



Depto. de Ingeniería en Minas
Facultad de Ingeniería
UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA



CORESEMIN
COMITE REGIONAL DE SEGURIDAD MINERA
II REGIÓN ANTOFAGASTA

ESTUDIO PARA EVALUAR Y DISEÑAR UN SISTEMA DE IZAJE ENFOCADO EN LA PEQUEÑA MINERÍA DE TALTAL.

Rubén Darío Jaque Cortés.

Nombre: Marco Hidalgo Pérez
Profesión: Ingeniero en Minas
Grado académico: Magister

Jueves 15 de mayo del 2025.



Estructura General



Introducción

La pequeña minería en Chile se caracteriza por operaciones de menor escala en comparación con la mediana y gran minería.

Presenta precariedad en sus instalaciones y un mayor riesgo de accidentes.

Presenta diversas definiciones según distintas entidades.

- SERNAGEOMIN: 12 – 80 trabajadores o <200.000 hr - hombre/año.
- COCHILCO: ≤ 10.000 t/mes o <200.000 h-trabajador/año.
- ENAMI: ventas ≤ 10.000 t/mes



Problemática

La pequeña minería atraviesa por diversos aspectos que requieren una mejora considerable.

La principal problemática son las estructuras de extracción vertical, hoy en día se opera de manera no estandarizada, donde no realizan algún tipo de cálculo, o ensayo técnico, ellos realizan el respectivo diseño en base a copiar.



Figura 1: Unión superior estructura extracción vertical .



Figura 2: estructura de extracción vertical 4 soportes pequeña minería.

Problemática

- ❖ Obsolescencia de la infraestructura.
- ❖ Materiales son reutilizados y no se realizan los debidos mantenimientos.
 - ❖ No se sabe la carga que han sufrido los soportes en el tiempo
 - ❖ Ausencia de protocolos de seguridad claros.

Objetivos

Desarrollar e implementar un sistema de izaje seguro, eficiente y estandarizado para la pequeña minería, considerando las características particulares de la construcción de su diseño

Objetivos específicos

- ✓ Catastro de modelos de izaje presentes en los distritos mineros en Taltal
- ✓ Realizar un estudio de sistemas de izaje y nuevos materiales aplicados
- ✓ Proponer un nuevo sistema de izaje que mejoren las brechas de operación identificadas aplicando técnicas de modelación 3D



Figura 3: Ubicación faenas mineras distrito Cancha.



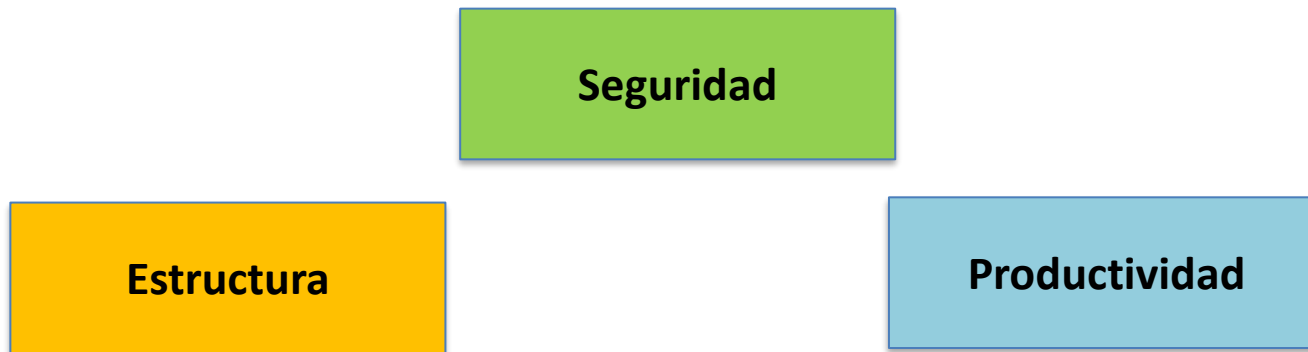
Figura 4: Ubicación faenas mineras distrito Julia.

Punto Inicial

Punto de partida – Pequeña Minería

La situación en terreno es completamente diferente a lo que se dicta en las clases, si bien las imágenes se le acercan, estar ahí y ver como se lleva a cabo esta operación de extracción vertical, deja en evidencia las falencias presentes en este sector minero.

Las cuales son 3 ejes principales.



Punto de partida – Seguridad



Figura 5: Medida de seguridad para cerrar entrada de a pique .



Figura 6: Primeros metros de entrada al pique.

Punto de partida – Pequeña Minería

Seguridad

En cuanto al reglamento de seguridad minera en el artículo quinto, título III: Explotación de Minas Subterránea, Capítulo Séptimo: Equipos de Izamiento

Artículos quebrantados:

Art. 172: El transporte mecanizado de personal a través de piques o chiflones, se hará exclusivamente en jaulas.

Art. 177: Todo equipamiento, como huinches, poleas, motores, y otros, corresponderán a equipos diseñados, construidos y adquiridos bajo estrictas normas y especificaciones de calidad.

Art. 188: Para todos los sistemas de extracción mediante cables, el término "límites de servicio"



Punto de partida – Pequeña Minería

Seguridad

41 fallecidos desde 2012 – 2023 categoría “C” (entre 30.000 – 200.000 hr hombre).

Las fatalidades relacionadas a extracción vertical representan un 10% aproximadamente.

Tabla 1: Muestra fatalidades con sus respectivos detalles.

Fecha	Ubicación	Detalles del accidente	Problema de estructura
09-06-2011	Pique	Perdida de equilibrio situado arriba de la escalera	No se encontraba rejilla de seguridad.
18-02-2013	Estructura de 8 m de altura	Pata de cabra cedió.	Mal amado estructura.
19-12-2015	Nivel de carguío del pique	Desprendimiento del balde	Falla en el sistema de sujeción del balde y plataforma.
02-10-2016	Fondo del pique de extracción	Balde sin guías golpea costado del pique cayendo rocas y dejando fatal.	Falta de doble guía y desprendimiento de rocas.

Punto de partida – Pequeña Minería

Descripción operación extracción vertical.

En cuanto a la estructura, la finalidad era revisar como estaba diseñada y que tal eran los equipos que utilizaban.

Componentes principales.

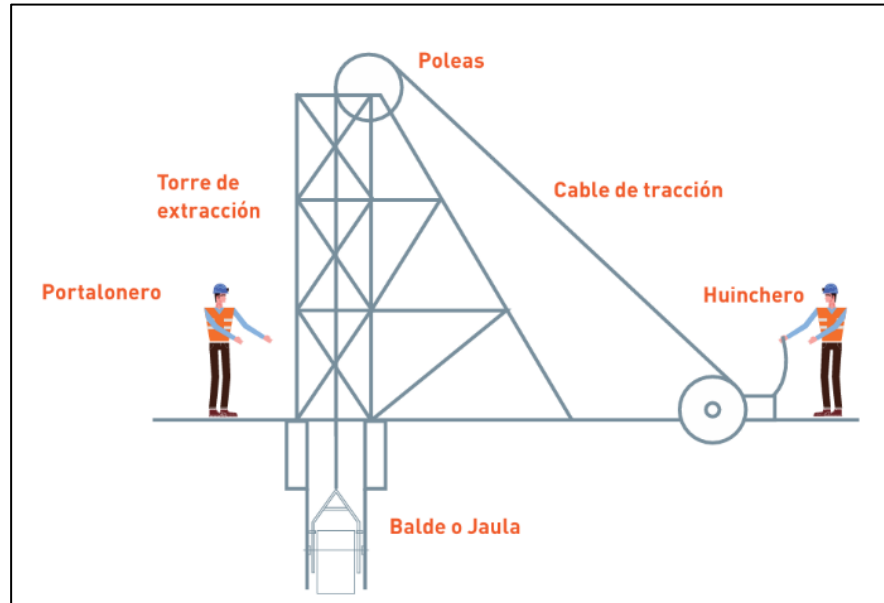


Figura 7: Componentes principales de un sistema de extracción vertical.

Punto de partida – Pequeña Minería

Estructura



Figura 8: Sistema de extracción vertical Mina la perdida



Figura 9: Sistema de extracción vertical Mina Rosa



Figura 10: Sistema de extracción vertical Mina Rosario

Punto de partida – Pequeña Minería

Productividad

Ya contando con el material fragmentado, luego se llena el balde hasta poco más de la mitad y posteriormente se genera la subida del material



Video 1: Extracción y depósito de material Mina Julia



Figura 11: Tabla conteo de baldadas

Metodología PHCA

Para el desarrollo y evaluación del presente estudio, se ha adoptado la metodología Deming (PHCA: Planificar, Hacer, Chequear, Actuar), ampliamente utilizada para la mejora continua de procesos industriales

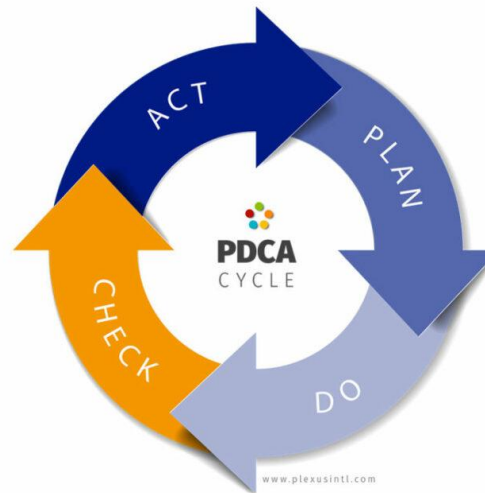


Figura 12: Ciclo Deming

Metodología PHCA

Planificar.

- ✓ Recopilación de información a través de organismos claves Sernageomin – Enami – Coresemin para tener un **contexto**.
- ✓ Determinar área de estudio.
- ✓ Análisis de los componentes utilizados.

Hacer.

- ✓ Se realizaron dos campañas
- ✓ Identificación de principales debilidades
- ✓ Realizo toma de mediciones.
- ✓ Recolección de materiales

Metodología PHCA

Chequear

- ✓ Evaluación de datos, de la estructura y componentes del sistema de extracción vertical.
- ✓ Análisis a muestras obtenida de terreno.
- ✓ Generación de bases para modelo de diseño.

Actuar

- ✓ Proposición nuevo diseños
- ✓ Inicio proceso de ajustes y optimización del diseño.
- ✓ Generación de simulaciones de esfuerzos.

Cálculos teóricos aplicados

$t_1 = t_3 = \frac{V_{max}}{a}$ <p>$t = tiempo (seg).$</p> <p>$V_{max} = Velocidad\ maxima (\frac{m}{s}).$</p> <p>$a = Aceleración (\frac{m}{s^2}).$</p> $h_1 = h_3 = 0,5 * (V_{max} * t_1)$ <p>$h = altura (m).$</p> $h_2 = H_{total} - h_1 * 2$ <p>$H_{total} = altura\ total (m).$</p> $t_2 = \frac{h_2}{V_{max}}$ $t_{subida} = t_1 + t_2 + t_3$ $t_{Total} = t_{subida} + t_4 + t_5$	<p>Numero de viajes por hora</p> $Numero\ de\ Viajes (\frac{Viaje}{hora}) = \frac{3600}{Tiempo\ Ciclo_{Total}(seg)} \quad (3)$ <p>Numero de viajes por día</p> $Numero\ de\ viajes\ por\ dia (\frac{Viaje}{dia}) = Numero\ de\ viajes\ por\ hora * Horas\ Turno \quad (4)$ <p>Carga total para izar</p> $Carga\ total = Balde(lleeno) + Peso\ del\ cable \quad (5)$ <p>Cálculos Cable</p> $\text{Área} = \pi * (\frac{Diametro\ cable(mm)}{2})^2 \quad (6)$
	<p>Tiempo de ciclo total:</p> $Tiempo\ Ciclo_{total}(seg) = Tiempo_{Subida} + Tiempo_{Desida}$

Medina Hanke, Jorge L. *Accionamiento Eléctrico*. Ediciones Universidad de Valparaíso.

Cálculos teóricos aplicados

Factor de seguridad (F.S)

$$F.S = \frac{\text{Resistencia a la rotura}}{\text{Carga total a izar}} \quad (9)$$

Potencia Motor

Para que el resultado de en HP se usa un factor de 746.

$$\text{Potencia Motor}(Hp) = \frac{\text{Peso a mover} * \text{Velocidad} \left(\frac{m}{s}\right)}{\text{Eficiencia} * 746} \quad (10)$$

Medina Hanke, Jorge L. *Accionamiento Eléctrico*. Ediciones Universidad de Valparaíso.

Cálculos teóricos aplicados

Peso soporte

$$W_{soporte}(N) = Volumen(m^3) * Densidad \left(\frac{Kg}{m^3}\right) * 9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right) \quad (14)$$

Peso eje x

$$W_{soporte}(N) = W_{soporte}(N) * \text{sen}(\theta) \quad (15)$$

Peso eje y

$$W_{soporte}(N) = W_{soporte}(N) * \text{cos}(\theta) \quad (16)$$

Tonelaje por día (TPD)

$$TPD \left(\frac{Ton}{día}\right) = Ton * Numero de Viaje \quad (17)$$

Varianza.

$$S^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (18)$$

Factor de seguridad (F.S)

$$F.S = \frac{Resistencia \ a \ la \ rotura}{Carga \ total \ a \ izar} \quad (9)$$

Potencia Motor

Para que el resultado de en HP se usa un factor de 746.

$$Potencia \ Motor(Hp) = \frac{Peso \ a \ mover * Velocidad \left(\frac{m}{s}\right)}{Eficiencia * 746} \quad (10)$$

Área transversal Sección cuadrada o rectangular

$$\hat{A}rea \ Transversal \ (m^2) = (Dimensi3n_{Ext})^2 - (Dimensi3n_{Ext} - 2 * Espeso)^2 \quad (11)$$

Área transversal Sección Circular

$$\hat{A}rea \ Transversal \ (m^2) = \pi * ((Radio_{Ext})^2 - (Radio_{Int})^2) \quad (12)$$

Volumen Soporte

$$Volumen_{soporte}(m^3) = \hat{A}rea \ transversal \ (m^2) * Largo \ soporte(m) \quad (13)$$

Área transversal Sección cuadrada o rectangular

$$\hat{A}rea \ Transversal \ (m^2) = (Dimensi3n_{Ext})^2 - (Dimensi3n_{Ext} - 2 * Espeso)^2 \quad (11)$$

Área transversal Sección Circular

$$\hat{A}rea \ Transversal \ (m^2) = \pi * ((Radio_{Ext})^2 - (Radio_{Int})^2) \quad (12)$$

Hibbeler, R. C. (2017). *Resistencia de materiales* (9.ª ed., adaptación al español). Pearson Educación..

Programa Utilizado

SolidWorks.

Con la ayuda de este software se logró:

- ✓ Simular
- ✓ Diseñar modelos.
- ✓ Indicar zonas de esfuerzos.
- ✓ Agregar materiales con presencia en mercados
- ✓ Análisis de Factor de Seguridad (F.S)



Resultados de Terreno

Resultados de Terreno

En muchas de las faenas mineras, se trabaja entre los 200 y 300 metros de profundidad, donde se selecciona el sistema de extracción vertical por su mayor eficiencia en la extracción del mineral.

Utilización de jaula

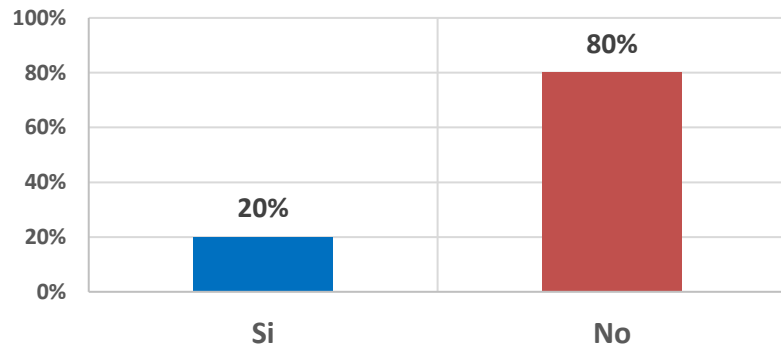


Grafico 1: Enseña la utilización de jaula

Soportes faenas visitadas

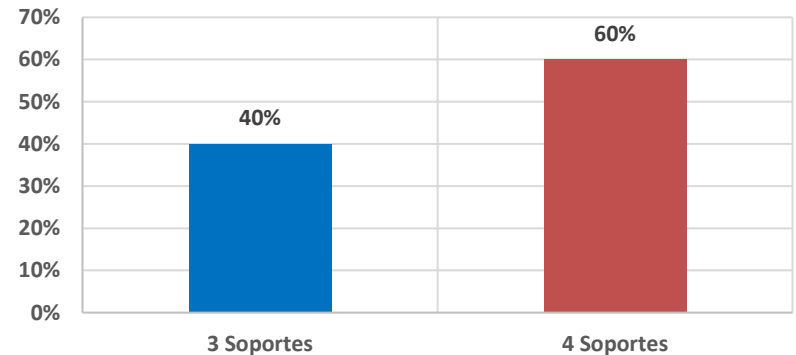


Grafico 2: Muestra la tendencia en la cantidad de soportes

Resultados de Terreno

Tabla 2: Aspectos operacionales.

Datos	Detalles
Aspectos operacionales	<ul style="list-style-type: none">➤ Se registraron 2 grupos de sistemas de extracción vertical más usados.➤ Poco desarrollo técnico, se siguen utilizando las mismas estructuras que hace 15 años, sin alguna mejora.➤ Cuentan con una precaria norma de seguridad.➤ Mucho desgaste físico para cambio de componentes.➤ No hacían uso de jaula como fuente de transporte del personal.

Resultados de Terreno

Tabla 3: Aspectos operacionales.

Datos	Detalles
Aspectos Operacional	<ul style="list-style-type: none">➤ Los productores visitados, todos estiman una producción de 500 – 600 kg de material por balde➤ Solo 1 winchero cuentan con una check list antes de comenzar con el trabajo.➤ Los primeros metros del pique no están asegurados,➤ Precariedad en la estructura➤ Todas las estructuras contaban con el sistema de freno del hombre muerto.

Resultados de Terreno

Componentes solo presentes en terreno:

- Rejilla/Parrilla
- Vientos
- Chicharra



Figura 13: Chicharra



Figura 14: Indicación de vientos en sistema de extracción vertical



Figura 15: Parrilla que tapa boca de pique

Resultados Operacional

Resultado Operacional

En base a los datos tomados en terreno, se realizaron diferentes cálculos para determinar valores con los que trabajan en terreno.

Tabla 3: Datos levantados en terreno

Datos		
Profundidad	185	m
Tiempo carga	68	seg
Tiempo subida	105	seg
Tiempo bajada	42	seg
Potencia motor	70	HP
Factor de Tiempo	20	%
Peso total	16070	N
Eficiencia Motor	80	%

Tabla 4: Datos y carga del balde

Cálculo material		
Altura balde	0,9	m
Fracción de llenado	3/4	
Radio interior	0,396	m
Volumen interior	0,33	m ²
Densidad material	2700	km/m ³
Material cargado	897,2	kg
Tonelaje real (-30%)	628,0	kg

Resultado Operacional

En base a los datos obtenidos en terreno se presenta una serie de tiempos, que serán de ayuda para dimensionar el material que obtienen.

Tabla 5: Muestras obtenidas de minera analizada.

Datos	Ciclos Observados				
Muestras	1°	2°	3°	4°	
Tiempo bajada	42	47	43	50	seg
Tiempo carga	68	75	48	74	seg
Tiempo subida	105	100	100	90	seg
Tiempo desaceleración	10	12	10	13	seg
Total	225	234	201	227	seg
Velocidad	0,82	0,79	0,92	0,81	m / s

Resultado Operacional

Se pudieron determinar los siguientes parámetros:

Tabla 6: Resultados operacionales de minera analizada con motor de 70HP.

Datos	Viajes				Unidades
Muestras	1°	2°	3°	4°	
Numero de viajes por hora	12	11	13	12	Viaje/hr
turno	6	6	6	6	hr
Días trabajados al mes	20	20	20	20	
Numero de viaje por día	72	66	78	72	Viaje/día
Ton por hora	7,8	7,15	8,45	7,8	TPH
Ton/día	46,8	42,9	50,7	46,8	TPD
Ton/Mes	936	858	1014	936	TPM

Resultados Análisis de muestras

Resultados Análisis de muestras

Análisis mecánico soporte (CITMUA).

Tabla 7: Análisis dureza soporte.

ITEM	Durezas Sección Transversal		Durezas sobre la superficie	
	DUREZA HBW	PROMEDIO HBW	DUREZA HBW	PROMEDIO HBW
1	242.3	241.2	247.5	248.7
2	237.6		250.7	
3	243.7		251.9	
4	---		244.6	
5	---		249.0	

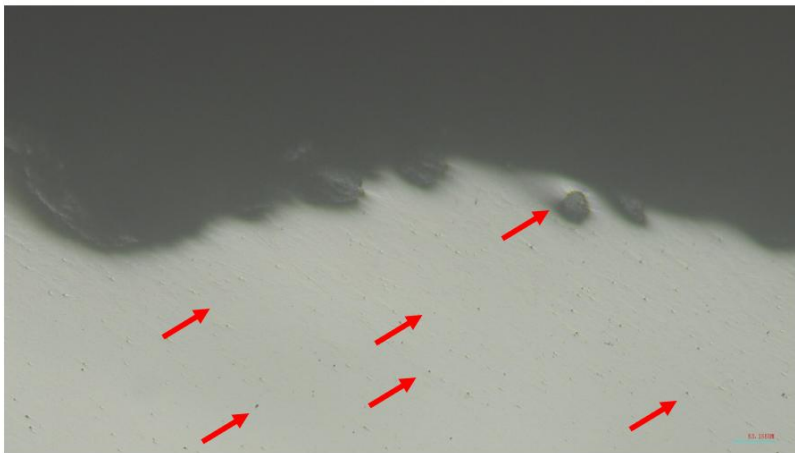


Figura 16: Material presente en soporte, vista microscópica.

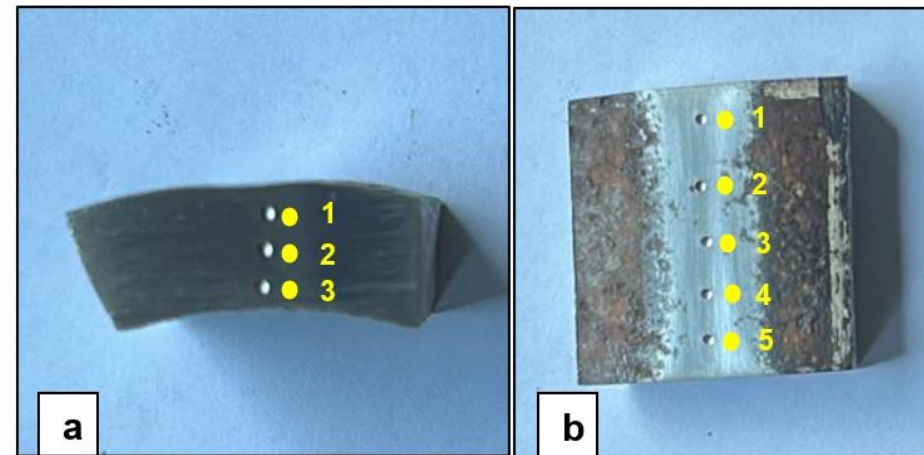


Figura 17: Soporte a analizar con sus respectivos puntos.

Resultados Análisis de muestras

Tabla 8: Análisis dureza Cable.

ITEM	Durezas Sección Transversal		Durezas sobre la superficie	
	DUREZA	PROMEDIO	DUREZA	PROMEDIO
	HV	HV	HV	HV
1	645	681	688	663
2	622		673	
3	675		663	
4	701		641	
5	712		639	
6	726		655	
7	683		670	
8	668		673	
9	698		668	

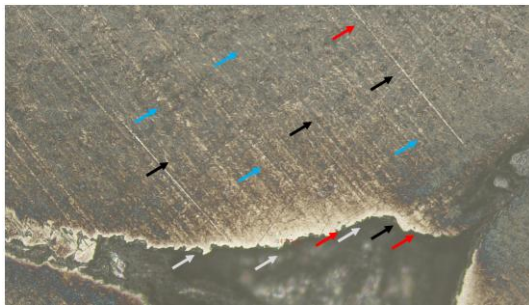


Figura 18: Análisis microscopio con presencia de ataque químico

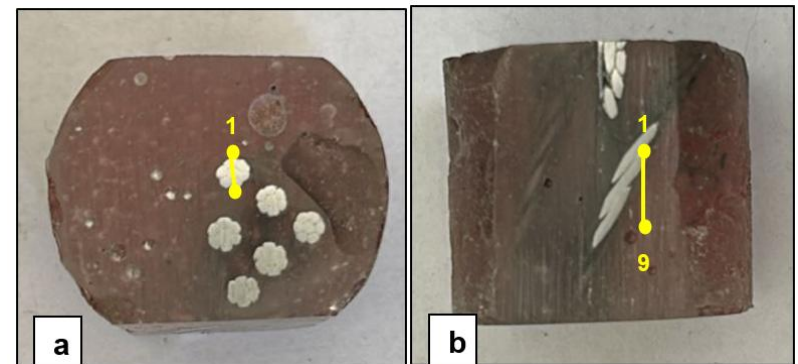


Figura 19: Cable a analizar con sus respectivos puntos

Propuestas

Propuesta – Condiciones base

Condiciones bases del diseño

Para las condiciones bases del diseño, se mantendrán constan los siguientes elementos:

- Winche
- Cable de tracción
- Polea
- Balde
- Altura máxima 6 metros
- Distancia entre soportes 4.6 metros
- 4 soportes

Esto para buscar mejorar la base que soportara todo el diseño de extracción vertical.

Propuesta – Condiciones base

Condiciones bases del diseño - Seguridad

- Norma Chilena Oficial NCh 3612:2019 (“Barandas o antepechos”)
- Altura mínima de barandas $\geq 0,95\text{m}$ y en escaleras $\geq 0,85$
- Para escaleras Norma Operacional NEO-44 para su respectivo ángulo

Propuesta - Materiales utilizados

Materiales utilizados

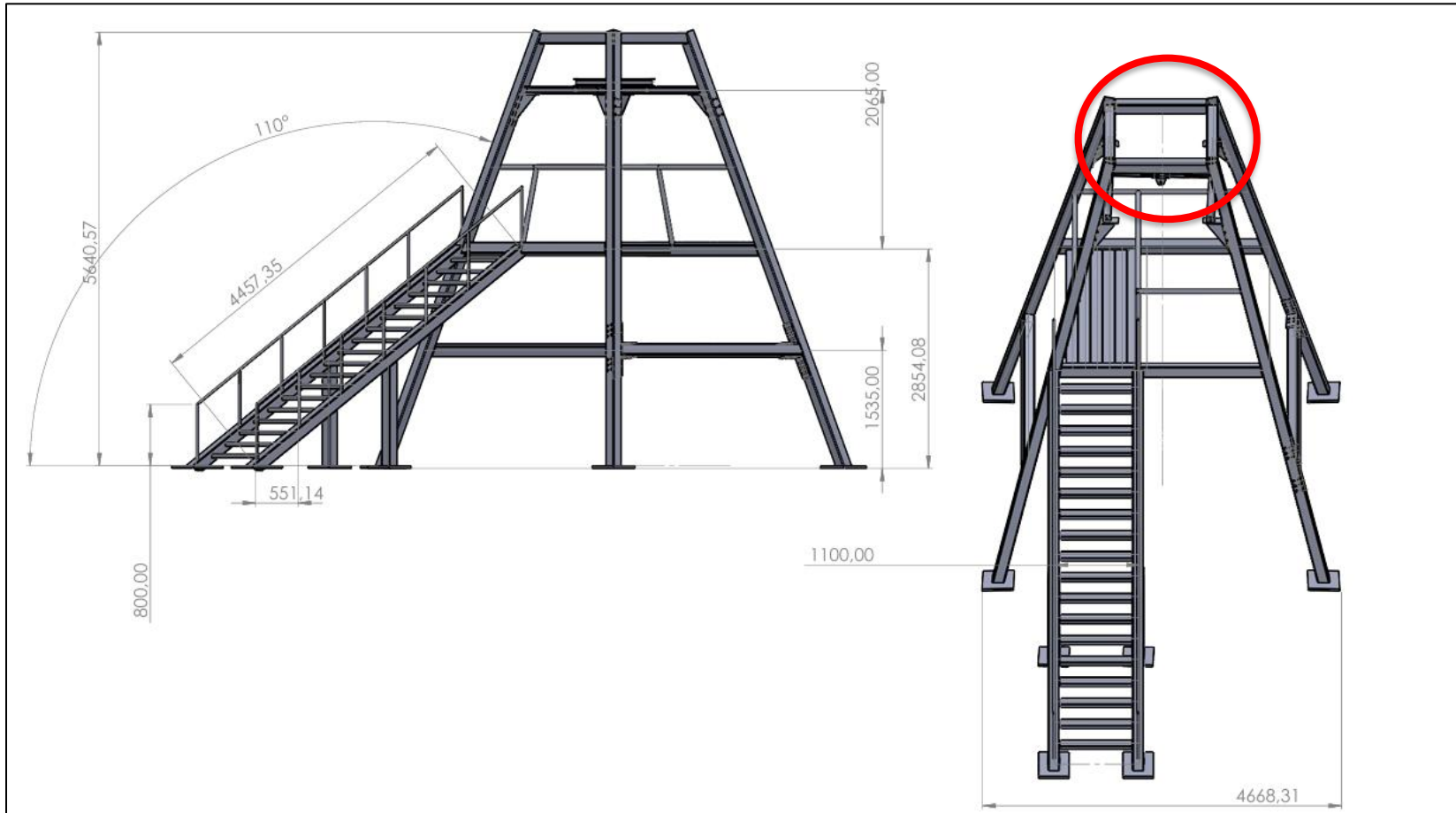
En el mercado podemos encontrar opciones tanto aquí en Chile como internacionalmente, los mercados donde se cotizó fueron:

- Aceros F. Petricio
- Kupfer
- Perfimet
- Tecnored



Propuesta de Diseño

Diseño A



Propuesta de Diseño A - Materiales

Materiales



PERFIL CUADRADO 150X150 5,0
MM 6000MM

SKU 117053



Structural Steel ASTM A36



Cañería Con Costura A53-B
6" SCH40 7,11MM Negra
(6M)



Cañería acero Galvanizado 3/4" x 6 Metros Clase A
Iso R65

Propuesta de Diseño A – Costos.

Costos

Tabla 9: Análisis de costos materiales diseño A.

Cantidad	Componentes	Precio (CLP)
9	Perfil Cuadrado 150x150 5,0 MM 6000MM	\$ 3.500.000
1	C6x8.2 (30m)	\$ 1.000.000
5	PIPE 26,90 X 3.2	\$ 200.000
4	PIPE 2 SCH 40	\$300.000
	40% (Costos Instalación y Construcción)	\$2.990.000
	TOTAL	\$ 7.990.000

Propuesta de Diseño A – F.S

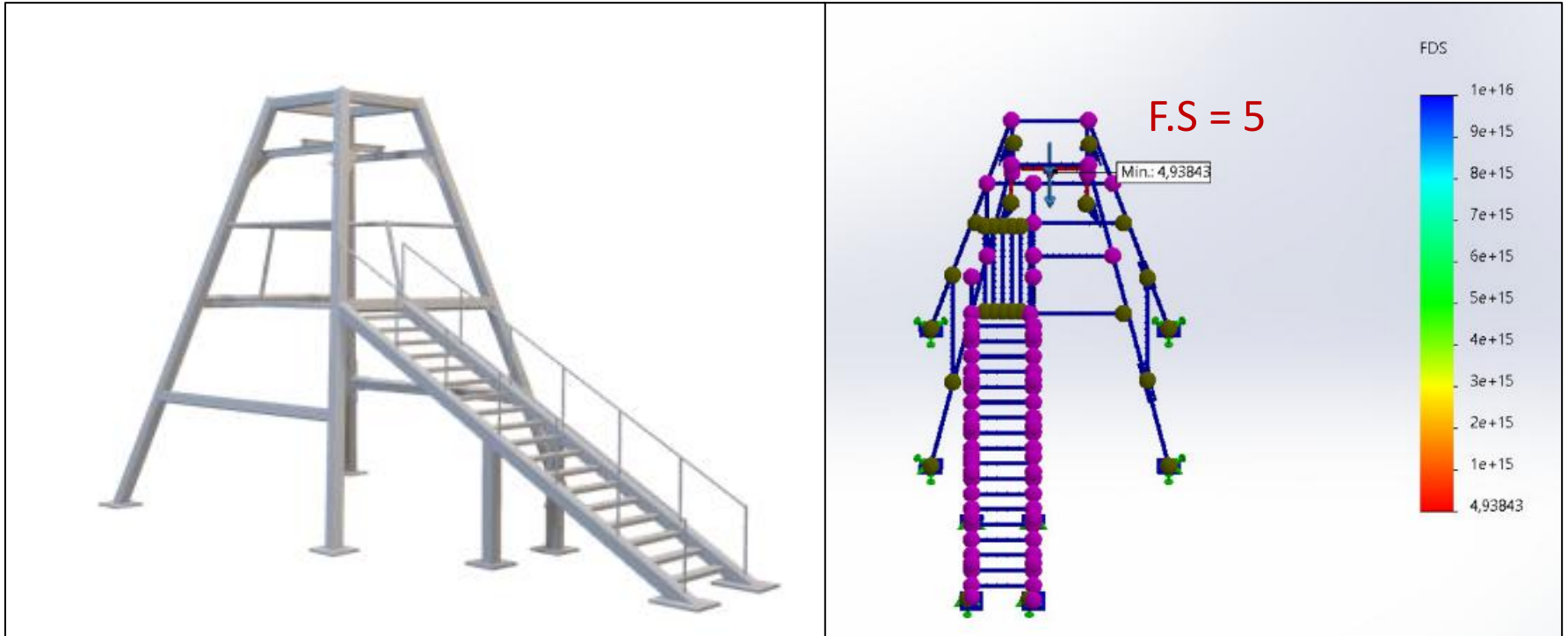
Simulado en computador alumno departamento de mecánica.

Programa SolidWorks.

Windows 11.

16 GB de RAM.

Tarjeta grafica GEFORCERTX.



Propuesta de Diseño A – Cálculos

Cálculos

Tabla 10: Cálculos caso base motor de 70HP

Profundidad	T Subida seg	T bajada seg	T ciclo seg	Ciclos/h	Viajes/día	Ton/día	Velocidad m/s
185	105,0	50,4	233,4	15,4	92,5	60,2	1,76

Tabla 11: Cálculos con aumento de carga y un motor de 70HP

Profundidad	T Subida seg	T bajada seg	T ciclo seg	Ciclos/h	Viajes/día	Ton/día	Velocidad m/s
185	94,5	54,6	227,1	15,9	95,1	66,6	1,96

Tabla 12: Cálculos con aumento de carga y un motor de 85HP

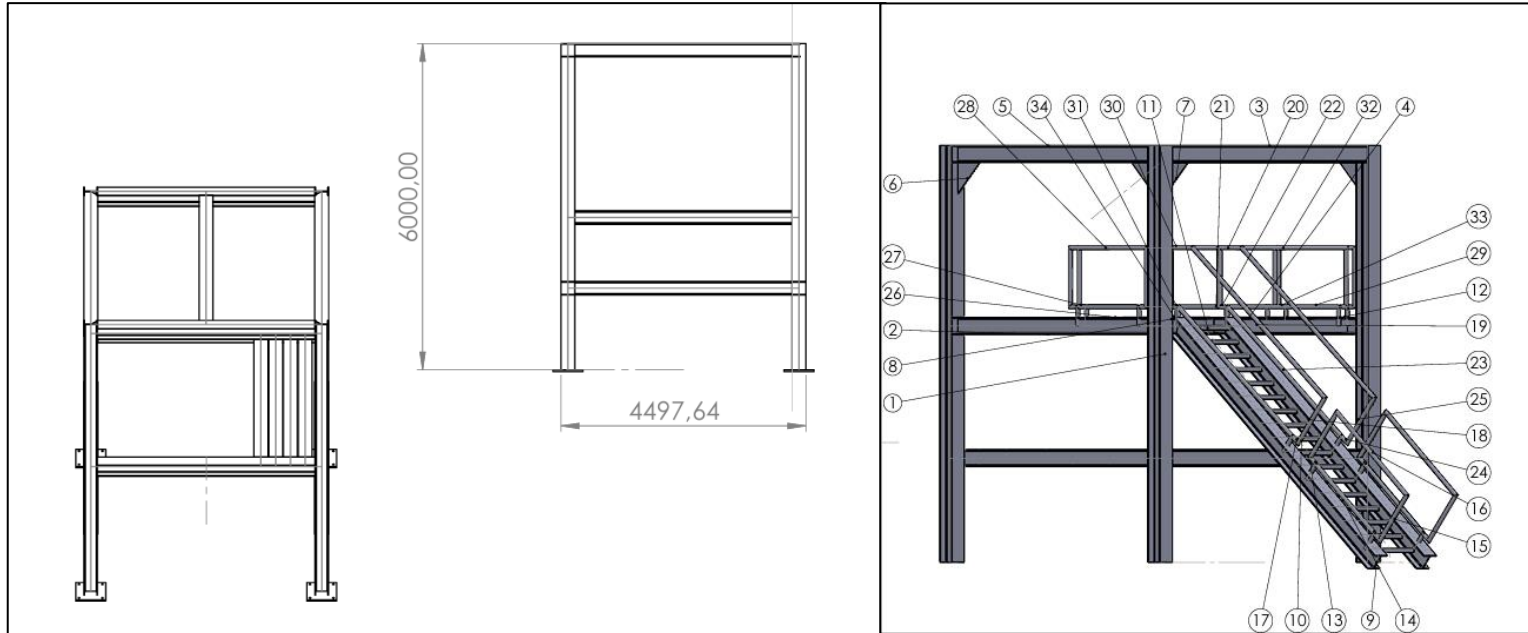
Profundidad	T Subida seg	T bajada seg	T ciclo seg	Ciclos/h	Viajes/día	Ton/día	Velocidad m/s
185	86,5	50,4	214,9	16,8	100,5	70,4	2,27

16%

10%

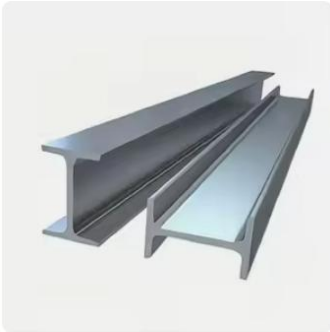
Propuesta de Diseño

Diseño B



Propuesta de Diseño B – Materiales

Materiales



Q235B Sección en H laminada en caliente
250*250H viga estructural de acero y viga...



**Tubo de Acero Redondo 2" x 3,0 mm x 6
m**



C9 X 13.4 X 40'

Propuesta de Diseño B – Costos.

Costos

Tabla 13: Análisis de costos materiales diseño B.

Cantidad	Componentes	Precio (CLP)
10	Perfil H 250 x 250 x 8 mm (ASTM A36)	\$5.500.000
7	60.3 x 3.2 mm (6m)	\$1.500.000
2	C9x13.4 (12m + precio por corte)	\$1.500.000
	40% (Costos Instalación y Construcción)	\$3.490.000
	TOTAL	\$ 11.990.000

Propuesta de Diseño B – F.S

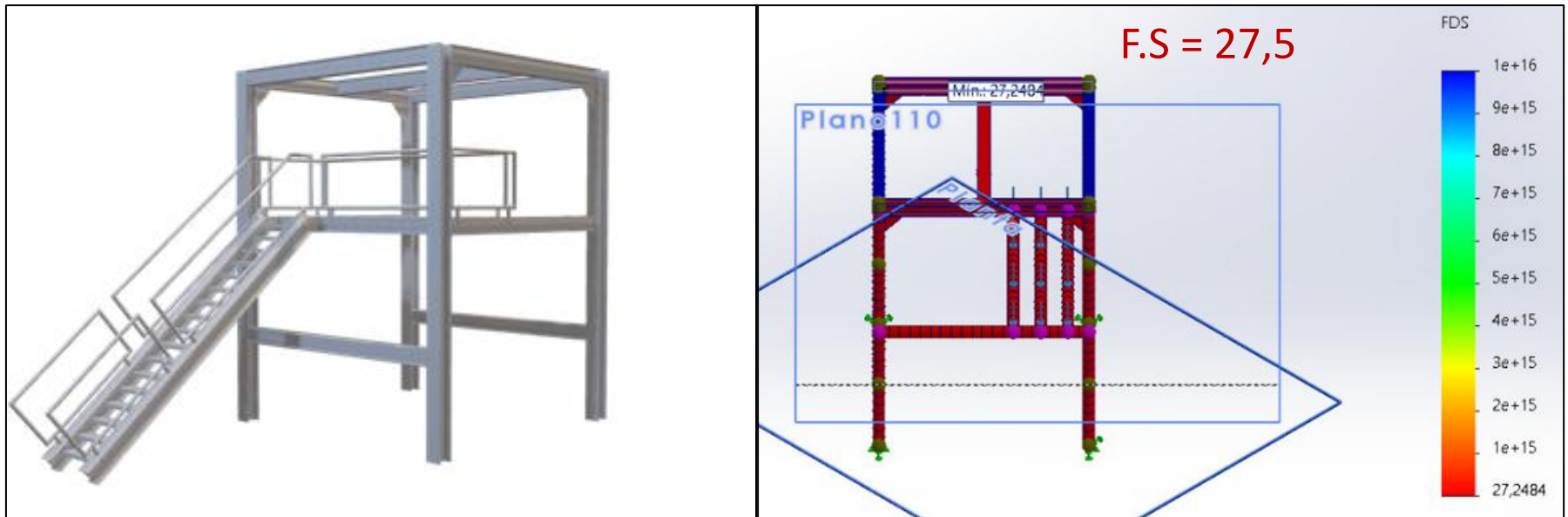
Simulado en computador alumno departamento de mecánica.

Programa SolidWorks.

Windows 11.

16 GB de RAM.

Tarjeta grafica GEFORCERTX.



Propuesta de Diseño B – Cálculos

Cálculos

Tabla 14: Cálculos caso base con motor de 70HP .

Profundidad	T Subida seg	T bajada seg	T ciclo seg	Ciclos/h	Viajes/dí a	Ton/día	Velocidad m/s
185	105,0	50,4	233,4	15,4	92,5	60,2	1,76

Tabla 16: Cálculos con carga de 900kg con motor de 70HP.

Profundidad	T Subida seg	T bajada seg	T ciclo seg	Ciclos/h	Viajes/dí a	Ton/día	Velocidad m/s
185	94,5	54,6	227,1	15,9	95,1	85,6	1,96

Tabla 17: Cálculos con carga de 900kg con motor de 110HP .

Profundidad	T Subida seg	T bajada seg	T ciclo seg	Ciclos/h	Viajes/dí a	Ton/día	Velocidad m/s
185	66,8	50,4	195,2	18,4	110,6	99,6	2,77

65%

42%

Conclusiones

Conclusión.

Actualmente se encuentran dos modelos preferentes de izaje, de 3 y 4 soportes.

En base al estudio, se logró encontrar materiales que pueden reemplazar perfectamente los que se usan a día de hoy.

Aplicados los diferentes conceptos de diseño y simulación se determina que es factible los 2 diseños para la estructura de extracción vertical, lo que implica mejoras en:

Seguridad – **Productividad** – **Estructura.**

De esta forma el estudio logra determinar dos propuestas para la pequeña minería.



Recomendaciones

- ❖ Profundizar estudios de estabilidad de suelo para instalación de estructura de izaje.
- ❖ Desarrollar un análisis técnico y de diseño en componentes críticos como la jaula y el balde (disminuyendo la carga física sobre los trabajadores y mejorando la eficiencia operativa)
- ❖ Mejorar cambio de dirección de carga del balde (desde centro la estructura a cancha de minerales)
- ❖ Realizar más análisis de materialidad.





Depto. de Ingeniería en Minas
Facultad de Ingeniería
UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA