costos sin dispositivo de izaje

RESUMEN DE COSTOS Mantención octubre 2024 (Sin dispositivo de izaje)		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR MANTENCIÓN (UF)
1	SUELDOS TRABAJADORES	171,44
2	ANDAMIO CERTIFICADOS (02 UNIDADES)	8,86
3	INSUMOS DE SEGURIDAD Y ROPA DE TRABAJO	52,93
4	PÉRDIDA ECÓMICA TONELADAS/HORA DUCTO 35R	82,21
TOTAL COSTOS SIN DISPOSITIVO (UF)		315,44
TOTAL VALOR SIN DISPOSITIVO (CLP)		11.959.592

Fuente: Elaboración personal

3.2.9. Conclusiones de costos sin dispositivo de izaje

La falta de un dispositivo de izaje adecuado, representa un gasto significativo para la operación, tanto en términos económicos como de tiempo. Implementar este equipo no sólo optimizaría los tiempos de mantenimiento, sino que también reduciría riesgos operativos y financieros, asegurando una mayor continuidad en las actividades y mejorando la rentabilidad general del proyecto, incluso considerando las mantenciones programadas en el año cada 3, 6 y 12 meses. La implementación de un dispositivo de izaje podría disminuir los tiempos de mantenimiento y las pérdidas, convirtiendo el proceso en más eficaz y económico a medio plazo. Adicionalmente, disminuir los periodos de mantención no sólo tendría un efecto positivo en los costos, sino también en la productividad de las operaciones, al reducir las interrupciones de la planta.

Por lo tanto, es recomendable realizar un análisis costo-beneficio detallado para evaluar la inversión en un dispositivo de izaje, considerando el ahorro potencial en pérdidas económicas y la mejora en la eficiencia del mantenimiento a largo plazo.

3.3. ESTUDIO DE COSTO CON DISPOSITIVO DE IZAJE

El propósito de este estudio, es analizar los gastos vinculados a la mantención y posterior montaje del ducto 35R, mediante el uso de un dispositivo de izaje. Este método tiene como objetivo cuantificar el efecto económico y operativo, que podría producir la aplicación de esta herramienta en contraste con los procedimientos convencionales.

El dispositivo de izaje facilitaría la optimización de los tiempos de mantención, disminuir las pérdidas financieras relacionadas con la interrupción en el proceso del ducto 35R y aumentar la protección de los empleados al reducir los riesgos vinculados a labores manuales o con máquinas menos especializada. Este estudio busca proporcionar una perspectiva completa que simplifique la toma de decisiones en relación con la implementación de tecnología para incrementar la eficiencia y la sostenibilidad de las operaciones en Minera Los Pelambres.

3.3.1. Personal designado para ejecución con dispositivo de izaje

El equipo necesario para el mantenimiento del ducto 35R con dispositivo de izaje comprende un supervisor de mantenimiento para coordinar las tareas, operador formado para operar el dispositivo de izaje, técnicos responsables de las labores específicas de mantenimiento referido a conexión entre elementos y un equipo de seguridad para asegurar el cumplimiento de las normativas. Cada equipo debe estar correctamente acreditado y formado, dando prioridad a la seguridad y eficacia en la implementación. Es fundamental que se lleven a cabo reuniones de coordinación antes de comenzar las operaciones para asignarse roles y evaluar los procedimientos a implementar. (Tabla 3-4).

La implementación del dispositivo de izaje no sólo demanda personal capacitado, sino también un seguimiento continuo durante su funcionamiento para prevenir fallos o incidentes. Una adecuada organización y realización, facilitará la optimización de tiempos, la disminución de gastos y la reducción de riesgos vinculados al mantenimiento del ducto 35R, incrementando la eficacia y la seguridad de las operaciones. Valor UF \$37.914,20 correspondiente al 01/10/2024 (SII).

Tabla 3-4. Sueldo y cantidad de trabajadores (con dispositivo de izaje)

Sueldos y cantidad de trabajadores Mantención octubre 2024 (Con dispositivo de izaje) VALOR UF: \$37.914 CORRESPONDIENTE AL 01-01-2024							
Cargo	Cantidad	Sueldo Bruto (CLP)	Sueldo Bruto (UF)	Valor HH (CLP)	Valor HH (UF)	Sueldo Bruto Total (CLP)	Sueldo Bruto Total (UF)
SUPERVISOR	1	1.500.000	39,56	4.167	0,11	1.500.000	39,56
MECÁNICO	2	800.000	21,10	2.222	0,06	1.600.000	42,20
PREVENCIONISTA DE RIESGO	1	1.300.000	34,29	3.611	0,10	1.300.000	34,29
OPERADORES	1	900.000	23,74	2.500	0,07	900.000	23,74
TOTAL	5	4.500.000	118,69	12.500	0,33	5.300.000	139,79

Fuente: Elaboración personal según estudio de mercado

3.3.2. Insumos de seguridad y ropa de trabajo

Los equipos de protección personal y ropa de trabajo para la gestión del ducto 35R con dispositivo de izaje son esenciales para proteger al equipo de mantención. Estos abarcan cascos, guantes anti impactos, botín de seguridad, arneses, lentes de seguridad, protección auditiva, entre otros. Su correcta utilización asegura la protección de los trabajadores, reduce riesgos y favorece la eficacia de las operaciones, garantizando un ambiente laboral seguro durante la realización de la mantención (Tabla 3-5).

Además, es fundamental que todos los equipos de seguridad sean inspeccionados de manera regular para garantizar su estado óptimo y su cumplimiento con las normativas actuales, y es igual de importante la formación constante del personal en la utilización adecuada de estos componentes para potenciar su eficacia. Un entorno de trabajo seguro, respaldado por los materiales apropiados, no sólo disminuye la posibilidad de accidentes, sino que también potencia el desempeño global de la operación, facilitando que las actividades se lleven a cabo de forma más eficaz y con menos probabilidades de demoras o interrupciones a causa de incidentes.

Tabla 3-5. Insumos de seguridad y ropa de trabajo.

Insumos de seguridad y ropa de trabajo					
Descripción	Cantidad	Valor Pesos (CLP)	Valor Unitario (UF)	Valor Pesos (CLP)	Valor Total (UF)
Botín de Seguridad Ederbrock	15	\$48.909	1,29	\$733.636	19,35
Extintor ABC	5	\$30.710	0,81	\$153.552	4,05
Casco Blanco/Azul/Verde MSA	10	\$4.171	0,11	\$41.705	1,10
Guante Cabritilla	100	\$1.896	0,05	\$189.570	5,00
Arnés de cuatro argollas	3	\$8.720	0,23	\$26.161	0,69
Cabo de sujeción con perlón	6	\$1.517	0,04	\$9.099	0,24
Chaleco Geólogo	10	\$5.308	0,14	\$53.080	1,40
Polera Pique Manga Larga	20	\$3.791	0,1	\$75.828	2,00
Pantalón Jeans	20	\$4.929	0,13	\$98.576	2,60
Buzo Papel Tyvek	50	\$1.896	0,05	\$94.785	2,50
Anteojo protección	12	\$2.654	0,07	\$31.848	0,84
Protector Solar	12	\$1.137	0,03	\$13.649	0,36
Total mantención en insumos de seguridad y ropa de trabajo				\$1.521.489	40,13

Fuente: Elaboración personal según estudio de mercado

3.3.2. Insumos de materia prima

Como insumos para la fabricación del dispositivo de izaje se utilizarán principalmente elementos de acero tales como, planchas de acero y suministros laminados y trefilados de distintas propiedades mecánicas. Para el caso de estudio con dispositivo de izaje, usaremos un valor estándar por kilo de acero correspondiente a los elementos que se mencionan a continuación. La materia prima que se contemplará será en base a los requerimientos que son emitidos por parte de los cliente al momento de la validación del dispositivo de izaje. A continuación, en la siguiente tabla se muestran los valores para las planchas de acero ASTM A36 y barras trefiladas de material SAE 1020 y SAE 1045, aceros muy usados comercialmente para la realización de diferentes piezas mecánicas. Valor UF \$37.914,20 correspondiente al 01/10/2024 (SII). (Tabla 3-6).

Tabla 3-6. Valor insumos materia prima.

Valor insumos materia prima		
Materia prima	Valor por [Kg.]	Valor Unitario [UF]
Plancha ACERO ASTM 36A	\$8.000	4,74
Trefilado SAE 1020	\$4.400	8,62
Trefilado SAE 1045	\$2.900	13,07

Fuente: Elaboración personal según estudio de mercado

3.3.3. Fabricación dispositivo de izaje

La fabricación del dispositivo de izaje para el ducto 35R necesita un procedimiento detallado que garantice su seguridad y eficacia. Esto comienza con el diseño orientado a requerimientos concretos del cliente MLP, las estimaciones estructurales y el modelado en el software de ingeniería SolidWorks. La selección de materiales debe tener en cuenta su resistencia y longitud en situaciones difíciles. Luego, se producen diseños para ensayos de carga y comprobación del dispositivo. Durante el proceso de producción, se utilizarán métodos como corte, mecanizado, soldadura y tratamiento superficial para asegurar calidad y resistencia a la corrosión. Las inspecciones estrictas y las certificaciones garantizan el cumplimiento de las regulaciones de izaje.

Es fundamental que el dispositivo de izaje esté diseñado para resistir las condiciones específicas del área de operación, tales como vibraciones, variaciones de temperatura y posibles elementos corrosivos que se encuentran en el trabajo de minería. Además, debe tener la suficiente adaptabilidad para facilitar el montaje y desmontaje del ducto 35R, reduciendo los tiempos de funcionamiento y asegurando la protección de los empleados implicados. La incorporación de tecnologías modernas, como sensores de carga y control a distancia, puede aportar valor al dispositivo al ofrecer información en tiempo real acerca de su rendimiento y posibles fallas. Este método proactivo posibilita prever problemas, disminuyendo los riesgos y gastos relacionados con reparaciones imprevistas.

3.3.3.1. Cotización fabricación dispositivo de izaje

El costo para la producción de un dispositivo de izaje abarca los gastos de materiales, trabajadores, utilización de máquinas, certificaciones y normativas, además de logística y traslado. Los materiales abarcan aceros estructurales, elementos comerciales y componentes de soldadura, mientras que las horas extras (HH) utilizadas abarcan la producción, ensayos de tintas penetrantes e inspecciones de calidad. Además, se toman en cuenta los gastos relacionados con certificaciones conforme a normas internacionales y la documentación requerida. Según la cotización que se presentará a continuación, tiene un costo total estimado se sitúa en 3.444 USD (Figura 3-3). Valor UF \$37.914,20 correspondiente al 01/10/2024 (SII).

COTIZACIÓN

N° de Serie05375-CC

Fecha: 25-06-2024

Versión 01

CLIENTE

MLP

Razón Social: MINERA LOS PELAMBRES

Giro: EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE COBRE

RUT: 96790240-3

Teléfono: -

Dirección: Av. Apoquindo 4001, 1802, Las Condes, Santiago

PROVEEDOR

MAD S.A.

Razón Social: COMERCIALIZADORA MAD S.A.

Giro: REPARACIÓN DE OTRO TIPO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS INDUSTRIALES N.C.P

Dirección: Potrero El Peuco, Lote 2, Quillota

Título: FABRICACION CJTO RETIRO DUCTO 35R

Alcance: Valores elementos comerciales: Teclé eléctrico \$3.525.203 c/u / Grillete 1 1/4" \$45.504 c/u / Telecontrol \$345.731 c/u / Oreja RUD \$205.057 c/u

N° Descripción	Cantidad	HH unitaria	Precio	Sub total
1 ATRIL PARA DUCTO 35R PLANO N° 5431-PL-S-000	1,00	N/A	11.485.500,00	11.485.500,00
2 DISPOSITIVO RETIRO DUCTO 35R PLANO N° 5319-PL-S-000	1,00	N/A	25.519.000,00	25.519.000,00
3 CONTRAPESO DISPOSITIVO DE IZAJE DUCTO 35R PLANO N° 5500-PL-M-000	1,00	N/A	64.922.000,00	64.922.000,00
4 ELEMENTOS COMERCIALES PLANO N° 5319-PL-S-000 Contempla: 2 teclés eléctricos / 1 oreja RUD / 3 grilletes / 2 telecontrol teclé	1,00	N/A	7.789.707,00	7.789.707,00
Total Neto			109.716.207,00	
IVA(19.00%)			20.846.079,33	
Total Bruto			130.562.286,33	

Fuente: Área de operaciones, empresa MAD.

Figura 3-3. Cotización dispositivo de izaje para fabricación.

3.3.4. Cálculo tiempo operativo con dispositivo de izaje

El cálculo del tiempo operativo con un dispositivo de izaje puede ser significativamente reducido gracias a la automatización y eficacia que proporciona el dispositivo. A continuación se presenta la fórmula de tiempo operativo: (Cálculo de tiempos estándar, 2022)

$$\mathbf{T_{operativo} = T_{preparación} + T_{operación} + T_{mantenimiento} + T_{ajustes}}$$

Donde:

- Tiempo de preparación: Incluye las actividades previas a la operación, como la preparación del sitio, el acondicionamiento de herramientas y equipos, la evaluación de seguridad y la planificación del trabajo.
- Tiempo de operación manual: Es el tiempo dedicado a las tareas de izaje manual, como el levantamiento, desplazamiento y colocación de la carga utilizando equipos manuales o equipos de izaje de baja capacidad.
- Tiempo de mantenimiento correctivo: Es el tiempo dedicado a solucionar problemas inesperados que surjan durante las operaciones, como fallas en el equipo de izaje manual, daños en las herramientas o fallas mecánicas de los equipos auxiliares.
- Tiempo de ajustes adicionales: Son los tiempos adicionales requeridos para realizar ajustes menores en el proceso o en las herramientas, como cambiar la configuración, afinar el alineamiento de las cargas o corregir problemas menores en la operación.

$$\mathbf{T_{operativo} = T_{preparación} + T_{operación} + T_{mantenimiento} + T_{ajustes}}$$

$$\mathbf{T_{operativo} = 4 \text{ Horas} + 2 \text{ Horas} + 2 \text{ Horas} + 2 \text{ Horas}}$$

$$\mathbf{T_{operativo} = 10 \text{ Horas}}$$

Esto certifica que el tiempo total de funcionamiento con el dispositivo de izaje sería de 10 horas, lo que ratifica un avance considerable en comparación con las 34 horas sin dispositivo de izaje. Esta reducción de tiempo no sólo mejora la eficiencia operativa, sino que también optimiza los recursos humanos y reduce el riesgo de accidentes laborales.

Además, el uso de un dispositivo de izaje adecuado contribuye a una gestión más eficiente de los tiempos, permitiendo que otras tareas puedan llevarse a cabo de manera simultánea o en menor tiempo. Esto tiene un impacto positivo en los costos operativos, ya que se reducen las horas de trabajo y se mejora la productividad general.

3.3.5. Resumen de costos con dispositivo de izaje

La utilización de un dispositivo de izaje disminuye considerablemente el tiempo de operación, lo que mejora la utilización de recursos y disminuye los gastos de trabajo. Adicionalmente, reduce los peligros de accidentes y los gastos relacionados, incrementando la seguridad. Pese a que la inversión inicial es considerable, los ahorros en tiempo y trabajo, sumados a una mayor eficiencia y exactitud, respaldan el gasto a largo plazo. Por lo general, el dispositivo incrementa la rentabilidad y la calidad de las operaciones, lo que convierte la inversión en una inversión rentable y ventajosa para las operaciones a largo plazo. (Tabla 3-7). Valor UF \$37.914,20 correspondiente al 01/10/2024 (SII).

Tabla 3-7. Resumen de costos con dispositivo de izaje

RESUMEN DE COSTOS Mantención octubre 2024 (Sin dispositivo de izaje)		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR MANTENCIÓN 48 Hrs (UF)
1	SUELDOS TRABAJADORES	118,69
2	INSUMOS DE SEGURIDAD Y ROPA DE TRABAJO	40,13
3	FABRICACIÓN DISPOSITIVO DE IZAJE	3444
4	PÉRDIDA ECÓMICA TONELADAS/HORA DUCTO 35R	17,13
TOTAL COSTOS SIN DISPOSITIVO (UF)		3619,95
TOTAL COSTOS SIN DISPOSITIVO (CLP)		137.246.655

Fuente: Elaboración personal según estudio de mercado

3.3.6. Conclusiones de costos con dispositivo de izaje

La implementación de un dispositivo de izaje disminuye considerablemente el tiempo de funcionamiento, pasando de 34 a 10 horas en comparación con la operación sin dispositivo de izaje, lo que mejora la utilización de recursos humanos y materiales en la operación del proyecto.

3.4. CÁLCULO DEL VAN DISPOSITIVO DE IZAJE

El análisis financiero es esencial para determinar el Valor Actual Neto (VAN) de un dispositivo de izaje, es la evaluación de la factibilidad económica de invertir en estos dispositivos. Este indicador contrasta el valor actual de los ingresos producidos por el equipo, como la reducción de costos y el aumento de la productividad, con los gastos relacionados, que incluyen la inversión inicial, los gastos operativos y de mantenimiento. El proceso implica estimar los flujos de efectivo, determinar una tasa de descuento que refleje el costo de oportunidad y calcular el valor presente de los flujos proyectados. Si el VAN es positivo, la inversión es rentable, si es negativo, no es viable.

Este análisis garantiza decisiones financieras fundamentadas, maximizando el valor de los recursos invertidos. Además de ser un instrumento para medir la rentabilidad, el cálculo del VAN facilita la identificación de riesgos y oportunidades relacionados con la inversión en aparatos de izaje. Un estudio minucioso del VAN puede contribuir a maximizar recursos, al dar prioridad a proyectos que pueden aportar valor a la empresa y definir planificaciones para minimizar posibles errores en la operación.

3.4.1. Desarrollo y análisis del VAN

Un VAN positivo indica viabilidad financiera, mientras que un VAN negativo sugiere pérdidas. Además del resultado numérico, se analizan aspectos como mayor rapidez en los cambios en flujos proyectados o la tasa de descuento, utilizando simulaciones y escenarios. Este enfoque, no sólo ayuda a decidir sobre la inversión, sino que también, permite comparar alternativas y maximizar los recursos.

Con respecto al cálculo del VAN en este proyecto, se enfocará con la producción en toneladas por hora, el cual facilita la evaluación de la rentabilidad del proyecto teniendo en cuenta los ingresos, gastos y flujos previstos en un periodo de 10 años. En esta situación, se considera la producción diaria del ducto 35R, resultante de las toneladas procesadas por hora y las horas de operación, contrastando estos valores con los costos, incluyendo los relacionados con la seguridad en el trabajo. Además de proteger a los trabajadores, la seguridad en el trabajo tiene impacto en los costos de operación y la eficiencia, al reducir interrupciones y peligros. Por último, al respecto a la necesidad de una inversión inicial, potencia la viabilidad del proyecto al incrementar la productividad y disminuir las pérdidas debido a accidentes o períodos de inactividad y así, el VAN refleja no sólo la viabilidad financiera, sino también el impacto positivo de las medidas de seguridad en la operación (Tabla 3-8).

Tabla 3-8. Desarrollo y análisis del VAN

FLUJO DE CAJA		USO DISPOSITIVO DE IZAJE - MINERA LOS PELAMBRES									
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
+ Ingresos x HH	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000
- Costos directos	\$ -130.575.816	\$ -	\$ -	\$ -130.575.816	\$ -	\$ -	\$ -130.575.816			\$ -130.575.816	\$ -
= Utilidad bruta	\$ 184.424.184	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 184.424.184	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 184.424.184	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 184.424.184	\$ 315.000.000
- Costos operación	\$ -130.575.816	\$ -	\$ -	\$ -130.575.816	\$ -	\$ -	\$ -130.575.816		\$ -	\$ -130.575.816	
= Utilidad operacional	\$ -130.575.816	\$ -	\$ 315.000.000	\$ 53.848.368	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 53.848.368	\$ 315.000.000	\$ 315.000.000	\$ 53.848.368	\$ 315.000.000
- Intereses LP	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Intereses CP	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Depreciaciones	\$ -	\$ -10.446.065	\$ -10.446.065	\$ -10.446.065	\$ -10.446.065	\$ -10.446.065	\$ -10.446.065	\$ -10.446.065	\$ -10.446.065	\$ -10.446.065	\$ -10.446.065
- valor libro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 87.050.544	\$ -	\$ -	\$ 87.050.544	\$ -	\$ -	\$ 87.050.544	\$ -
- Pérdidas ejercicio anterior	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
= Utilidad Antes de Impto	\$ -	\$ -10.446.065	\$ 304.553.935	\$ 130.452.847	\$ 304.553.935	\$ 304.553.935	\$ 130.452.847	\$ 304.553.935	\$ 304.553.935	\$ 130.452.847	\$ 304.553.935
- Impto 27%	\$ -	\$ -2.820.438	\$ -82.229.562	\$ -35.222.269	\$ -82.229.562	\$ -82.229.562	\$ -35.222.269	\$ -82.229.562	\$ -82.229.562	\$ -35.222.269	\$ -82.229.562
= Utilidad Desp Impto	\$ -	\$ -13.266.503	\$ 222.324.372	\$ 95.230.578	\$ 222.324.372	\$ 222.324.372	\$ 95.230.578	\$ 222.324.372	\$ 222.324.372	\$ 95.230.578	\$ 222.324.372
+ Depreciaciones	\$ -	\$ 10.446.065	\$ 10.446.065	\$ 10.446.065	\$ 10.446.065	\$ 10.446.065	\$ 10.446.065	\$ 10.446.065	\$ 10.446.065	\$ 10.446.065	\$ 10.446.065
- Amortización LP	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Amortización CP	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
+ Devolucion capital de trabajo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Inversiones	\$ -136.597.317	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
= Total Anual	\$ -136.597.317	\$ -2.820.438	\$ 232.770.438	\$ 105.676.643	\$ 232.770.438	\$ 232.770.438	\$ 105.676.643	\$ 232.770.438	\$ 232.770.438	\$ 105.676.643	\$ 232.770.438
+ Préstamo LP	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
+ Préstamo CP	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
= Flujo Neto de Caja	\$ -136.597.317	\$ -	\$ 232.770.438	\$ 105.676.643	\$ 232.770.438	\$ 232.770.438	\$ 105.676.643	\$ 232.770.438	\$ 232.770.438	\$ 105.676.643	\$ 232.770.438
Flujo de caja actualizado	\$ -136.597.317	\$ -	\$ 176.007.892	\$ 69.484.108	\$ 133.087.253	\$ 115.728.046	\$ 45.686.929	\$ 87.507.029	\$ 76.093.069	\$ 30.039.898	\$ 57.537.292
Flujo de caja Acumulado	\$ -136.597.317	\$ -136.597.317	\$ 39.410.575	\$ 108.894.683	\$ 241.981.936	\$ 357.709.983	\$ 403.396.912	\$ 490.903.941	\$ 566.997.010	\$ 597.036.908	\$ 654.574.200

VAN	\$ 357.709.983
TIR	74%
PRI	2DO AÑO

UF 01-10-2024	\$37.914
Datos	
Costos directos (dispositivo)	\$ -130.575.816
costos de operación	\$ -137.210.766
tasa de crec.ventas	7%
tasa de crec.costos	10%
tasa de crec.costos ope.	3%
Tasa de descuento	15%
Tasa impuesto a la renta	27%
Inversiones	
Sueldo de trabajadores	\$ 4.500.013
Insumos de seguridad / EPP	\$ 1.521.489
Fabricación de dispositivo	\$ 130.575.816
total de inversiones	\$ 136.597.317
UF a utilizar	\$ 37.914

valor de salvamento dispositivo	20%
\$ 26.115.163	
\$ 104.460.653	
\$ 10.446.065	

Tabla de depreciación														VALOR LIBRO
Item	Valor total (UF)	Nueva vida útil	Depreciación acelerada (SII)	Periodo (UF)										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Dispositivo de izaje	3444,00	3	5	1148,00	1148,00	1148,00	1148,00	1148,00	1148,00	1148,00	1148,00	1148,00	1148,00	2296,00

Fuente: Elaboración personal

3.4.1.1. Conclusión VAN del dispositivo de izaje

La evaluación económica de la implementación del dispositivo de izaje en Minera Los Pelambres revela que el proyecto es sumamente beneficioso. Con un VAN de \$357.709.983, una tasa interna de retorno del 74% (superior a la tasa de descuento del 15%) y un periodo de recuperación en el segundo año, la inversión produce un rápido retorno, independiente que la reinversión del dispositivo de izaje es cada tres años, por lo que los flujos tienen tendencia a ser positivo. En base a lo anterior, la inversión es factible y proporciona significativas ventajas económicas y operativas.

Estos resultados demuestran que la compra del equipo de izaje, no sólo mejora los procesos operativos reduciendo de 34 a 10 horas, sino que también, favorece la disminución de gastos y un incremento en la eficiencia en la realización de las tareas. El flujo positivo desde el segundo año posibilita que la compañía produzca recursos extra para inversiones futuras o para consolidar su situación financiera. Además, la elevada TIR del proyecto y el corto periodo de recuperación señalan que el riesgo vinculado a la inversión es reducido, lo que otorga seguridad en la elección de llevarlo a cabo. Al tomar en cuenta el valor del salvamento al concluir su ciclo de vida con respecto al dispositivo de izaje, se destaca un efecto beneficioso adicional que incrementa aún más la rentabilidad del proyecto.

En conclusión, la inversión en el dispositivo de izaje no sólo asegura un beneficio económico interesante, sino que también, fortalece la eficiencia y la sostenibilidad de la operación a largo plazo. Esto posibilita que la compañía alcance sus metas estratégicas y responda eficazmente a las exigencias del mercado.

CONCLUSIÓN

La ausencia de un dispositivo de izaje adecuado, para la ejecución del proyecto, ha demostrado ser una dificultad considerable en aspectos económicos y operativos para las tareas de mantenimiento, en particular en sistemas fundamentales como el cambio del ducto 35R. Esta ausencia no sólo extiende los periodos requeridos para llevar a cabo labores de montaje y desmontaje del ducto 35R, sino que también aumenta el riesgo de fallas y gastos relacionados con retrasos en el funcionamiento de la línea del SAG 03. La puesta en marcha de un dispositivo de izaje puede mejorar significativamente estos procesos, disminuyendo el tiempo de mantenimiento de 34 a 10 horas, lo que supone un efecto positivo directo en el uso eficaz en el equipo de trabajo y los materiales utilizados.

Este dispositivo de izaje, además de reducir los tiempos de ejecución, permitiría una planificación más eficaz de las mantenciones necesarias, para mantener la continuidad de las operaciones y reducir las interrupciones no programadas. Este impacto es particularmente significativo, teniendo en cuenta que estas mantenciones se organizan en periodos de 3, 6 y 12 meses, donde la reducción de estos tiempos no sólo conlleva una disminución de los gastos operativos, sino también un incremento importante en la productividad de la compañía. Al reducir las interrupciones, se incrementa la rentabilidad del proyecto, lo que resulta en un sistema más sustentable y eficiente a medio y largo plazo. Considerando lo mencionado anteriormente, se realiza un estudio del costo-beneficio, para respaldar la inversión en el diseño e implementación de un dispositivo de izaje. Este estudio debe tener en cuenta el posible ahorro en pérdidas financieras, causadas por interrupciones extendidas y las ventajas vinculadas a la optimización en la eficacia del mantenimiento.

Para concluir, los objetivos definidos en el proyecto se lograron cumplir con éxito a través de un estudio evaluado y un procedimiento de diseño detallado. Se establecieron las especificaciones técnicas y se eligieron materiales apropiados para garantizar la durabilidad y eficacia del dispositivo de izaje, considerando las condiciones del ducto 35R y su contexto en Minera Los Pelambres. El sistema de izaje diseñado es seguro y eficaz, comprobado mediante simulaciones y evaluaciones que aseguran su operatividad y reducen los riesgos operativos. Finalmente, se llevó a cabo una evaluación técnico-económica que evidenció la factibilidad del dispositivo, tomando en cuenta los gastos de compra, operación y mantenimiento, además de las ventajas en cuanto a ahorro de tiempo y disminución de riesgos.

BIBLIOGRAFÍA

- Rostkowska, J., & Rostkowska, J. (2023, 19 mayo). *Construcción y tipos de grúas torre utilizadas en la industria de la construcción*. Obtener las Licencias UDT y ADR. Curso de HDS, Plataformas Móviles y Ascensores Elevados / Ergon Varsovia. <https://adrkurs.pl/es/publikacje/gruas-torres/>
- Admin_Rocesan. (2024, 16 septiembre). *Qué tipos de grúas móviles existen y cuáles son sus funciones*. Transportes Rocesan. <https://www.rocesan.com/blog/que-tipos-de-gruas-moviles-existen-y-cuales-son-sus-funciones/>
- POLICRANE (2024, 28 febrero). *Polipastos eléctricos de cadena*. <https://policrane.com/polipastos-electricos-de-cadena/>
- Elevador eléctrico - HPC Tecnologías. (2023, 21 julio). HPC Tecnologías. <https://hpctecnologias.com/producto/elevador-electrico/>
- Debem. (2022, March 24). *Análisis FEM - Método de elementos finitos - Debem*. <https://www.debem.com/es/analisis-fem/>
- Kelechava, B. (2024, 5 diciembre). *ASME BTH-1-2023: Design of Below-the-Hook Lifting Devices*. The ANSI Blog. <https://blog.ansi.org/asme-bth-1-2023-design-below-hook-lifting-devices/>