



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**Propuesta de desarrollo de un inclinado para el acceso y extracción de mineral
de la veta Natividad en el nivel 3150 de la unidad minera Barreno**

Tesis presentada por:

Segura Muchaypiña, Carlos Alfonso

ORCID: 0009-0000-3355-0875

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor:

Mg. Paredes Salas, Omar Willy

ORCID: 0009-0000-9860-6630

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 05 de Junio del 2026

Dictamen: 017667-C-EPIM-2026

Visto el borrador del expediente 017667, presentado por:

2014801071 - SEGURA MUCHAYPIÑA CARLOS ALFONSO

Titulado:

**PROPUESTA DE DESARROLLO DE UN INCLINADO PARA EL ACCESO Y EXTRACCIÓN DE
MINERAL DE LA VETA NATIVIDAD EN EL NIVEL 3150 DE LA UNIDAD MINERA BARRENO**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

**29688402 - BARREDA DE LA CRUZ MIGUEL ALBERTO
DICTAMINADOR**



**40902304 - LINARES FLORES CASTRO ANTONIO ERICK
DICTAMINADOR**



**29635304 - MORALES VALDIVIA JAVIER ANTONIO
DICTAMINADOR**



Propuesta de desarrollo de un inclinado para el acceso y extracción de mineral de la veta Natividad en el nivel 3150 de la unidad minera Barreno

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	12%	0%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	5%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.unap.edu.pe	3%
	Fuente de Internet	
3	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.ucsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.unsa.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		

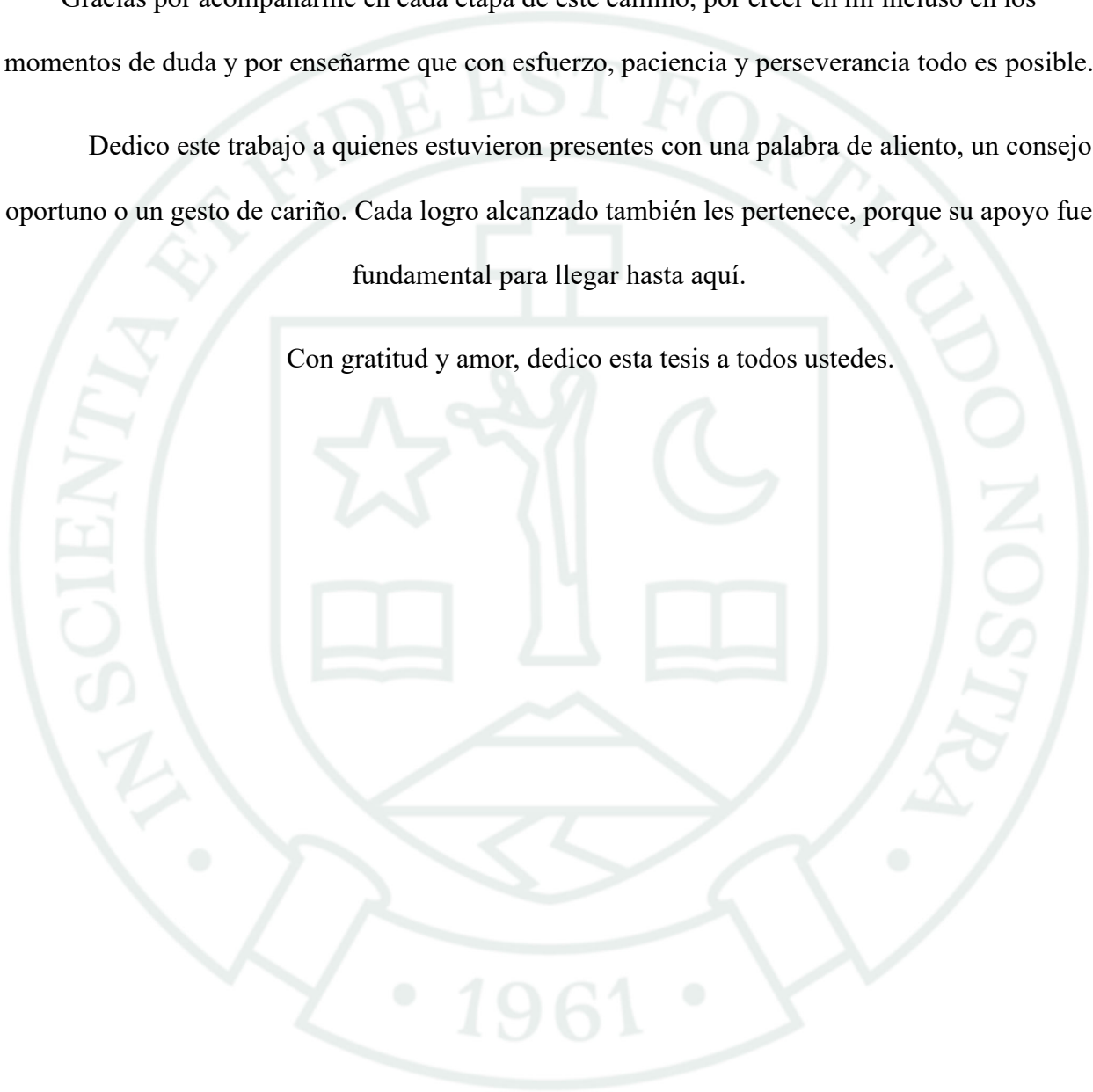
DEDICATORIA

A mi familia, por ser mi mayor apoyo, mi refugio y mi fuente constante de motivación.

Gracias por acompañarme en cada etapa de este camino, por creer en mí incluso en los momentos de duda y por enseñarme que con esfuerzo, paciencia y perseverancia todo es posible.

Dedico este trabajo a quienes estuvieron presentes con una palabra de aliento, un consejo oportuno o un gesto de cariño. Cada logro alcanzado también les pertenece, porque su apoyo fue fundamental para llegar hasta aquí.

Con gratitud y amor, dedico esta tesis a todos ustedes.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mi familia, por su amor incondicional, su paciencia y su apoyo constante. Gracias por acompañarme en cada momento, por motivarme a seguir adelante y por ser mi principal fuente de inspiración.

A mis docentes y asesores, por compartir sus conocimientos, orientación y experiencia durante el desarrollo de esta investigación. Sus aportes fueron fundamentales para la elaboración y mejora de este trabajo.

A mis amigos y compañeros, por su apoyo, comprensión y palabras de ánimo en los momentos más difíciles. Gracias por ser parte de este proceso y por hacer más llevadero este camino académico.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis. Cada consejo, ayuda y muestra de confianza fue valiosa para alcanzar este logro.

EPÍGRAFE

“El conocimiento no solo se alcanza con esfuerzo, sino también con la perseverancia de quien cree en sus sueños.”



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal diseñar un sistema de extracción mediante un pique inclinado para acceder a la veta Natividad en el nivel 3150 para la extracción de la veta en la Unidad Minera Barreno. Metodológicamente, el estudio corresponde a una investigación de tipo aplicada y tecnológica, con un nivel descriptivo y explicativo, enfocado en solucionar la problemática operativa y económica de profundización que enfrentan las minas convencionales con recursos de inversión limitados. Para dar solución a este problema, se planteó el diseño técnico de una labor minera con una sección terminada de 2.4 m de ancho por 2.1 m de alto, desarrollada perpendicularmente a una gradiente negativa de 30° respecto a la horizontal.

De acuerdo con los cálculos ingenieriles y resultados, se determinó que el sistema de izaje óptimo para alcanzar la meta de producción en la operación en el llenado de trenes de tres carros mineros tipo U-35, transportando una capacidad útil de 4.80 tm de mineral por viaje. Para movilizar la masa total del sistema, la cual fue calculada en 7.897 tm, es indispensable la instalación de un cable de acero tipo Flattened-Triangular Strand de 24 mm de diámetro. Este sistema debe ser accionado por un winche eléctrico Worthilla Saffer de 60 HP con un tambor dimensionado a 1152 mm, garantizando un tiempo de ciclo de 117 segundos por viaje. Asimismo, la excavación se sustenta en el diseño de una malla de perforación de 42 taladros basada en el método matemático de Roger Holmberg.

Palabras clave: Pique inclinado, Diseño, Izaje.

ABSTRACT

The main objective of this research work is to design an extraction system using an inclined shaft to access the Natividad vein at level 3150 and reduce extraction costs at the Barreno Mining Unit. Methodologically, the study corresponds to applied and technological research, at a descriptive and explanatory level, focused on solving the operational and economic challenges of deepening faced by conventional mines with limited investment resources. To solve this problem, the technical design of a mine working was proposed with a finished cross-section of 2.4 m wide by 2.1 m high, developed perpendicular to a negative gradient of 30° with respect to the horizontal.

According to the engineering calculations and results obtained, the optimal hoisting system was determined to achieve the production target in the operation involving the loading of trains composed of three U-35 mine cars, transporting a useful load capacity of 4.80 metric tons of ore per trip. To move the total system mass, calculated at 7.897 metric tons, the installation of a 24 mm diameter Flattened-Triangular Strand steel wire rope is essential. This system must be powered by a 60 HP Worthilla Saffer electric hoist equipped with a drum dimensioned at 1152 mm, ensuring a cycle time of 117 seconds per trip. Furthermore, the excavation design is based on a 42-hole drilling pattern developed using Roger Holmberg's mathematical method.

Keywords: Inclined shaft, Design, Hoisting.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

EPÍGRAFE

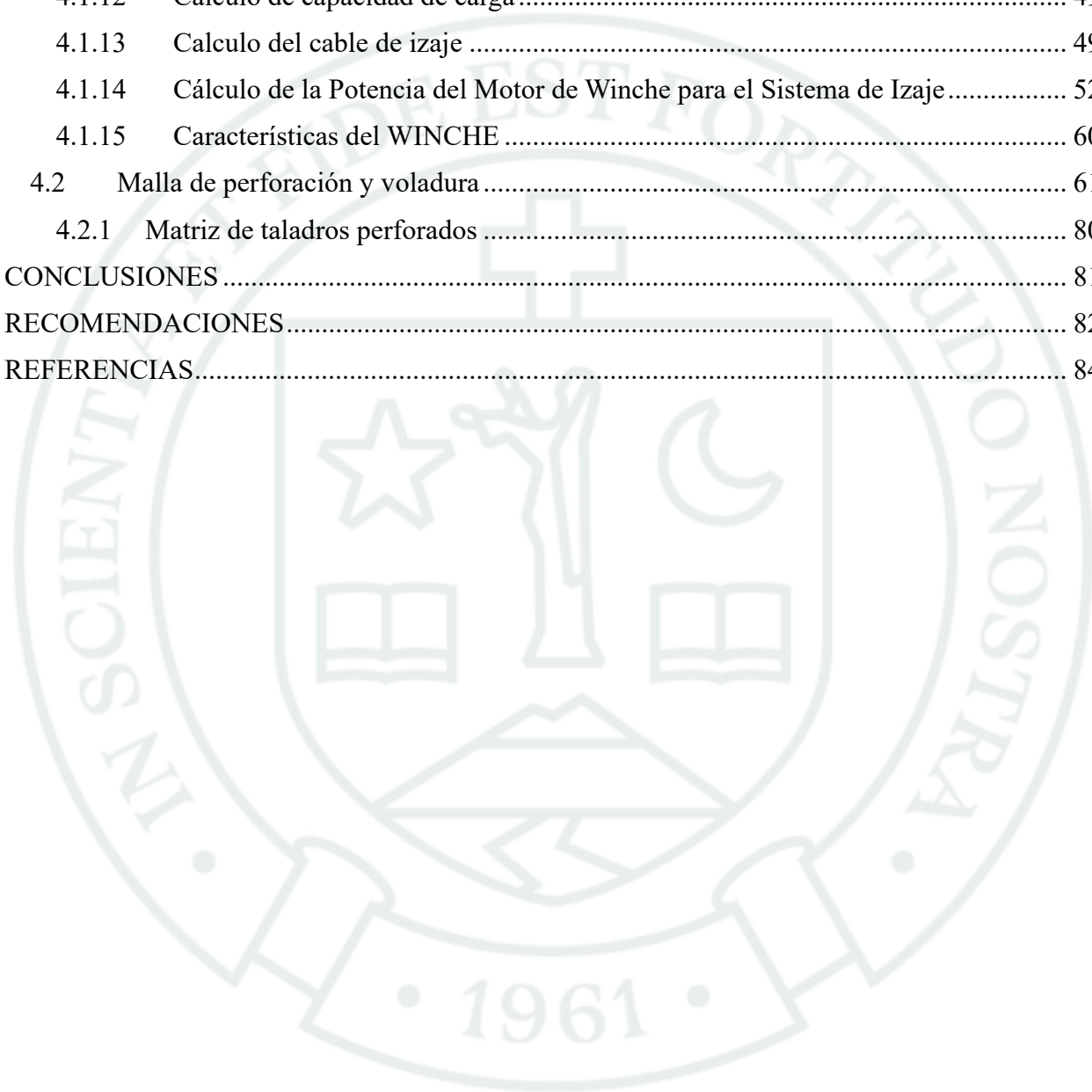
RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Determinación del problema	3
1.2 Objetivo del proyecto	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Preguntas de investigación	4
1.3.1 Pregunta principal	4
1.3.2 Preguntas específicas	4
1.4 Línea de investigación a la que corresponde el problema	5
1.5 Palabra clave	5
1.6 Justificación e importancia	5
1.6.1 Justificación social	5
1.6.2 Justificación económica	6
CAPÍTULO II	7
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
2.1 Estado del arte	8
2.1.1 Antecedentes de la investigación	8
2.2 Bases teóricas de la investigación	16
2.2.1 Planeamiento en operación minera subterránea	16
2.2.2 Piques mineros	17
2.2.3 Sistema de izaje en minería subterránea	19
2.2.4 Componentes de un sistema de izaje	20
2.2.5 Cables de acero en izaje	22
2.2.6 Winche de izaje	23
2.2.7 Sistemas de izaje	24

2.2.8	Pique inclinado.....	24
2.2.9	Profundización	26
2.3	Hipótesis	27
2.3.1	Variable dependiente	28
2.3.2	Variable independiente.....	28
CAPÍTULO III.....		30
3.	MARCO METODOLÓGICO	31
3.1	Descripción geológica de la minera Barreno	31
3.1.1	Ubicación	31
3.1.2	Accesibilidad.....	31
3.1.3	Generalidades.....	32
3.2	Alcances y Limitaciones	32
3.2.1	Alcances.....	32
3.2.2	Limitaciones.....	33
3.3	Tipo y Nivel de Investigación.....	34
3.3.1	Tipo de Investigación.....	34
3.3.2	Nivel de Investigación	34
3.4	Población y Muestra o universo.....	34
3.4.1	Población.....	34
3.4.2	Muestra	35
3.5	Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	35
3.6	Plan de análisis de los datos.....	36
CAPÍTULO IV.....		38
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	39
4.1	Determinación de la línea base	39
4.1.1	Datos generales de la labor	39
4.1.2	Objetivo de Producción.....	41
4.1.3	Sistema de Extracción.....	41
4.1.4	Producción por Nivel	42
4.1.5	Organización del Trabajo.....	42
4.1.6	Proceso de Limpieza del Producto de Voladura.....	42
4.1.7	Sostenimiento.....	42

4.1.8	Instalaciones.....	42
4.1.9	Personal necesario para realizacion del trabajo	45
4.1.10	Estándar de sección del inclinado	45
4.1.11	Cálculo de capacidad de carga.....	48
4.1.12	Cálculo de capacidad de carga.....	49
4.1.13	Calculo del cable de izaje	49
4.1.14	Cálculo de la Potencia del Motor de Winche para el Sistema de Izaje.....	52
4.1.15	Características del WINCHE	60
4.2	Malla de perforación y voladura	61
4.2.1	Matriz de taladros perforados	80
CONCLUSIONES		81
RECOMENDACIONES.....		82
REFERENCIAS.....		84



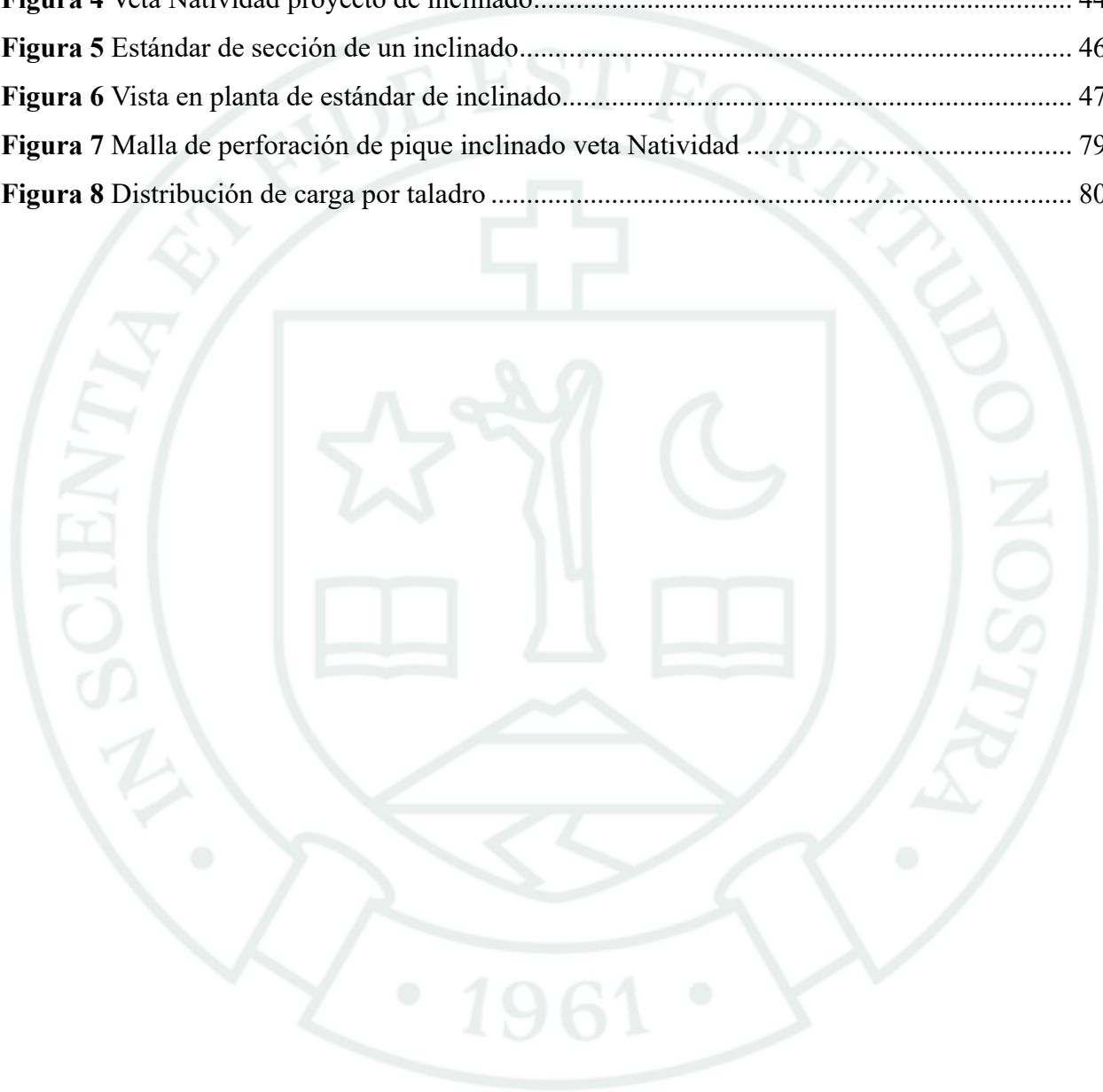
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	29
Tabla 2 Personal para ejecución de proyecto	45
Tabla 3 Instalación de servicio auxiliar.....	46
Tabla 4 Análisis de carga.....	51
Tabla 5 Características de winche.....	61
Tabla 6 Distribución de taladros	80



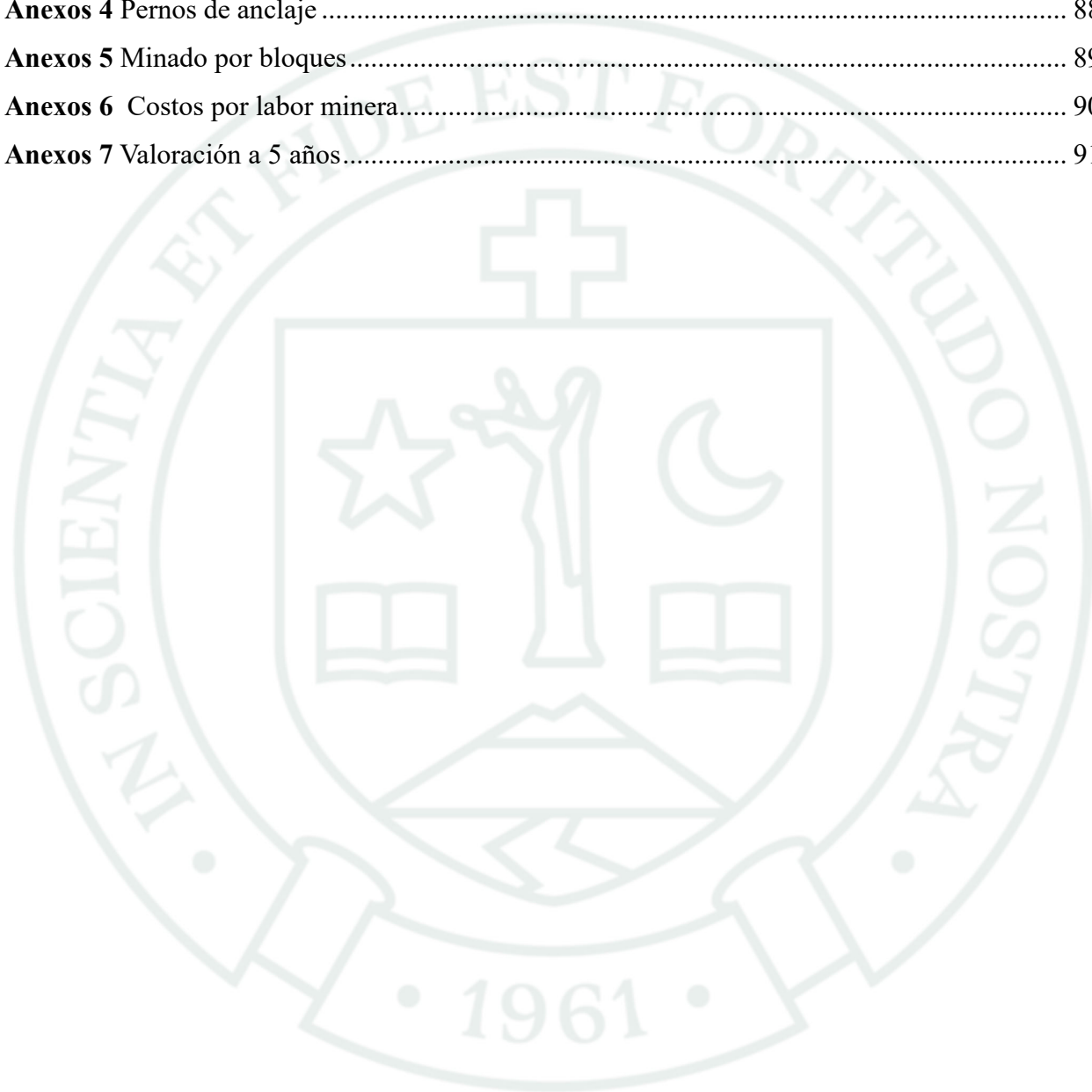
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pique minero.....	18
Figura 2 Cable de acero en izaje.....	22
Figura 3 Winche de izaje	23
Figura 4 Veta Natividad proyecto de inclinado.....	44
Figura 5 Estándar de sección de un inclinado.....	46
Figura 6 Vista en planta de estándar de inclinado.....	47
Figura 7 Malla de perforación de pique inclinado veta Natividad	79
Figura 8 Distribución de carga por taladro	80



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1 Técnica carro minero U35	85
Anexos 2 Winche de izaje 60 HP	86
Anexos 3 Cable de acero tipo Flattened-Triangular Strand.....	87
Anexos 4 Pernos de anclaje	88
Anexos 5 Minado por bloques.....	89
Anexos 6 Costos por labor minera.....	90
Anexos 7 Valoración a 5 años.....	91



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, titulado “Propuesta de desarrollo de un inclinado para el acceso y extracción de mineral de la veta Natividad en el nivel 3150 de la Unidad Minera Barreno”, plantea una alternativa de solución frente a las dificultades de profundización que enfrentan las minas convencionales con recursos de inversión limitados y con restricciones técnicas o de diseño, especialmente en aspectos como la dimensión de las labores y el método de explotación, que comúnmente corresponde al corte y relleno, ya sea ascendente o descendente.

El proyecto consiste en la ejecución de piques inclinados que permitirán profundizar dos niveles por debajo del principal nivel de extracción. Esta labor contará con una sección de 2.4 m x 2.1 m y se desarrollará con una inclinación de 30° respecto a la horizontal, lo que facilitará el uso de carros mineros tipo U-35 como sistema de izaje.

A lo largo del documento se presentan los cálculos empleados para determinar la capacidad de extracción del sistema, así como las especificaciones del cable de izaje y el dimensionamiento de los winches eléctricos necesarios. El diseño propuesto de pique inclinado ofrece una capacidad de extracción superior a la de los piques verticales tradicionales, lo que se traduce en un mayor ritmo de avance y en una ejecución más eficiente de las labores de exploración, desarrollo y preparación en los niveles inferiores. Además, el costo de extracción por tonelada resulta aproximadamente cuatro veces menor en comparación con los métodos convencionales.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Determinación del problema

En la minería subterránea, uno de los principales desafíos operativos se presenta cuando las labores de explotación deben profundizarse hacia niveles inferiores, especialmente en unidades mineras convencionales que cuentan con recursos de inversión limitados y con restricciones propias del diseño de sus labores. En este contexto, el acceso a nuevas zonas mineralizadas requiere soluciones técnicas que permitan garantizar la continuidad operativa, mantener la seguridad del personal.

En la unidad minera Barreno, la veta Natividad presenta la necesidad de ser accesada en el nivel 3150, los cuales se encuentran por debajo del nivel principal de extracción. Sin embargo, la profundización mediante métodos convencionales puede generar mayores costos operativos, menor eficiencia en el transporte de mineral y desmonte, además de limitaciones en el ritmo de avance de las labores de exploración, desarrollo y preparación.

Actualmente, la falta de un sistema de extracción adecuado para acceder a estos niveles inferiores representa una dificultad para aprovechar de manera eficiente la mineralización existente en la veta Natividad. Esta situación puede afectar la productividad de la unidad minera, debido a que el transporte del mineral requiere un sistema seguro, continuo y económicamente viable.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de diseñar un sistema de extracción mediante pique inclinado, que permita acceder a la veta Natividad en el nivel 3150. Este diseño debe considerar las características de la labor, el sistema de izaje, el uso de carros mineros tipo U-35 y la evaluación económica correspondiente, con la finalidad de reducir los costos de extracción y mejorar la eficiencia operativa de la unidad minera.

1.2 Objetivo del proyecto

1.2.1 Objetivo general

“Propuesta de desarrollo de un inclinado para el acceso y extracción del mineral en la veta Natividad en el nivel 3150 de la unidad minera Barreno”

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar el pique inclinado para poder acceder a la veta Natividad en los niveles inferiores al nivel principal de extracción.
- Determinar los componentes del sistema de izaje que se usaran en el pique inclinado.
- Evaluar la factibilidad económica de la ejecución del pique inclinado para acceder a la veta Natividad.

1.3 Preguntas de investigación

1.3.1 Pregunta principal

¿De qué manera el diseño de un sistema de extracción mediante pique inclinado permitirá acceder a la veta Natividad en el nivel 3150 para la extracción del mineral en la unidad minera Barreno?

1.3.2 Preguntas específicas

- ¿Cómo debe diseñarse el pique inclinado para acceder a la veta Natividad en los niveles inferiores al nivel principal de extracción?
- ¿Qué componentes del sistema de izaje se requieren para la extracción de mineral mediante el pique inclinado?

- ¿Cuál es la factibilidad económica de ejecutar un pique inclinado para acceder a la veta Natividad?

1.4 Línea de investigación a la que corresponde el problema

La presente investigación corresponde a la línea de investigación de planeamiento, Diseño y Operaciones Mineras, debido a que se orienta al diseño de un sistema de extracción subterránea mediante pique inclinado, con la finalidad de acceder a la veta Natividad en el nivel 3150. Asimismo, el estudio considera aspectos técnicos relacionados con el dimensionamiento de la labor minera, el sistema de izaje, la capacidad de extracción y la evaluación económica del proyecto, buscando mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos de extracción en una unidad minera del sur del Perú.

1.5 Palabra clave

- Pique inclinado
- Diseño
- Izaje

1.6 Justificación e importancia

1.6.1 Justificación social

La presente investigación presenta una justificación social porque busca contribuir al desarrollo de una operación minera más segura, ordenada y eficiente, mediante el diseño de un pique inclinado que permita acceder a la veta Natividad en el nivel 3150. Al contar con una labor correctamente diseñada y con un sistema de izaje adecuado, se favorece el desplazamiento del

personal, la extracción del mineral y el control de las actividades subterráneas, reduciendo condiciones operativas que podrían generar retrasos o riesgos durante el trabajo.

Asimismo, la ejecución de este tipo de proyecto permite dar continuidad a las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación en la unidad minera, lo cual contribuye a mantener la actividad productiva y, con ello, la generación de empleo directo e indirecto. De esta manera, la investigación no solo aporta desde el punto de vista técnico, sino también desde el ámbito social, al fortalecer la sostenibilidad operativa de la mina y beneficiar a los trabajadores vinculados a las actividades mineras.

1.6.2 Justificación económica

La investigación se justifica económicamente porque el diseño de un sistema de extracción mediante pique inclinado representa una alternativa viable para reducir los costos de extracción en una unidad minera subterránea. Al permitir el acceso a la veta Natividad en niveles inferiores al nivel principal de extracción, se optimiza el transporte de mineral y desmonte mediante carros mineros tipo U-35 y un sistema de izaje dimensionado de acuerdo con las condiciones operativas del proyecto.

Además, el pique inclinado permite mejorar la capacidad de extracción y el ritmo de avance en comparación con métodos convencionales de profundización, lo que favorece una mayor eficiencia en las labores mineras. Esta mejora operativa se traduce en una disminución del costo por tonelada extraída, haciendo que el proyecto sea económicamente atractivo para la unidad minera. Por ello, la propuesta contribuye a una mejor utilización de los recursos disponibles, reduce gastos operativos y permite aprovechar de manera más rentable la mineralización existente en la veta Natividad.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Estado del arte

2.1.1 Antecedentes de la investigación

En la tesis titulada “Propuesta de diseño de un sistema de extracción mediante piques inclinados sucesivos para acceder a la veta Troncal en los NV. 1590 y NV. 1690 de la U.M. Yanaquihua – 2022”, elaborada por Vera Huisacayna, se plantea como objetivo principal diseñar un sistema de extracción mediante piques inclinados sucesivos que permita incrementar la producción de la veta Troncal y reducir los costos de extracción en los niveles 1590 y 1690 de la Unidad Minera Yanaquihua S.A.C. La investigación se desarrolla en el contexto de una mina convencional dedicada principalmente a la extracción de oro, cuyo método de explotación corresponde al corte y relleno ascendente, presentando dificultades para mantener el ritmo de producción debido al agotamiento progresivo de las reservas accesibles desde el nivel principal de extracción.

El autor señala que una de las principales limitaciones de este tipo de unidades mineras es el reducido capital de inversión para ejecutar proyectos de profundización de gran magnitud, como rampas mecanizadas o sistemas de raise boring. Frente a esta situación, propone el diseño de piques inclinados sucesivos como una alternativa técnica y económicamente viable para acceder a niveles inferiores, permitiendo extraer mineral y desmonte mediante carros mineros tipo U-35 accionados por winches eléctricos. Además, el sistema propuesto también cumple una función complementaria, ya que permite mejorar la ventilación de los niveles ciegos mediante el ingreso de aire fresco hacia las nuevas labores subterráneas.

En cuanto al diseño de la labor, la investigación considera la ejecución de un pique inclinado con una sección de 2.4 m x 2.1 m y una inclinación de 30° respecto a la horizontal, condiciones que permiten el uso de carros mineros U-35 como medio de izaje. Asimismo, el estudio contempla el desarrollo de labores auxiliares como cruceros, bypass y chimeneas simples, necesarias para la instalación de buzones de mineral y desmonte, cámaras de winche y accesos hacia la veta Troncal. De esta manera, el diseño no solo se enfoca en la excavación del pique, sino también en la infraestructura complementaria requerida para garantizar la continuidad de las operaciones. (Vera Huisacayna, 2022)

En la tesis titulada “Diseño de pique inclinado con un sistema de izaje para el incremento de producción de mineral en la veta Santa en la Corporación Minera Santa Teresa Ituata E.I.R.L. - Carabaya”, elaborada por Condori Ccama, se tuvo como objetivo principal diseñar una labor minera con un sistema de izaje adecuado para incrementar la producción de mineral en la veta Santa. La investigación se desarrolló en la Corporación Minera Santa Teresa Ituata, donde las operaciones se realizaban mediante el método de corte y relleno ascendente, empleando anteriormente un sistema de extracción manual en el pique vertical 030. Dicho sistema presentaba deficiencias operativas, debido a que requería mayor tiempo, más personal y mantenimiento constante, lo que ocasionaba una baja producción y pérdidas económicas para la empresa.

El autor señala que la problemática principal se encontraba en el pique vertical 030, donde la extracción se realizaba con bidones de baja capacidad, poleas de construcción civil y una sogá, generando un sistema artesanal poco eficiente. Además, la labor presentaba condiciones inseguras para el personal, debido a la sección reducida, la falta de un circuito adecuado de ventilación y la necesidad de mantenimiento frecuente por encontrarse en zona mineralizada. Frente a esta situación, se propuso reemplazar el sistema antiguo por un pique inclinado con sistema de izaje

mecanizado, con la finalidad de mejorar la producción, reducir tiempos operativos y brindar mejores condiciones de trabajo.

En cuanto al diseño de la labor, la investigación determinó que el pique inclinado tendría una sección de 1.80 m x 2.00 m, una longitud total de 100 m y una inclinación de 35°. Asimismo, se consideró la instalación de cuatro refugios peatonales distribuidos cada 20 metros a lo largo del inclinado, con el fin de mejorar la seguridad del personal durante las operaciones. El diseño fue proyectado en material estéril, específicamente en roca tipo pizarra, con una calidad geomecánica buena, lo cual permitió reducir la necesidad de sostenimiento y mejorar la estabilidad de la labor minera.

Respecto al sistema de izaje, el estudio realizó los cálculos necesarios para seleccionar los componentes principales del sistema. Se determinó el uso de un winche de 40 HP, un cable de acero tipo Flattened-Triangular Strand de 16 mm de diámetro, y una relación de 48 a 1 entre el diámetro de la tambora y el cable. Este sistema fue diseñado para trabajar con carros mineros tipo U-35, permitiendo una extracción más eficiente de mineral y desmonte en comparación con el sistema manual utilizado anteriormente. (Condori Cama, 2023)

En la tesis titulada “Influencia del diseño del pique inclinado en 30° en la profundización Veta Julie 2 en la Cía. Minera Poderosa S.A.”, elaborada por Barzola Ceras, se tuvo como objetivo principal optimizar la profundización de la veta Julie 2 en la Compañía Minera Poderosa S.A., mediante el diseño de un pique inclinado con una inclinación de 30°. La investigación se desarrolló en la Unidad Santa María, donde se buscaba acceder a los niveles inferiores para extraer las reservas de mineral existentes y, de esta manera, mejorar la productividad y ampliar la vida útil de la mina.

El autor señala que la problemática surge debido a la necesidad de profundizar la veta Julie 2, ya que esta se encontraba en niveles inferiores y requería un sistema de acceso y extracción que permitiera transportar mineral y desmonte de manera eficiente. Inicialmente se consideró la posibilidad de emplear rampas; sin embargo, este método generaba mayores costos, mayor tiempo de ejecución y limitaciones para alcanzar los niveles profundos. Por ello, se planteó como alternativa el diseño de un pique inclinado a 30° , el cual permitiría acceder desde el nivel inferior 2660 hacia el nivel 2410, desde donde el mineral sería evacuado mediante locomotoras y carros mineros hacia superficie.

En el desarrollo de la investigación, se evaluaron las condiciones geológicas, geomecánicas y operativas de la veta Julie 2. La zona de estudio corresponde a un yacimiento aurífero emplazado en el Batolito de Pataz, con mineralización asociada principalmente a cuarzo, pirita y oro. Asimismo, la veta Julie presenta una potencia variable, con valores que llegan hasta 3.03 m y un promedio aproximado de 1.04 m, además de una ley promedio significativa, lo cual justificaba la necesidad de profundizar y explotar los niveles inferiores.

Respecto al diseño propuesto, el pique inclinado fue planteado con una sección de 2.7 m x 2.7 m, una longitud aproximada de 300 m y una inclinación de 30° respecto a la horizontal. Este diseño fue considerado adecuado para el tránsito de personal, traslado de materiales y extracción de mineral y desmonte mediante carros mineros U-35. Además, el proyecto contempló la construcción de estaciones de carga y descarga, pockets o bolsillos de almacenamiento, sistema de ventilación, instalaciones de aire y agua, bombeo, sostenimiento puntual y medidas de seguridad durante el izaje.

En cuanto al sistema de izaje, la investigación desarrolló cálculos técnicos para determinar la capacidad del cable, el tamaño de la tambora, el tiempo de izamiento y la potencia requerida del

motor del winche. Para el transporte del mineral se consideró el uso de carros mineros U-35 de 1 m³, con capacidad de carga calculada tanto para mineral como para desmonte. Asimismo, el autor determinó que el sistema de izaje debía trabajar con un cable adecuado y un winche eléctrico capaz de asegurar el transporte eficiente del material desde los niveles inferiores hasta el punto de descarga. (Barzola Ceras, 2018)

En la tesis titulada “Diseño y construcción del inclinado Nuevo Century para el incremento de producción de la veta Mercedes en la U.E.A. San Juan de Churunga, Arequipa”, elaborada por Choquehuanca Huaylla, se planteó como objetivo principal rediseñar y mejorar el sistema de izaje del pique 7801 del inclinado Nuevo Century, con la finalidad de incrementar la producción de mineral de la veta Mercedes. La investigación se desarrolló en una unidad minera subterránea ubicada en Arequipa, donde se presentaban dificultades operativas relacionadas con la limitada capacidad del sistema de izaje, los tiempos muertos en la extracción y la necesidad de mejorar la ventilación hacia los niveles más profundos.

El autor señala que la problemática principal se encontraba en el área Mercedes, donde la extracción de mineral y desmonte se realizaba mediante el pique principal 7801, el cual contaba con un winche Worthilla Saffer de 60 HP. Este sistema, además de ser utilizado para el izaje, también funcionaba como único ingreso de aire limpio y acceso principal para el personal. Esta situación generaba limitaciones en la operación, debido a que la capacidad del sistema no permitía cumplir al 100 % con el programa de producción exigido por planta, alcanzándose aproximadamente solo el 65 % de cumplimiento. Como consecuencia, se producían cuellos de botella, acumulación de material en los pockets, paradas de frentes de trabajo y tiempos adicionales de izaje.

Frente a esta situación, la investigación propuso el rediseño del sistema de izaje del inclinado Nuevo Century, considerando el cálculo del cable, la selección de un winche óptimo y la mejora del ciclo de trabajo. Asimismo, el estudio incluyó el análisis de la ventilación, debido a que el pique 7801 cumplía una función importante en el ingreso de aire fresco hacia la zona Mercedes. Por ello, el rediseño no solo buscó mejorar la extracción de mineral y desmonte, sino también optimizar las condiciones de ventilación y seguridad para el personal que labora en los niveles profundos.

En cuanto al diseño técnico, el estudio desarrolló cálculos orientados a determinar el cable de izaje más adecuado, la potencia requerida del winche y las dimensiones necesarias para la tambora. Asimismo, se evaluó la implementación de un winche de mayor capacidad, con la finalidad de mejorar el rendimiento del sistema y reducir los tiempos de extracción. El análisis también consideró el uso de skips, la capacidad de los echaderos de mineral y desmonte, así como la comparación entre el sistema inicial y el sistema rediseñado.

Los resultados obtenidos demostraron que el rediseño del sistema de izaje permitió incrementar la producción de mineral de 30 TM/día a 69 TM/día, alcanzando una meta aproximada de 2070 TM mensuales. Además, se logró reducir el costo de izaje de S/ 16.79 a S/ 10.27 por tonelada métrica, lo que evidencia una mejora económica importante para la operación. De igual manera, el rediseño permitió mejorar la circulación de aire en el ducto de ventilación, pasando de 43 060 CFM a 43 941 CFM, favoreciendo mejores condiciones de trabajo en interior mina.

Finalmente, el autor concluye que el rediseño y mejoramiento del sistema de izaje del pique 7801 permitió optimizar la extracción de mineral y desmonte, reducir tiempos muertos, disminuir costos operativos y mejorar la ventilación en la zona Mercedes. Asimismo, se demostró que la selección adecuada del winche, cable y demás componentes del sistema de izaje influye

directamente en la productividad de una operación minera subterránea, especialmente cuando se trabaja en niveles profundos y con limitaciones de acceso. (Choquehuanca Huaylla, 2021)

En la tesis titulada “Propuesta de planeamiento y diseño de un pique inclinado como sistema de extracción de una mina convencional al norte del Perú”, elaborada por Rengifo Arakaki y Crisóstomo Calderón, se tuvo como objetivo principal realizar el planeamiento y diseño de un sistema de extracción mediante pique inclinado para el izaje y transporte de material hacia superficie en una mina convencional ubicada al norte del Perú. La investigación se desarrolló en el contexto de una operación minera artesanal en proceso de expansión, donde la profundización de las labores generaba la necesidad de contar con un sistema de extracción más eficiente, seguro y económicamente viable.

Los autores señalan que la problemática principal se relaciona con la profundización de la mina, debido a que esta situación afecta directamente la ventilación, el transporte y la producción de la operación. En el caso de estudio, el pique vertical que comunicaba el nivel 0 con el nivel 60 se había convertido en un riesgo operativo, por lo que se propuso reemplazarlo mediante la construcción de un pique inclinado. Esta alternativa buscó mejorar el sistema de extracción, reducir riesgos durante el transporte de mineral y desmonte, y responder a las condiciones económicas actuales, principalmente por la variación de precios en insumos mineros como los explosivos.

La investigación considera que los piques inclinados son labores aplicadas en distintas minas por su eficiencia y relativamente baja inversión. En ese sentido, el diseño propuesto conectó el nivel 60 con el nivel 0 de extracción hacia superficie, tomando en cuenta el plan de producción de la mina. Para ello, se analizaron las características del sistema de extracción, tales como cables, motores, carga, capacidad del sistema de izaje, dimensiones del pique, equipos requeridos y condiciones de operación.

En cuanto a las condiciones de la mina, el estudio indica que se trata de un yacimiento aurífero filoneano, con vetas alojadas principalmente en rocas intrusivas de composición granodiorítica y diorítica. Asimismo, la mina utiliza el método de explotación de corte y relleno ascendente convencional con equipos jackleg, debido a las características del yacimiento, la potencia de las vetas, la inclinación del cuerpo mineralizado y las condiciones geomecánicas del macizo rocoso. La operación contaba con equipos de perforación, locomotora, carros mineros U-35, winches de izaje, ventiladores eléctricos y equipos de bombeo, elementos que fueron considerados dentro del planteamiento del sistema de extracción.

Respecto al diseño técnico, el pique inclinado fue planteado con una sección de 2.20 m x 2.20 m y una inclinación negativa de 23°, además de estocadas de seguridad cada 24 m de avance, con un total de cinco estocadas a lo largo de la labor. La construcción se proyectó de manera semimecanizada, utilizando perforadoras jackleg, carros mineros y locomotora. También se consideró la instalación de rieles, durmientes, tuberías de agua, línea eléctrica, manga de ventilación, sistema de bombeo y camino de madera para el tránsito del personal.

La metodología desarrollada incluyó la evaluación geomecánica del macizo rocoso mediante criterios como RMR, RQD y Q de Barton, así como el análisis del sostenimiento requerido para la labor. Además, los autores elaboraron el planeamiento del ciclo de minado, considerando las etapas de perforación, voladura, ventilación, limpieza, sostenimiento, drenaje, bombeo e instalaciones. Del mismo modo, se desarrolló la selección del sistema de izaje, calculando la capacidad de carga, el peso por viaje, el diseño del cable, las dimensiones del tambor del winche y la potencia requerida del motor eléctrico.

En la evaluación económica, la tesis comparó diferentes alternativas de explosivos, considerando Semexa, ANFO y emulsión encartuchada, con el fin de determinar la opción más

conveniente para la construcción del pique. Como resultado, se obtuvo que el proyecto tendría un tiempo de ejecución aproximado de 151 días, con una inversión total cercana a 136 270 USD utilizando ANFO como explosivo. Asimismo, el análisis económico arrojó un VAN aproximado de 10 580 USD, una TIR de 3 % y un periodo de retorno de 6.71 meses desde el inicio de la obra, lo cual permitió concluir que el proyecto era viable bajo las condiciones evaluadas.

Finalmente, los autores concluyen que el planeamiento y diseño de un pique inclinado como sistema de extracción permite mejorar las condiciones operativas de una mina convencional, especialmente cuando se requiere conectar niveles inferiores con superficie. Además, demuestran que el diseño del sistema de izaje, el análisis del ciclo de construcción, la selección adecuada de explosivos y la evaluación económica son aspectos fundamentales para garantizar la viabilidad técnica y económica del proyecto. (Rodrigo Akinori & Crisóstomo Calderón, 2022)

2.2 Bases teóricas de la investigación

2.2.1 *Planeamiento en operación minera subterránea*

La planificación minera es una herramienta fundamental que permite definir la forma más adecuada de extraer las reservas minerales, considerando cómo y cuándo deben ser aprovechadas para obtener el mayor beneficio económico de un proyecto. Este proceso se basa en el conocimiento de los recursos minerales y en la evaluación de las tecnologías disponibles para el desarrollo y explotación del yacimiento.

Mediante la planificación minera se puede estimar la cantidad de mineral disponible, la recuperación metalúrgica esperada, la infraestructura existente, los costos de inversión y operación, el comportamiento probable del mercado, así como las condiciones legales y normativas que intervienen en el desarrollo del proyecto.

Este proceso se realiza de manera progresiva y por etapas, de acuerdo con el tipo de decisiones que se deben tomar y el nivel de detalle requerido en cada fase. Desde el punto de vista del tiempo, la planificación minera puede desarrollarse a largo, mediano o corto plazo, dependiendo de los objetivos de la operación y de las necesidades del proyecto.

El plan minero tiene un carácter estratégico, debido a que durante el desarrollo del proyecto o al finalizar la etapa de exploración no siempre se cuenta con todas las variables completamente definidas. Sin embargo, pueden presentarse cambios importantes en los recursos, reservas, tecnologías o condiciones del mercado, lo que hace necesario elaborar nuevos planes estratégicos y evaluar alternativas de desarrollo, como ampliaciones de capacidad, nuevos proyectos o modificaciones en el uso de los recursos disponibles. (Condori Ccallo, 2019)

Por otro lado, cuando el proyecto se encuentra en una etapa avanzada o final, el plan adquiere un carácter táctico, ya que los principales elementos estratégicos han sido definidos y las decisiones se orientan principalmente a la ejecución y control de las operaciones.

2.2.2 Piques mineros

Los piques mineros son labores verticales o semiverticales que permiten la comunicación entre la superficie y las labores subterráneas. Su función principal es facilitar el traslado de mineral, desmonte, materiales, equipos y personal, además de contribuir al sistema de ventilación de la mina.

Estas labores son importantes dentro de la infraestructura minera, ya que permiten acceder a niveles inferiores cuando el yacimiento se profundiza. Asimismo, facilitan la continuidad de las operaciones de exploración, desarrollo, preparación y explotación, especialmente en minas subterráneas donde el transporte horizontal no es suficiente para evacuar el material extraído.

El diseño de un pique minero debe considerar diversos aspectos técnicos, como la profundidad, la inclinación, la sección de la labor, el tipo de sostenimiento, las condiciones geomecánicas del terreno y el sistema de izaje que se utilizará. De esta manera, se busca garantizar una operación segura, eficiente y adecuada a las necesidades de producción de la mina.

Por seguridad y eficiencia operativa, una mina debe contar como mínimo con dos piques o accesos principales. Uno de ellos puede destinarse a la extracción de mineral, ingreso de materiales, servicios y tránsito de personal, mientras que el otro debe cumplir la función de salida de aire viciado y vía de escape ante posibles emergencias.

En ese sentido, los piques mineros no solo cumplen una función de transporte, sino que también forman parte esencial del sistema de ventilación, seguridad y planificación de una operación subterránea. Por ello, su correcta ubicación y diseño permiten mejorar el rendimiento operativo, reducir tiempos de traslado y asegurar mejores condiciones de trabajo para el personal.

Figura 1
Pique minero



Nota. Representación gráfica de pique minero en unidad minera Barreno.

2.2.3 Sistema de izaje en minería subterránea

A medida que las minas subterráneas alcanzan mayores profundidades, los sistemas de izaje adquieren mayor importancia dentro de las operaciones mineras. Estos sistemas deben ser diseñados de manera adecuada, ya que permiten el traslado seguro y eficiente de mineral, desmonte, materiales, equipos y personal entre los diferentes niveles de la mina y la superficie.

El sistema de izaje en minería cumple una función similar a la de un ascensor, debido a que permite subir y bajar cargas mediante equipos mecánicos especialmente diseñados para soportar esfuerzos elevados. En muchas minas subterráneas del Perú, el winche es considerado uno de los equipos principales para el transporte vertical o inclinado, debido a su capacidad para movilizar cargas en piques, chimeneas o labores inclinadas.

El izaje puede definirse como el conjunto de operaciones destinadas a levantar, bajar, empujar o arrastrar una carga mediante equipos como winches, elevadores eléctricos, hidráulicos o neumáticos, grúas, puentes grúa y tecles. En minería subterránea, este sistema se utiliza principalmente en piques, los cuales son labores verticales o semiverticales que comunican los niveles inferiores con niveles superiores o con la superficie.

Dentro de un pique, el sistema de izaje está conformado por varios componentes que trabajan de manera conjunta para garantizar el movimiento de la carga. Entre los principales elementos se encuentran el winche o tambora, encargado de enrollar y desenrollar el cable; el cable de acero, que transmite la fuerza de tracción; la polea, que guía el movimiento del cable; la jaula, balde o skip, que transporta el material o personal; y la torre o estructura de soporte, que permite el funcionamiento seguro del sistema.

Por ello, el sistema de izaje representa una parte esencial en la operación minera subterránea, ya que influye directamente en la productividad, seguridad y continuidad de las labores. Un diseño adecuado permite reducir tiempos de transporte, mejorar la capacidad de extracción y asegurar mejores condiciones de trabajo durante el traslado de mineral, desmonte y personal. (Compumet, SF)

2.2.4 Componentes de un sistema de izaje

Un sistema de izaje está conformado por diversos elementos que trabajan de manera conjunta para permitir el levantamiento, descenso y transporte de cargas dentro de una operación minera subterránea. Cada componente cumple una función específica y debe ser seleccionado de acuerdo con las características del pique, la carga a transportar y las condiciones de trabajo. (Compumet, SF)

- **Tambora:** La tambora es un cilindro metálico donde se enrolla y desenrolla el cable de acero durante la operación de izaje. Su función es permitir el movimiento controlado de la carga, ya sea para subirla o bajarla dentro del pique. El tamaño de la tambora debe guardar relación con el diámetro del cable, la longitud de izaje y la capacidad del sistema.
- **Motor:** El motor es el componente encargado de proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento del sistema de izaje. Su potencia se determina de acuerdo con la carga que se desea transportar, la profundidad o longitud del pique, la inclinación de la labor y el tipo de equipo utilizado. Una correcta selección del motor permite garantizar un izaje eficiente y seguro.

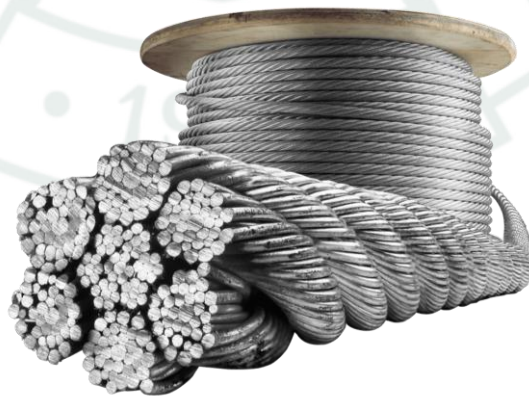
- Sistema de seguridad: El sistema de seguridad tiene como finalidad controlar el funcionamiento del winche y evitar situaciones de riesgo durante la operación. Está compuesto por frenos, sensores y otros dispositivos que permiten regular la velocidad, controlar la aceleración y desaceleración, y detener el sistema ante una falla o emergencia. Este componente es fundamental para proteger al personal, los equipos y la carga transportada.
- Palancas de control: Las palancas de control son los mecanismos que permiten al operador manejar el winche durante el proceso de izaje. A través de ellas se controla el ascenso, descenso y detención de la carga. Por la responsabilidad que implica esta operación, el manejo de las palancas debe estar a cargo de personal autorizado, capacitado y con experiencia en el uso del sistema.
- Cables de izaje: Los cables de izaje son elementos de acero diseñados para soportar cargas pesadas, como mineral, desmonte, materiales o equipos. Su resistencia, diámetro y tipo de construcción dependen de la capacidad de carga requerida, la longitud del pique y las condiciones de trabajo. Estos cables son esenciales, ya que transmiten la fuerza generada por el winche hacia el elemento de transporte.
- Skip, balde o jaula: El skip, balde o jaula es el recipiente o estructura utilizada para transportar mineral, desmonte, materiales o personal, según las necesidades de la operación. En minería subterránea, estos elementos deben contar con las condiciones de seguridad necesarias para evitar caídas, desprendimientos o pérdidas de material durante el izaje.

- **Polea:** La polea es una rueda acanalada por donde pasa el cable de acero. Su función es guiar el movimiento del cable y facilitar el cambio de dirección de la fuerza generada por el winche. Generalmente, en un extremo del cable se encuentra la tambora y en el otro el skip o balde, permitiendo así el desplazamiento de la carga dentro del pique.

2.2.5 Cables de acero en izaje

Los cables de acero son elementos fundamentales dentro del sistema de izaje, ya que permiten transmitir la fuerza necesaria para levantar o descender cargas en labores mineras. Durante la operación, el cable debe apoyarse adecuadamente sobre polines, los cuales deben colocarse a distancias apropiadas, aproximadamente cada 15 metros, con la finalidad de evitar el contacto directo con superficies abrasivas y reducir su desgaste prematuro. Asimismo, es importante realizar una correcta manipulación de los cables durante su instalación, enrollado y desenrollado en tambores o bobinas. Un manejo inadecuado puede ocasionar daños en su estructura, como deformaciones, rotura de hilos, aplastamientos o pérdida de resistencia, lo que podría comprometer la seguridad del sistema de izaje y generar riesgos durante la operación.

Figura 2
Cable de acero en izaje



Nota. Representación de cables de acero usados en minería para izaje.

2.2.6 Winche de izaje

El winche de izaje es una máquina, generalmente accionada por energía eléctrica, que se utiliza para levantar o bajar cargas dentro de una mina subterránea. Su función principal es facilitar la extracción de mineral, desmonte, materiales y equipos a través de piques verticales o inclinados.

En muchas minas del Perú, el winche de izaje es considerado uno de los equipos principales para el transporte vertical o inclinado, debido a su capacidad para movilizar cargas desde niveles inferiores hacia niveles superiores o hacia superficie. Además, puede ser empleado para el traslado de personal, siempre que el sistema cumpla con las condiciones técnicas y exigencias mínimas de seguridad establecidas para este tipo de operación.

Por ello, el winche debe contar con componentes adecuados, como tambora, motor, frenos, cable, poleas y sistemas de control, los cuales deben trabajar de manera coordinada para garantizar un izaje seguro, continuo y eficiente.

Figura 3
Winche de izaje



Nota. Winche de izaje en minería subterránea

2.2.7 *Sistemas de izaje*

El diseño de un sistema de izaje depende directamente de los requerimientos de producción, preparación y desarrollo establecidos en el plan de trabajo de la unidad minera. Para ello, se deben considerar las condiciones de la labor, la profundidad o longitud del pique, la inclinación, el tonelaje a transportar, el tipo de material, los equipos disponibles y la frecuencia de operación.

Dentro del diseño del sistema de izaje es necesario realizar cálculos técnicos que permitan seleccionar correctamente el diámetro del cable de acero y la potencia del motor del winche eléctrico. Estos cálculos son importantes porque garantizan que el sistema tenga la capacidad suficiente para transportar las cargas previstas sin comprometer la seguridad del personal ni la continuidad de las operaciones.

Un sistema de izaje bien diseñado permite optimizar los tiempos de extracción, reducir costos operativos, mejorar la productividad y asegurar un transporte más eficiente del mineral y desmonte desde los niveles inferiores de la mina.

2.2.8 *Pique inclinado*

El pique inclinado es una labor minera subterránea desarrollada con cierta pendiente, cuya finalidad es comunicar diferentes niveles de la mina y facilitar el transporte de mineral, desmonte, materiales, equipos y personal. Este tipo de labor representa una alternativa importante cuando se requiere acceder a zonas mineralizadas ubicadas en niveles inferiores, especialmente en operaciones donde la construcción de rampas resulta complicada o demasiado costosa.

En terrenos de baja calidad geomecánica o considerados incompetentes, las rampas pueden presentar mayores dificultades durante su ejecución, debido a problemas de estabilidad, sostenimiento y mantenimiento. En estos casos, el pique inclinado puede adaptarse mejor a las

condiciones del yacimiento y al diseño de explotación, permitiendo una conexión más directa entre los niveles de trabajo.

Una de las ventajas del pique inclinado es su flexibilidad de diseño, ya que puede ubicarse de acuerdo con la geometría de la veta, la profundidad requerida y las necesidades de producción. Además, puede cumplir varias funciones dentro de la operación minera, como servir de acceso, vía de transporte, labor de servicio, ventilación o instalación para el sistema de izaje.

Para garantizar la estabilidad de este tipo de labor, generalmente se emplean sistemas de sostenimiento como shotcrete, malla electrosoldada y pernos de anclaje, dependiendo de la calidad del macizo rocoso. La selección del sostenimiento debe realizarse en función de las condiciones geomecánicas, la sección del inclinado y el tiempo de vida útil proyectado para la labor.

Los piques inclinados pueden clasificarse de la siguiente manera:

- De un solo compartimento.
- De dos compartimentos ubicados lado a lado.
- De dos compartimentos distribuidos uno sobre otro.

En labores poco profundas y cuando no se cuenta con equipos especiales de profundización, los avances suelen ser limitados, alcanzando aproximadamente entre 5 y 10 metros por semana. Sin embargo, cuando se utilizan equipos mecanizados y una adecuada organización del ciclo de trabajo, los avances pueden incrementarse considerablemente, llegando hasta aproximadamente 30 metros por semana.

Por ello, el pique inclinado constituye una alternativa técnica útil en minería subterránea, ya que permite acceder a niveles inferiores, optimizar el transporte de mineral y desmonte, reducir

costos frente a otras alternativas de profundización y mejorar la continuidad de las operaciones mineras.

2.2.9 Profundización

La profundización en minería subterránea consiste en ejecutar labores que permitan acceder a niveles inferiores del yacimiento, con la finalidad de continuar con la exploración, desarrollo, preparación y explotación de nuevas zonas mineralizadas. Dentro de estas labores, los piques representan una de las obras más importantes, pero también una de las más costosas, debido al tiempo, inversión, equipos, personal especializado y controles de seguridad que requieren para su ejecución.

La profundización de piques es un procedimiento complejo, ya que debe realizarse considerando las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, la profundidad proyectada, la sección de la labor, el sistema de sostenimiento, la ventilación, el drenaje y el método de excavación. Por ello, antes de iniciar este tipo de trabajo es necesario contar con un diseño técnico adecuado que garantice la estabilidad de la labor y la seguridad del personal.

En algunos casos, los piques pueden ejecutarse mediante perforaciones de gran diámetro; sin embargo, en la mayoría de las operaciones subterráneas convencionales se emplea el método tradicional de perforación y voladura. Este método permite avanzar progresivamente en la excavación, generalmente con secciones rectangulares o abovedadas, utilizando sostenimiento de acuerdo con la calidad de la roca, como madera, pernos, malla metálica o shotcrete.

Cuando el pique se desarrolla en roca competente o dura, las exigencias de sostenimiento pueden ser menores, siempre que las condiciones del terreno sean estables. No obstante, en zonas

fracturadas, alteradas o con presencia de agua, se requiere mayor control geomecánico y sostenimiento adicional para evitar desprendimientos o deformaciones en la labor.

La ejecución de un pique puede realizarse de arriba hacia abajo, que es el procedimiento más común, especialmente cuando se inicia desde un nivel superior o desde superficie. Sin embargo, en minas que ya cuentan con labores desarrolladas en niveles inferiores, también puede ejecutarse de abajo hacia arriba, dependiendo del diseño, las condiciones de acceso y los objetivos operativos del proyecto.

En ese sentido, la profundización mediante piques permite prolongar la vida útil de la mina, acceder a nuevas reservas y mantener la continuidad de la producción. Sin embargo, debido a su alto costo y complejidad, requiere una planificación detallada, cálculos adecuados y una evaluación técnica que asegure su viabilidad operativa y económica.

2.3 Hipótesis

El diseño de extracción de mineral mediante pique inclinado permitirá acceder de manera técnica y eficiente a la veta Natividad en el nivel 3150, reduciendo los costos de extracción y mejorando la continuidad operativa en una unidad minera del sur del Perú.

Esta hipótesis se plantea debido a que el pique inclinado constituye una alternativa adecuada para la profundización en minería subterránea convencional, especialmente cuando se requiere acceder a niveles inferiores al nivel principal de extracción. En el caso de la presente investigación, el diseño considera una sección de 2.4 m x 2.1 m, una inclinación de 30° respecto a la horizontal y el uso de carros mineros tipo U-35, condiciones que permiten plantear un sistema de extracción funcional para el traslado de mineral y desmonte.

Asimismo, el sistema de izaje propuesto debe responder a las necesidades de producción, preparación y desarrollo de la labor, considerando elementos como la capacidad de carga, el cable de izaje, el winche, las instalaciones auxiliares, la ventilación y la seguridad durante la operación. Estos aspectos son fundamentales para garantizar que el sistema propuesto funcione de manera continua, segura y económicamente viable.

2.3.1 Variable dependiente

- Diseño del sistema de extracción mediante pique inclinado.

2.3.2 Variable independiente

- Reducción de los costos de extracción de mineral.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Diseño del sistema de extracción mediante pique inclinado	Se evaluará mediante el diseño del pique inclinado para acceder a la veta Natividad en los nivel 3150, considerando la sección, inclinación, sistema de izaje, cable, winche y carros mineros U-35.	Diseño del pique inclinado Sistema de izaje Instalaciones auxiliares	Sección de la labor e inclinación del pique. Cable de acero, potencia del winche y carros mineros U-35. Ventilación, rieles, tuberías y refugios.
Variable dependiente: Reducción de los costos de extracción de mineral	Se determinará mediante la evaluación del costo de extracción por tonelada, capacidad de transporte, tiempos de izaje y factibilidad económica del proyecto.	Costos de extracción Capacidad de extracción Eficiencia operativa	Costo por tonelada extraída. Toneladas extraídas por día y número de carros por viaje. Tiempo de ciclo de izaje y reducción de tiempos muertos.

Nota. Variables consideradas en la presente tesis, tomando como base el diseño de extracción de mineral mediante pique inclinado.



CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Descripción geológica de la minera Barreno

3.1.1 Ubicación

La Unidad Minera Barreno, operada por la Compañía Minera Arirahua S.A. (MINARSA), se encuentra ubicada políticamente en el distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos, en el departamento de Arequipa. Geográficamente, la concesión minera se emplaza en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes del sur del Perú, en una topografía accidentada y agreste, desarrollándose sus operaciones a una altitud que varía entre los 3,100 y 3,700 metros sobre el nivel del mar (msnm). Las labores específicas correspondientes al proyecto del pique inclinado en la Veta Natividad toman como punto de partida la infraestructura subterránea del NV 3150.

3.1.2 Accesibilidad

El acceso a la Unidad Minera Barreno desde la ciudad de Arequipa se realiza a través de un sistema vial interconectado. La ruta principal inicia utilizando la carretera Panamericana Sur, para posteriormente tomar el desvío hacia el noroccidente adentrándose en la provincia de Condesuyos hasta llegar a la jurisdicción del distrito de Yanaquihua.

Esta red de transporte comprende un primer tramo de vía asfaltada de carácter nacional y regional, continuado por carreteras afirmadas y trochas carrozables de uso minero que ascienden hasta la franja altitudinal operativa de la mina (por encima de los 3,100 msnm). El mantenimiento de esta ruta es fundamental y se realiza de manera constante, ya que constituye la vía principal para el abastecimiento logístico de insumos, maquinarias, traslado de personal y el transporte continuo de los minerales extraídos hacia la Planta de Beneficio Yareta para sus procesos de flotación y cianuración.

3.1.3 Generalidades

La Unidad Minera Barreno opera bajo los estándares de la minería subterránea convencional, enfocando sus actividades extractivas en estructuras mineralizadas tipo veta. El método de explotación históricamente aplicado en estas labores es el de corte y relleno, en sus modalidades ascendente y descendente. Las generalidades operativas del proyecto nacen de una limitación económica y técnica: la mina cuenta con recursos de inversión restringidos que inviabilizan la ejecución de rampas mecanizadas de gran sección o labores mediante tecnología Raise Boring. En consecuencia, para no paralizar la profundización de la Veta Natividad, se opta por un diseño técnico semimecanizado mediante un pique inclinado, el cual requiere infraestructura convencional de rieles (líneas cauville), winches eléctricos estacionarios y limpieza manual en los frentes de avance.

3.2 Alcances y Limitaciones

3.2.1 Alcances

El alcance técnico e ingenieril de esta investigación comprende el planeamiento integral y el diseño analítico de un pique inclinado destinado a la extracción en la Veta Natividad. Específicamente, el estudio abarca:

- El diseño geométrico de una labor de 2.4 m de ancho por 2.1 m de alto, con una gradiente descendente continua de 30° respecto a la horizontal.
- El cálculo y selección de los componentes electromecánicos de izaje, estipulando el uso de un cable de acero tipo Flattened-Triangular Strand u homólogo de 24 mm de diámetro, capaz de soportar una masa total en movimiento de 7.897 tm.

- El dimensionamiento paramétrico de un tambor de winche eléctrico con un diámetro exigido de 1152 mm (aproximadamente 45 pulgadas) y el empleo del modelo Worthilla Saffer de 60 HP de potencia nominal.
- El diseño de una malla de perforación optimizada de 42 taladros, fundamentada en el método matemático de Roger Holmberg.

3.2.2 Limitaciones

El desarrollo y la aplicabilidad de los resultados de este proyecto se encuentran sujetos a las siguientes restricciones operativas de la unidad minera:

- Restricción de Equipos de Transporte: El modelo de extracción está limitado estrictamente al uso de carros mineros tipo U-35. Dado que poseen una capacidad nominal volumétrica de 1 m³ (35 pies cúbicos), y aplicando un factor de carguío operativo del 80%, el peso por viaje para el mineral se restringe a un máximo de 5.31 tm, limitando la configuración a 3 carros por ciclo de izaje.
- Restricción Geomecánica y de Sostenimiento: El estudio no prevé un sostenimiento sistemático continuo a lo largo del inclinado. El diseño contempla que la instalación de elementos de fortificación (pernos de roca tipo *split set* de 6 pies y cuadros de madera) se aplique de manera netamente puntual y correctiva, solo en aquellas secciones estratigráficas que presenten inestabilidad manifiesta tras el desate manual.
- Restricciones de Jornada: El modelo de organización del trabajo restringe los ciclos operativos a dos guardias diarias en turnos de 12 horas, contando con una cuadrilla

máxima de 8 trabajadores por turno (incluyendo al perforista principal, lamperos manuales y el operador del winche).

3.3 Tipo y Nivel de Investigación

3.3.1 Tipo de Investigación

La investigación se clasifica como un estudio de tipo aplicada y tecnológica. Es aplicada debido a que hace uso del acervo teórico de la ingeniería de minas, la resistencia de materiales. Su carácter tecnológico radica en la creación de un estándar estandarizado de diseño (secciones, potencias de motores, distribución de malla) que moderniza y mecaniza parcialmente las operaciones de una mina convencional.

3.3.2 Nivel de Investigación

El estudio ostenta un nivel descriptivo y explicativo. En su fase descriptiva, el trabajo expone de forma pormenorizada y cuantitativa las magnitudes involucradas en el fenómeno, tales como la potencia de fricción de rodamiento calculada en 91.35 W, la fricción del cable en 86.6 W, y los tiempos de ciclo establecidos en 117 segundos por viaje. En su fase explicativa, la investigación demuestra la relación de dependencia entre las variables de estudio, justificando matemática y económicamente de qué manera el diseño propuesto del pique inclinado (variable independiente) genera como efecto causal la reducción directa de los costos de extracción del mineral (variable dependiente).

3.4 Población y Muestra o universo

3.4.1 Población

El universo o población objeto de este proyecto de investigación minera está constituido por el total de reservas probadas y probables, estructuras geológicas, infraestructuras subterráneas,

niveles operativos activos y pasivos que conforman integralmente la concesión de la Unidad Minera Barreno.

3.4.2 Muestra

Para fines de la contrastación de la hipótesis, se ha seleccionado una muestra no probabilística y dirigida (por conveniencia operativa). La muestra está conformada estrictamente por el bloque mineralizado de la Veta Natividad que se ubica por debajo del nivel de extracción actual, proyectándose desde las instalaciones base en el NV 3150 con la finalidad de interceptar económicamente los recursos ubicados.

3.5 Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

El marco metodológico se apoyó en los siguientes enfoques sistémicos para la obtención rigurosa de los parámetros de campo:

- **Métodos:** Se empleó el método científico-analítico fundamentado en la mecánica de rocas. Esto permitió descomponer el problema general del izaje en subsistemas evaluables (aceleración, fricción, inercia de masas).
- **Técnicas:** Se utilizó la observación estructurada en el área del NV 3150 para el levantamiento topográfico de los espacios físicos disponibles. Adicionalmente, se ejecutó una revisión documental exhaustiva de los registros geológicos históricos de la mina para determinar los pesos específicos y humedades del macizo.
- **Instrumentos:** El levantamiento de información y el diseño se valieron de herramientas matemáticas estandarizadas en la industria. Para el dimensionamiento del arranque se utilizó la fórmula iterativa de Roger Holmberg, estableciendo un diámetro ficticio de alivio de 0.072 m. Para el sistema electromecánico, se aplicaron

ecuaciones de potencia cinética, resultando en instrumentos de control que exigen una potencia de aceleración de 8.12 kW y de desaceleración de 10.02 kW en el tambor.

3.6 Plan de análisis de los datos

El procesamiento y validación técnica de la información obtenida en campo se estructuró conforme al siguiente plan de análisis de ingeniería:

- Evaluación de Capacidades y Cargas: Se consolidaron las densidades de la roca (2.88 t/m³ mineral, 2.73 t/m³ desmonte) junto con el factor de esponjamiento para determinar que la carga útil por viaje de 3 carros mineros es de 5.31 tm. Esta data se cruzó con el peso del cable de izaje (955.8 kg) y la tara de los equipos para modelar el esfuerzo de tracción.
- Análisis Cinemático del Izaje: Se procesó el perfil de velocidad del cable (1.82 m/s) y los tiempos de aceleración (10 s) y desaceleración (8 s) para certificar que el motor de 60 HP garantice la continuidad sin caídas de tensión ni fatiga de materiales.
- Análisis Espacial de la Voladura: Los datos derivados del algoritmo de Holmberg se tabularon en un esquema CAD para proyectar la sección transversal del inclinado. Se procesaron las variables de burden práctico (0.1099 m para el arranque, 0.46 m para el arrastre, 0.30 m para la corona) y espaciamiento (0.54 m general) para distribuir los 42 taladros de manera simétrica, minimizando la sobre-rotura y controlando el daño en los hastiales.
- Contrastación Económica (Variable Dependiente): Finalmente, los resultados de los ciclos mecánicos validados se ingresarán a un análisis de costos unitarios

comparativos. El objetivo del procesamiento de esta base de datos es confirmar de manera fehaciente que el rediseño mediante pique inclinado abarata la extracción por tonelada respecto a un modelo de profundización netamente convencional o al uso extendido de rampas de baja eficiencia.





CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Determinación de la línea base

La determinación de la línea base constituye el punto de partida operativo y técnico del proyecto, estableciendo las condiciones iniciales bajo las cuales se desarrolla la profundización de la Veta Natividad en la unidad minera Barreno. Esta etapa define los parámetros fundamentales de producción, organización laboral, estándares de excavación y requerimientos de servicios auxiliares necesarios para garantizar un ciclo de minado seguro y eficiente.

4.1.1 Datos generales de la labor

- **Objetivo de Producción y Sistema de Extracción:** El objetivo principal de producción establecido para el Proyecto Inclinado Veta Natividad es alcanzar un ritmo sostenido de extracción. Adicionalmente, el sistema contempla la capacidad técnica para evacuar el material estéril o desmonte generado producto del avance en las labores de desarrollo. El sistema de extracción diseñado permite transportar ambos materiales a través de las galerías.
- **Estándar de la Sección Geométrico:** La labor del inclinado es una excavación crítica que marca el inicio de la etapa de explotación de la Veta Natividad. Esta infraestructura se desarrolla directamente sobre el mineral mediante circado, con el fin de conformar un piso base que facilite el deslizamiento de la carga hacia la tolva de almacenamiento. El diseño técnico establece una sección terminada de 2.4 m de ancho por 2.1 m de alto, la cual avanza perpendicularmente a una línea de inclinación de 30° respecto a la horizontal.

- Organización del Trabajo: Para garantizar una extracción continua y el cumplimiento de las metas de producción, las actividades operan las 24 horas del día. El régimen laboral está estructurado en dos guardias diarias, operando con turnos de 12 horas cada uno. La ejecución del proyecto, con punto de partida en el nivel 3150, exige una dotación de personal específica de 8 trabajadores por turno: 2 perforistas principales, 4 ayudantes de perforación, 1 operador de winche y 1 ayudante de winchero.
- Proceso de Limpieza: Tras la detonación de los frentes de avance, el material fragmentado es removido de forma manual. Una cuadrilla asignada de dos lamperos se encarga de cargar el material directamente a los carros mineros U-35. Una vez cargados, se procede con el izaje y se repite el ciclo hasta despejar el frente. Las acumulaciones de agua producto de filtraciones o perforación son controladas y evacuadas mediante la instalación de una bomba neumática.
- Sostenimiento: El esquema de fortificación de la labor está diseñado para ser aplicado de forma puntual y correctiva. Solamente en aquellas zonas que presenten inestabilidad estructural manifiesta, se procede con la instalación de pernos de roca y cuadros de madera completos para asegurar el macizo. En los sectores críticos evaluados tras el desate, se refuerza el área utilizando pernos tipo *split set* de 6 pies.
- Instalaciones y Servicios Auxiliares: Una vez asegurado el frente y finalizada la limpieza, se instalan progresivamente los componentes requeridos para dar continuidad a la profundización del pique. Estos servicios comprenden:

- Tendido de la línea de riel provisional (línea de cauville) apoyada sobre durmientes de madera de 12.7 cm x 17.78 cm x 1.20 m para el tránsito del sistema de izaje.
- Instalación de la red de tuberías soportadas por alcayatas ancladas a 1.80 m de altura en el hastial opuesto al camino peatonal: tubería para aire comprimido de 4 pulgadas y tubería de agua de 2 pulgadas para la perforación.
- Colocación de la manga de ventilación en la zona central superior (aprox. a 2.0 metros de altura) para garantizar el flujo de aire sin interferir con el paso del personal, acompañada de una manga de sacrificio para las zonas de mayor desgaste en el frente de voladura.
- Construcción de refugios peatonales ubicados en uno de los hastiales, distribuidos cada 25 metros a lo largo de la labor, con dimensiones estándar de 1.20 m de ancho, 1.80 m de alto y 1.20 m de profundidad.

4.1.2 Objetivo de Producción

El objetivo principal de producción del Proyecto Inclinado Veta Natividad es alcanzar una extracción de mineral optima con el diseño planteado en su construcción, considerando también el material estéril o desmonte generado durante las actividades de desarrollo en los niveles del sistema de explotación subterránea.

4.1.3 Sistema de Extracción

El sistema de extracción empleado en el proyecto inclinado veta Natividad está diseñado para el transporte de mineral y material estéril a través de las galerías subterráneas.

4.1.4 Producción por Nivel

En la galería GA, se realiza la extracción de 10 TM/día de mineral, además de la extracción del material estéril o desmonte, maximizando la utilización de los recursos disponibles en cada ciclo de extracción.

4.1.5 Organización del Trabajo

Las labores de extracción en el Proyecto Inclinado Veta Natividad se llevarán a cabo mediante dos guardias por día, con turnos de 12 horas cada uno. Las operaciones se iniciarán en el nivel 3150, garantizando la continuidad de las actividades durante las 24 horas del día, permitiendo una extracción continua y eficiente del mineral.

4.1.6 Proceso de Limpieza del Producto de Voladura

El material proveniente de la voladura será transportado al carro minero U-35 mediante un proceso manual de limpieza, utilizando dos lamperos. Una vez cargado el material, se procederá al izaje del mismo, repitiendo este ciclo hasta finalizar con la remoción total del material. En cuanto al agua que se pueda acumular durante el proceso, se procederá a su extracción utilizando una bomba neumática, garantizando así el control adecuado del agua y el buen funcionamiento de las operaciones.

4.1.7 Sostenimiento

Este proceso se llevará a cabo únicamente en áreas específicas que presenten inestabilidad. En dichos casos, se procederá a la instalación de pernos de roca y cuadros completos para garantizar la estabilidad. De manera puntual, se utilizará el sistema split set de 6 pies para reforzar las zonas más críticas.

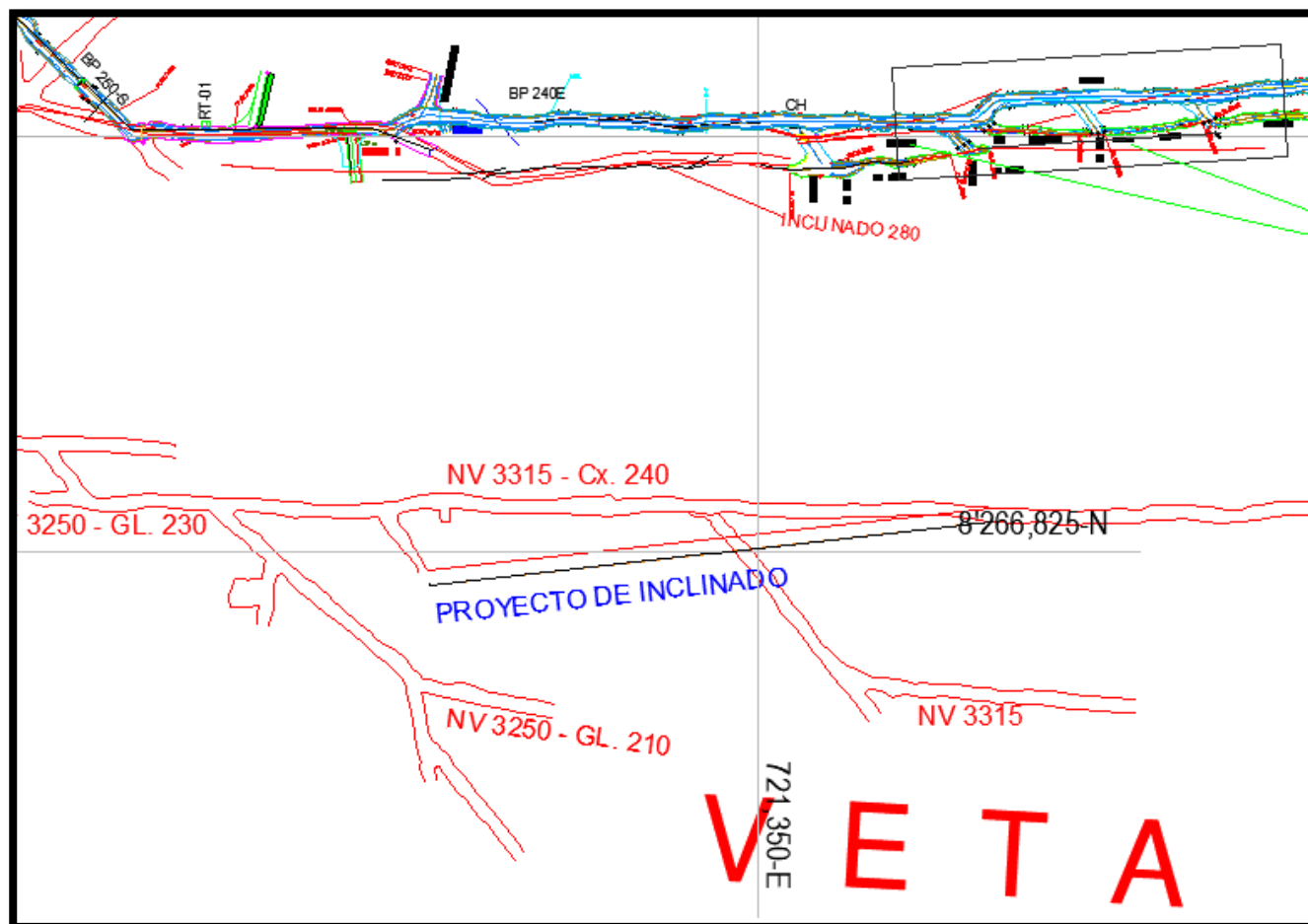
4.1.8 Instalaciones

Una vez completada la limpieza y cuando la distancia lo requiera, se iniciará la siguiente fase, que consiste en las instalaciones necesarias para continuar con la profundización del pique. Esta etapa incluye la implementación de los sistemas y estructuras que permitirán el avance seguro y eficiente en las labores subterráneas.

- Instalación de una línea de riel provisional para el avance.
- Colocación de durmientes de apoyo, sobre las cuales se dispondrá la línea de cauville.
- Instalación de tuberías de aire y agua necesarias para las operaciones de perforación.
- Ampliación de la manga de ventilación, asegurando un flujo adecuado de aire en las labores subterráneas.
- Instalación de la manga de sacrificio, que proporcionará la estructura necesaria para las operaciones en condiciones de alta demanda o desgaste.

Figura 4

Veta Natividad proyecto de inclinado



Nota. Diagrama del proyecto veta Natividad NV 3150.

4.1.9 Personal necesario para realización del trabajo

Para la ejecución del proyecto de excavación del pique inclinado, se dispondrá de personal dividido en turnos de trabajo de 8 horas. El equipo que operará durante el primer turno será el siguiente:

Tabla 2
Personal para ejecución de proyecto

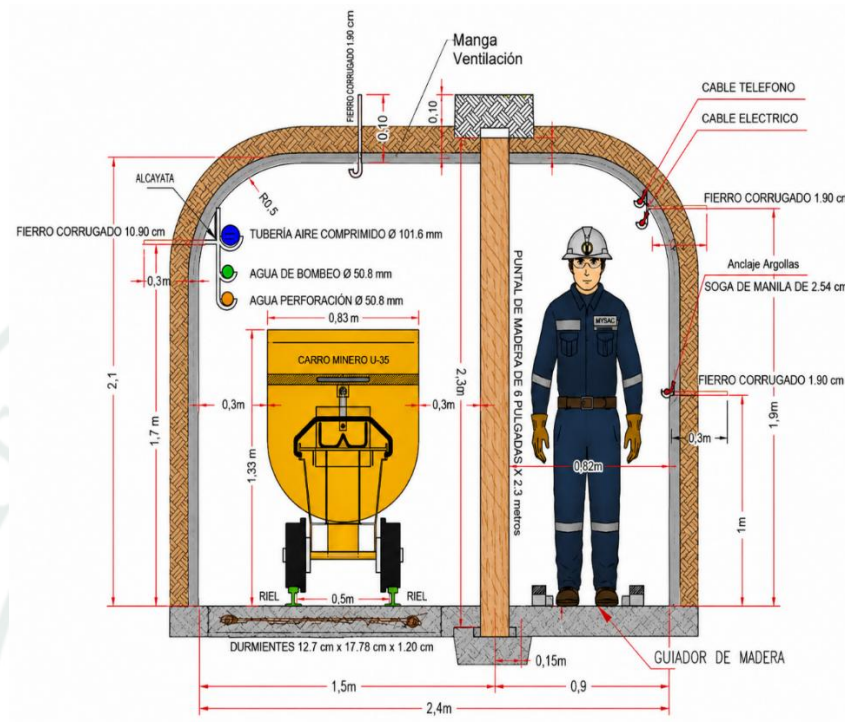
Cargo	Cantidad
Perforista principal	02
Ayudante de perforación	04
Operador de winche	01
Ayudante del winchero	01
Total	08

Nota. Personal necesario para ejecución del proyecto de pique inclinado.

4.1.10 Estándar de sección del inclinado

La labor en el inclinado será crucial para dar paso a la etapa de explotación de la Veta Natividad. Esta actividad se desarrollará sobre el mineral, realizando un circado. El principal objetivo de esta labor es crear un piso base que permita el deslizamiento de la carga hasta la tolva de almacenamiento. La sección del inclinado se ha diseñado en función de los ejes de la veta y su gradiente, siendo perpendicular a una línea imaginaria con una inclinación de 30°.

Figura 5
Estándar de sección de un inclinado



Nota. Representación del estándar para la construcción de un inclinado.

Tabla 3
Instalación de servicio auxiliar

Servicio auxiliar	Descripción de la instalación
Alcañata	Se instalarán para las tuberías de aire comprimido con un diámetro de 4 pulgadas y para las tuberías de agua de perforación con un diámetro de 2 pulgadas.
Refugios	Se ubicarán a un lado del camino, distribuidos cada 25 metros. Sus dimensiones serán de 1.20 m de ancho, 1.80 m de altura y 1.20 m de largo.
Cable eléctrico	Se colocará a un lado del camino del carro minero, a una altura de 1.90 m respecto al nivel del suelo.
Tubería de agua	Será instalada en el hastial contrario al camino, con la alcañata fijada a una altura de 1.80 m del suelo.
Tubería de aire comprimido	Se posicionará en el hastial opuesto al camino, con la alcañata anclada a una altura de 1.80 m.

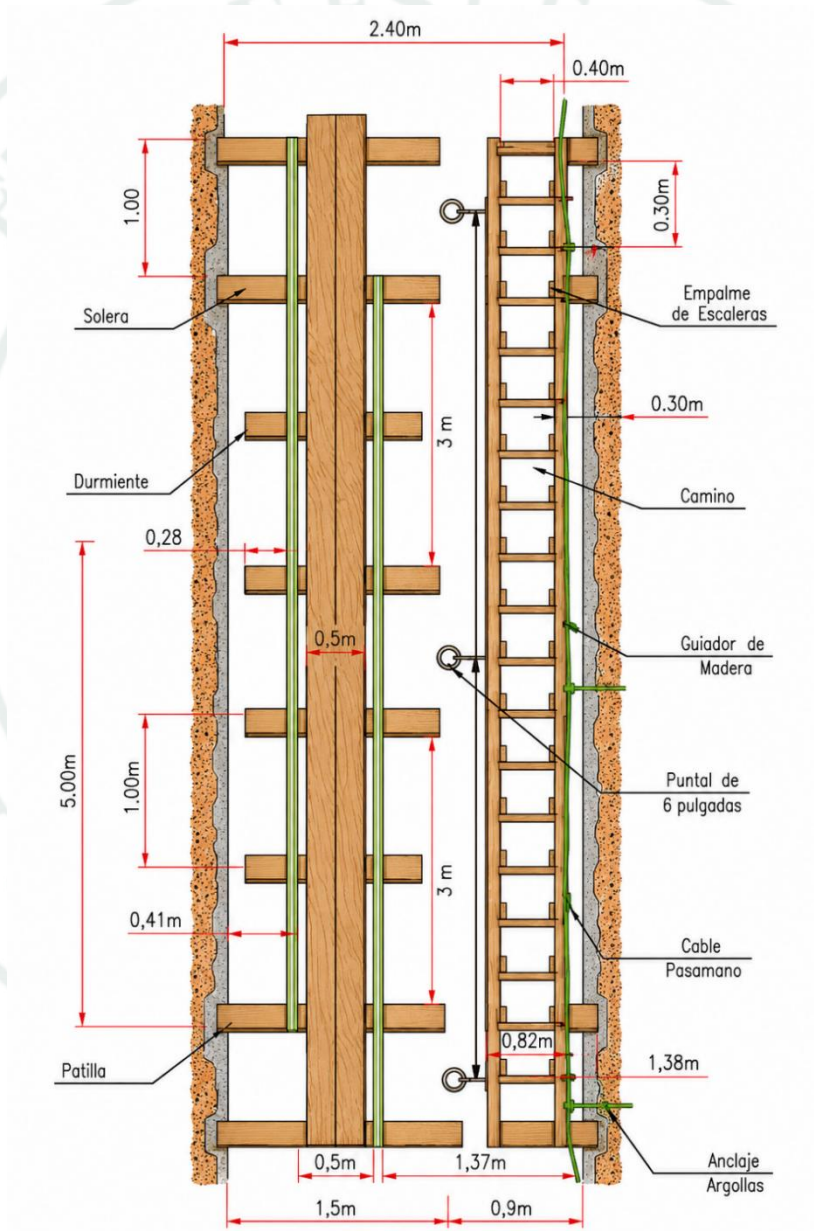
Manga de ventilación

Se instalará sobre el camino, a una altura de aproximadamente 2.0 metros, asegurándose de que no obstruya el paso de los trabajadores ni interfiera con sus actividades.

Nota. Descripción de instalación de los servicios auxiliares.

Figura 6

Vista en planta de estándar de inclinado



Nota. Representación gráfica de inclinado para operación minera subterránea.

4.1.11 Cálculo de capacidad de carga

Debido a que los carros mineros U35 tienen una capacidad nominal de 35 pies³ (1 m³), se procede a calcular la capacidad de carga de estos carros utilizando la siguiente fórmula:

$$C = \frac{V_c \cdot \rho \cdot f_c}{1 + e}$$

Donde:

- C = Capacidad de carga (toneladas)
- V_c = Volumen del carro minero U35 (m³)
- ρ = Densidad de la roca (toneladas por m³)
- f_c = Factor de carguio
- e = Esponjamiento (%)

Para realizar este cálculo, se consideran los siguientes valores para la fórmula, asumiendo una humedad para ambos casos de 3%

- **Mineral**

$$p_{\text{mineral}} = 2.8 \text{ t/m}^3 + 3\% (2.8 \text{ t/m}^3) = 2.88 \text{ t/m}^3$$

- **Desmonte**

$$p_{\text{desmonte}} = 2.65 \text{ t/m}^3 + 3\% (2.65 \text{ t/m}^3) = 2.73 \text{ t/m}^3$$

El factor de carguío utilizado es del 80%

El esponjamiento (e) varía dependiendo de si se trata de mineral o desmonte:

- Para el mineral: $e = 30\%$
- Para el desmonte: $e = 40\%$

4.1.12 Cálculo de capacidad de carga

- **Para mineral:**

$$C = \frac{(1 \text{ m}^3) \cdot (2.88 \text{ t/m}^3) \cdot (0.80)}{(1+0.3)} = 1.77 \text{ t}$$

- **Para desmonte:**

$$C = \frac{(1 \text{ m}^3) \cdot (2.73 \text{ t/m}^3) \cdot (0.80)}{(1+0.4)} = 1.56 \text{ t}$$

Si se va a izar 3 carros por viaje, el peso del material por viaje es el siguiente:

- **Peso por viaje (Mineral):**

$$3 \text{ carros mineros/viaje} \cdot 1.77 \text{ t/carro minero} = 5.31 \text{ t/viaje}$$

4.1.13 Cálculo del cable de izaje

- **Cálculo de la masa del cable de izaje**

La masa del cable de izaje se calcula usando la fórmula:

$$m [\text{kg/m}] = 0.41 \cdot (d)^2$$

$$m [\text{kg/m}] = 0.41 \cdot (2.4)^2$$

$$m [\text{kg/m}] = 2.36$$

Donde d es el diámetro del cable, en este caso de 2.4 cm, obteniendo una masa de 2.36 kg/m.

▪ **Cálculo de la fuerza de ruptura**

Se utiliza la fórmula:

$$S[\text{kN}] = 55 \cdot (d)^2$$

Reemplazando el diámetro de 2.4 cm, se obtiene una fuerza de ruptura de 316.8 N.

▪ **Cálculo de la masa total del sistema de izaje**

La masa total del sistema de izaje se calcula sumando:

- Peso a manipular: 5.31 tm
- Pesos de los carros mineros: 2.1 tm
- Masa del cable: 472 kg
- Masa del cable recogido durante la aceleración y desaceleración: 15.03 kg cada una.
- Longitud del cable en total 405 m
- Masa del cable total: 955.8 kg
- **La masa total es 7.897 tm**

▪ **Cálculo de la velocidad y el tiempo del viaje**

Se calcula el tiempo de un viaje de un solo sentido, excluyendo paradas:

$$t = \frac{200}{1.82} + 0.5(7 + 7) = 117 \text{ segundos}$$

Donde se incluye el tiempo de aceleración y desaceleración.

▪ **Cálculo de las dimensiones del tambor con winche**

Usando la fórmula:

$$\frac{\text{Diámetro del cable}}{\text{Diámetro del tambor}} = \frac{1}{48}$$

$$\frac{24 \text{ mm}}{\text{Diámetro del tambor}} = \frac{1}{48}$$

$$\text{Diámetro del tambor} = 1152 \text{ mm}$$

Se determina que el diámetro exigido del tambor es de **1152 mm**, aproximadamente **45 pulgadas**.

Estos cálculos son fundamentales para el correcto dimensionamiento y operación del sistema de izaje en el caso de estudio, garantizando un rendimiento óptimo y la seguridad del sistema.

Tabla 4
Análisis de carga

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	CÁLCULO	VALOR
W	Peso a manipular	1.59t x 3 x 1000 Kg/Ton	5.31 tm
W _s	Pesos carros mineros	700kg x 3	2100 Kg
W _r	Masa del cable = L x peso del cable	200m x 2.36 Kg/m	472 Kg
W _a	Masa del cable recogido durante la aceleración	0.5 x 1.82m/s x 7 x 2.36 Kg/m	15.03 Kg
W _β	Masa del cable recogido durante la desaceleración	0.5 x 1.82m/s x 7 x 2.36 Kg/m	15.03 Kg
W _o	Peso total del cable	472 + (180 + 25) x 2.36 Kg/m	955.8 Kg

W_o	Masa semejante de las partes en movimiento	$(194 + 75 \times 0.750) \times 0.406$	41.25 Kg
W_r^t	Masa total del sistema de izaje	$4770 + 2100 + 955.8 + 41.25$	7.897 tm

Nota. Análisis de carga

4.1.14 Cálculo de la Potencia del Motor de Winche para el Sistema de Izaje

▪ Potencia de Aceleración (Máxima)

Fórmula:

$$P = \frac{W' \cdot V^2}{32.2 \cdot 10^2 \cdot t_a}$$

Descripción de las variables:

- P : Potencia del winche en kW.
- W' : Masa total del sistema de izaje, incluyendo el material a manipular, los carros mineros, y el cable (kg).
- V : Velocidad máxima del cable de izaje (m/s).
- t_a : Tiempo de aceleración del sistema de izaje (s).
- 32.2: Factor de conversión que representa la gravedad en unidades m/s².
- 10²: Factor de conversión para obtener las unidades correctas en kW.

Fórmula extendida con valores:

$$P = \frac{7897 \text{ Kg} \cdot (1.82 \text{ m/s})^2}{32.2 \cdot 10^2 \cdot 10 \text{ s}} = \frac{7897 \cdot 3.31}{3220} = 8.12 \text{ kW}$$

▪ **Potencia de Desaceleración (Máxima)**

Fórmula:

$$P = \frac{W' \cdot V^2}{32.2 \cdot 10^2 \cdot t_b}$$

Descripción de las variables:

- P : Potencia del winche en kW.
- W' : Masa total del sistema de izaje (kg).
- V : Velocidad máxima del cable de izaje (m/s).
- t_b : Tiempo de desaceleración del sistema de izaje (s).
- 32.2: Factor de conversión para la gravedad en unidades m/s².
- 10²: Factor de conversión para obtener las unidades correctas en kW.

Fórmula extendida con valores:

$$P = \frac{7897 \text{ Kg} \cdot (1.82 \text{ m/s})^2}{32.2 \cdot 10^2 \cdot 8 \text{ s}} = \frac{7897 \cdot 3.31}{2576} = 10.02 \text{ kW}$$

▪ **Potencia al Inicio (Equivalente)**

Fórmula:

$$P = \frac{(w + w_r + w_s) \cdot v_s \cdot \sin(\theta)}{10^2}$$

Descripción de las variables:

- P : Potencia del winche en kW.

- w : Masa del material a manipular (kg).
- w_r : Masa del cable de izaje (kg).
- w_s : Masa de los carros mineros (kg).
- v_s : Velocidad del cable de izaje (m/s).
- θ : Ángulo de inclinación del sistema de izaje (grados).
- 10^2 : Factor de conversión para obtener las unidades correctas en kW.

Fórmula extendida con valores:

$$P = \frac{(4770 + 472 + 2100) \cdot 1.82 \cdot \sin(30^\circ)}{10^2} = \frac{6342 \cdot 1.82 \cdot 0.5}{100} = 6.68 \text{ kW}$$

▪ **Potencia en la Velocidad Máxima (al Final de la Aceleración)**

Fórmula:

$$P = \frac{(w + w_r + w_s - w_a) \cdot v_s \cdot \sin(\theta)}{10^2}$$

Descripción de las variables:

- P : Potencia del winche en kW.
- w : Masa del material a manipular (kg).
- w_r : Masa del cable de izaje (kg).
- w_s : Masa de los carros mineros (kg).
- w_a : Masa del cable enrollado durante la aceleración (kg).

- v_s : Velocidad del cable de izaje (m/s).
- θ : Ángulo de inclinación del sistema de izaje (grados).
- 10^2 : Factor de conversión para obtener las unidades correctas en kW.

Fórmula extendida con valores:

$$P = \frac{(4770 + 472 + 2100 - 15.03) \cdot 1.82 \cdot \sin(30^\circ)}{10^2}$$

$$P = \frac{7326.97 \cdot 1.82 \cdot 0.5736}{100}$$

$$P = 6.67 \text{ kW}$$

▪ **Potencia al Final de la Desaceleración (Potencia Equivalente)**

Fórmula:

$$P = \frac{(w + w_s) \cdot v_s \cdot \sin(\theta)}{10^2}$$

Descripción de las variables:

- P : Potencia del winche en kW.
- w : Masa del material a manipular (kg).
- w_s : Masa de los carros mineros (kg).
- v_s : Velocidad del cable de izaje (m/s).
- θ : Ángulo de inclinación del sistema de izaje (grados).

- 10^2 : Factor de conversión para obtener las unidades correctas en kW.

Fórmula extendida con valores:

$$P = \frac{(4770 + 2100) \cdot 1.82 \cdot \sin(35^\circ)}{10^2} = \frac{6870 \cdot 1.82 \cdot 0.5736}{100} = 6.79 \text{ kW}$$

▪ Potencia por fricción promedio para piques inclinados

Donde:

- **7a**: Potencia de **fricción mecánica**
- **7b**: Potencia de **fricción de rodamiento**
- **7c**: Potencia de **fricción del cable**
- A continuación, vamos a desarrollar cada componente de la fórmula.

▪ Potencia de Fricción Mecánica (7a)

La fórmula para la potencia de fricción mecánica es la siguiente:

$$7a = ((w + ws + 0.5wr) \sin(\theta) + (7b + 7c)) \times \left(1 - \frac{E}{E}\right)$$

Descripción de las Variables y Unidades:

- w : Masa del material a izar (kg)
- ws : Masa del skip (kg)
- wr : Masa del cable (kg)
- θ : Ángulo de inclinación ($^\circ$)
- **7b**: Potencia de fricción de rodamiento (W)

- $7c$: Potencia de fricción del cable (W)
- E : Eficiencia del sistema de izaje (adimensional)

Desarrollo de la Fórmula

- Masa total: Supongamos que el material a izar tiene una masa de $w = 2000$ kg, el skip tiene $ws = 1500$ kg, y la masa del cable es $wr = 1000$ kg.

$$w + ws + 0.5wr = 2000 + 1500 + 0.5 \times 1000 = 3500 \text{ kg}$$

- Ángulo de inclinación: Supongamos que el ángulo de inclinación es $\theta = 30^\circ$, por lo que:

$$\sin(30^\circ) = 0.5$$

- Cálculo de la potencia mecánica de fricción:

$$3500 \times 0.5 = 1750 \text{ kg}$$

- Sustitución de valores:

$$7a = (1750 + (7b + 7c)) \times \left(1 - \frac{E}{1}\right)$$

Si la eficiencia es $E = 0.9$, el factor de eficiencia será $1 - \frac{0.9}{1} = 0.1$.

▪ **Potencia de Fricción de Rodamiento (7b)**

La fórmula para la potencia de fricción de rodamiento es la siguiente:

$$7b = (w + ws) \times v \times 0.02 \cos(\theta)$$

Descripción de las Variables y Unidades:

- w : Masa del material a izar (kg)
- ws : Masa del skip (kg)
- v : Velocidad de izaje (m/s)
- θ : Ángulo de inclinación ($^{\circ}$)
- 0.02: Coeficiente de fricción de rodamiento (adimensional)
- $\cos(\theta)$: Componente de fricción según el ángulo de inclinación (adimensional)

Desarrollo de la Fórmula

Suma de las masas:

$$w + ws = 2000 + 1500 = 3500 \text{ kg}$$

Velocidad de izaje:

$$v = 2 \text{ m/s.}$$

Ángulo de inclinación:

$$\text{Para } \theta = 30^{\circ}, \cos(30^{\circ}) = 0.866.$$

Sustitución en la fórmula:

$$7b = 3500 \times 2 \times 0.02 \times 0.866 = 91.35 \text{ W}$$

▪ **Potencia de Fricción del Cable (7c)**

La fórmula para la **potencia de fricción del cable** es la siguiente:

$$7c = wr \times 0.10 \cos(\theta)$$

Descripción de las Variables y Unidades:

- wr : Masa del cable (kg)
- θ : Ángulo de inclinación ($^{\circ}$)
- 0.10: Coeficiente de fricción del cable (adimensional)
- $\cos(\theta)$: Componente de fricción según el ángulo de inclinación (adimensional)

Desarrollo de la Fórmula:

- Masa del cable ($wr = 1000 \text{ kg}$).
- Ángulo de inclinación:

$$\text{Para } \theta = 30^{\circ}, \cos(30^{\circ}) = 0.866.$$

- Sustitución en la fórmula:

$$7c = 1000 \times 0.10 \times 0.866 = 86.6 \text{ W}$$

- **Potencia Total de Fricción Promedio**

Finalmente, la **potencia total de fricción** es la suma de las tres componentes de fricción:

$$\text{Potencia total de fricción} = 7a + 7b + 7c$$

Sustituyendo los valores obtenidos de los cálculos anteriores:

$$\text{Potencia total de fricción} = 2178 \text{ W} + 91.35 \text{ W} + 86.6 \text{ W} = 2355.95 \text{ W}$$

4.1.15 Características del WINCHE

En el Proyecto Inclinado Veta Natividad se utiliza el winche Worthilla Saffer de 60 HP, el cual está diseñado específicamente para el izaje de material estéril y mineral. Este equipo permite una operación eficiente y continua, siendo esencial en el proceso de extracción subterránea. A continuación, se detallan las características principales del winche Worthilla Saffer de 60 HP:

- Potencia nominal: 60 caballos de fuerza (HP).
- Capacidad de izaje: Adecuada para el transporte de mineral y material estéril desde las galerías subterráneas hasta la superficie.
- Tipo de accionamiento: Motor eléctrico.
- Sistema de freno: Incorporado para asegurar la seguridad y control del izaje.
- Velocidad de izaje: Ajustable según las necesidades operativas.
- Dimensiones: Compacto para facilitar su instalación en espacios subterráneos.

- Refrigeración: Sistema de enfriamiento adecuado para mantener la eficiencia operativa en condiciones extremas.

Tabla 5
Características de winche

CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDAD
Potencia del motor	250	Caballos de fuerza (HP)
Altura de izaje	328	Metros (m)
Carga útil del skip	2.8	Toneladas métricas (TM)
Volumen del skip	1.6	Toneladas métricas (TM)
Diámetro del cable	1	Pulgadas
Peso nominal del cable	2.8	Kilogramos por metro (Kg/m)
Tracción máxima (Line Pull)	15,500	Libras
Carga suspendida	20,800	Libras
Dimensiones de los tambores	60" x 48"	Pulgadas

Nota. Características de winche de acuerdo con lo requerido.

4.2 Malla de perforación y voladura

- **Diseño de la malla por el método matemático de Roger Holmberg**

$$H = 0.15 + 34 \times \theta - 39.4 \times \theta^2$$

Donde:

- H : Profundidad del disparo
- θ : Diámetro del tiro de alivio (m)

Para hallar el diámetro de perforación equivalente que reemplaza las cuatro perforaciones de alivio, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Df = 0.036 \cdot \sqrt{n}$$

Donde:

- Df : Diámetro ficticio de la perforación de alivio
- n : Número de perforaciones de alivio (en este caso $n = 4$)

Aplicación del cálculo

$$Df = 0.036 \cdot \sqrt{4}$$

$$Df = 0.036 \cdot 2$$

$$Df = 0.072 \text{ m}$$

Este valor de $Df = 0.072$ es el diámetro ficticio que reemplaza las cuatro perforaciones de alivio y se utilizará para resolver la fórmula de la profundidad de disparo.

Fórmula original:

$$H = 0.15 + 34.1 \cdot \theta - 39.4 \cdot \theta^2$$

Aplicación con $\theta = 0.072$ (diámetro ficticio):

$$H = 0.15 + 34.1 \cdot (0.072) - 39.4 \cdot (0.06235)^2$$

$$H = 2.4 \text{ m}$$

Cálculo del error de perforación (EP):

$$EP = (\alpha \cdot H + \beta)$$

Donde:

- α : Desviación angular (m/m) = 0.005
- H : Profundidad del barreno = 1.5 m
- β : Error de emboquille o empate = 0.005 m

Aplicación del cálculo:

$$EP = (0.005 \cdot 1.5 + 0.005)$$

$$EP = 0.0125 \text{ m}$$

Cálculo del burden máximo:

$$\text{Burden máximo} = 1.7 \cdot 0.0623$$

Aplicación del cálculo:

$$\text{Burden máximo} = 0.1224 \text{ m}$$

Cálculo del burden práctico:

$$\text{Burden práctico} = 0.1224 - 0.0125$$

$$\text{Burden práctico} = 0.1099 \text{ m}$$

4. Cálculo de la distancia entre taladros del primer cuadrante (W_1):

$$W_1 = \text{Burden práctico} \cdot \sqrt{2}$$

$$W_1 = 0.1099 \cdot \sqrt{2}$$

$$W_1 = 0.1554 \text{ m}$$

Cálculo de la concentración lineal de carga (C'):

$$C_c = (55 \cdot d_1) \cdot \left(\frac{\text{Burden máximo}}{0.072} \right)^{1.5} \cdot \left(\frac{\text{Burden máximo} - d_2}{2} \right) \cdot \left(\frac{C_c}{0.4} \right) \cdot \left(\frac{1}{S_{\text{anfo}}} \right)$$

Descripción de las variables:

- C_c : Concentración lineal de carga (kg/m)
- d_1 : Diámetro del taladro cargado (m) = 0.036 m
- d_2 : Diámetro del taladro de alivio (m) = 0.072 m
- c : Constante de la roca (0.3 a 0.4)
- S_{anfo} : Potencia relativa en peso del explosivo referido al ANFO (tanto por uno)

Aplicación del cálculo:

$$C_c = (55 \cdot 0.036) \cdot \left(\frac{0.1224}{0.072} \right)^{1.5} \cdot \left(\frac{0.1224 - 0.072}{2} \right) \cdot \left(\frac{0.4}{0.4} \right) \cdot \left(\frac{1}{1} \right)$$

$$C_c = 0.3791 \text{ kg/m}$$

Cálculo de la carga de ANFO en un taladro (M):

$$M = (1.5 - 0.36) \cdot 0.3791$$

Aplicación del cálculo:

$$M = 0.4321 \text{ kg}$$

Fórmula para calcular la abertura rectangular del primer cuadrante (A_h):

Variables:

$B_{\max}$: El valor previamente calculado de 0.1224m

$B_{\min}$: El valor previamente calculado de 0.0125m

Aplicación del cálculo:

$$A_h = (0.1224 - 0.0125) \cdot \sqrt{2}$$

$$A_h = 0.1377 \text{ m}$$

Cálculo del burden del segundo cuadrante:

$$(B2)_{\max} = (8.8 \cdot 10^{-2}) \cdot \left(\frac{A_h \cdot C_c \cdot S}{d_1 \cdot c} \right)$$

Sustituyendo las variables:

$$A_h = 0.1377 \text{ m}$$

$$C_c = 0.3791 \text{ kg/m}$$

$$S = 1 (\text{potencia relativa en peso del explosivo ANFO})$$

$$d_1 = 0.036 \text{ m}$$

$$c = 0.4$$

$$(B2)_{\max} = (8.8 \cdot 10^{-2}) \cdot \left(\frac{0.1377 \cdot 0.3791 \cdot 1}{0.036 \cdot 0.4} \right)$$

Resultado:

$$(B2)_{\max} = 0.1675 \text{ m}$$

- Fórmula para calcular la distancia entre taladros del segundo cuadrante (W_2):

$$W_2 = \sqrt{2} \cdot \left[B2_{\text{prac}} + \left(\frac{W_1}{2} \right) \right]$$

Donde:

- W_2 : Distancia entre taladros del segundo cuadrante
- $B2_{\text{prac}}$: Burden práctico del segundo cuadrante (calculado previamente como 0.1551 m)
- W_1 : Distancia entre taladros del primer cuadrante (calculado previamente como 0.1554 m)

Aplicación del cálculo:

$$W_2 = \sqrt{2} \cdot \left[0.1551 + \left(\frac{0.1554}{2} \right) \right]$$

$$W_2 = 0.329 \text{ m}$$

- **Cálculo del tercer cuadrante**

Hallar la abertura rectangular del segundo cuadrante

$$Ah = \left[B2_{\text{prac}} + \left(\frac{W_1}{2} \right) - EP \right] \times \sqrt{2}$$

Donde:

- Ah : Abertura rectangular del segundo cuadrante, en metros (m)
- $B2_{prac}$: Burden práctico del segundo cuadrante, en metros (m)
- $W1$: Distancia entre taladros del primer cuadrante, en metros (m)
- EP : Error de perforación, en metros (m)

$$Ah = \left[0.1551 + \left(\frac{0.1554}{2} \right) - 0.0125 \right] \times \sqrt{2}$$

$$Ah = 0.3116 \text{ m}$$

Hallar el burden del tercer cuadrante

$$(B3)_{max} = (8.8 \times 10^{-2}) \times \sqrt{\frac{Ah \times Cc \times S}{d1 \times c}}$$

Donde:

- $(B3)_{max}$: Burden máximo del tercer cuadrante, en metros (m)
- Ah : Abertura rectangular del segundo cuadrante, en metros (m)
- Cc : Concentración lineal de carga, en kilogramos por metro (kg/m)
- S : Potencia relativa en peso del explosivo referido al ANFO
- $d1$: Diámetro del taladro cargado, en metros (m)
- c : Constante de la roca

$$(B3)_{max} = (8.8 \times 10^{-2}) \times \sqrt{\frac{0.3116 \times 0.3791 \times 1}{0.036 \times 0.4}}$$

$$(B3)_{max} = 0.2520 \text{ m}$$

Hallar el burden práctico del tercer cuadrante

$$(B3)_{prac} = (B3)_{max} - EP$$

Donde:

- $(B3)_{prac}$: Burden práctico del tercer cuadrante, en metros (m)
- $(B3)_{max}$: Burden máximo del tercer cuadrante, en metros (m)
- EP : Error de perforación, en metros (m)

$$(B3)_{prac} = 0.2520 - 0.0125$$

$$(B3)_{prac} = 0.2395 \text{ m}$$

Hallar la distancia entre taladros del tercer cuadrante

$$\text{Distancia entre taladros}(W3) = \sqrt{2} \times \left[B3_{prac} + \left(\frac{W2}{2} \right) \right]$$

Donde:

- $W3$: Distancia entre taladros del tercer cuadrante, en metros (m)
- $B3_{prac}$: Burden práctico del tercer cuadrante, en metros (m)
- $W2$: Distancia entre taladros del segundo cuadrante, en metros (m)

$$W3 = \sqrt{2} \times \left[0.2395 + \left(\frac{0.329}{2} \right) \right]$$

$$W3 = 0.572$$

▪ **Diseño de los taladros de arrastre**

Relación burden-espaciamiento (S/B):

$$\frac{S}{B} = 1 \text{ (se suele tomar este valor)}$$

Factor de fijación:

$$\text{Factor de fijación} = 1.45 \text{ (se suele tomar este valor)}$$

a) Hallar el burden de los taladros de arrastre:

$$B_{\max A} = 0.9 \cdot \sqrt{\frac{C_c \cdot S_{\text{anfo}}}{c \cdot f \cdot \left(\frac{S}{B}\right)}}$$

Sustituyendo las variables:

- $C_c = 0.3791 \text{ kg/m}$ (concentración lineal de carga)
- $S_{\text{anfo}} = 1$ (potencia relativa en peso del explosivo ANFO)
- $c = 0.4$ (constante de la roca)
- $f = 1.45$ (factor de fijación)
- $\frac{S}{B} = 1$ (relación burden-espaciamiento)

Aplicación del cálculo:

$$B_{\max A} = 0.9 \cdot \sqrt{\frac{0.3791 \cdot 1}{0.4 \cdot 1 \cdot 1.45}}$$

$$B_{\max A} = 0.7276 \text{ m}$$

▪ **Fórmula para el cálculo de $C_{\text{corregido}}$:**

$$C_{\text{corregido}} = C + \frac{0.07}{B}$$

Aplicación del cálculo:

$$C = 0.4$$

$$B = 0.7276$$

$$C_{\text{corregido}} = 0.4 + \frac{0.07}{0.7276}$$

$$C_{\text{corregido}} = 0.4962$$

Fórmula para calcular $B_{\max \text{ corregido}}$:

$$B_{\max \text{ corregido}} = 0.9 \cdot \sqrt{\frac{C_c \cdot S_{\text{anfo}}}{C_{\text{corregido}} \cdot f \cdot \left(\frac{S}{B}\right)}}$$

Sustituyendo las variables:

$$C_c = 0.3791 \text{ kg/m}$$

$$S_{\text{anfo}} = 1 (\text{potencia relativa en peso del explosivo ANFO})$$

$$C_{\text{corregido}} = 0.4962 \text{ (c corregido)}$$

$$f = 1.45(\text{factor de fijación})$$

$$\frac{S}{B} = 1$$

Aplicación del cálculo:

$$B_{\text{max corregido}} = 0.9 \cdot \sqrt{\frac{0.3791 \cdot 1}{0.4962 \cdot 1 \cdot 1.45}}$$

$$B_{\text{max corregido}} = 0.653 \text{ m}$$

- **Fórmula para calcular el burden práctico B_{pracA} :**

$$B_{\text{pracA}} = B_{\text{max}} - H \cdot \sin(\gamma)$$

Donde:

$$H = 1.5 \text{ m}(\text{altura de los taladros})$$

$$\gamma = 1.5^\circ(\text{ángulo de vigía})$$

Aplicación del cálculo:

$$B_{\text{pracA}} = 0.653 - 1.5 \cdot \sin(1.5^\circ)$$

$$B_{\text{pracA}} = 0.6137 \text{ m}$$

- **Para fines prácticos tomamos el valor de 0.46 m como burden de los taladros de arrastre:**

$$B_{\text{pracA}} = 0.46 \text{ m}$$

Hallar el número de taladros para el arrastre

La fórmula para calcular el número de taladros para el arrastre es:

$$N_{\text{Arrastre (Entero)}} = \left\lceil \frac{\text{Ancho Labor} + (2 \cdot H \cdot \sin(\gamma))}{B_{\text{pracA}}} + 2 \right\rceil$$

Donde:

Ancho Labor = 2.1 m

H = 1.5 m (altura de los taladros)

$\gamma = 1.5^\circ$ (ángulo de vigía)

$B_{\text{pracA}} = 0.6137$ m (burden práctico calculado previamente)

Sustituyendo las variables:

$$N_{\text{Arrastre (Entero)}} = \left\lceil \frac{2.4 + (2 \cdot 1.5 \cdot \sin(1.5))}{0.6137} + 2 \right\rceil$$

$$N_{\text{Arrastre (Entero)}} = 5.54$$

Resultado:

El número de taladros de arrastre es $N_{\text{Arrastre}} = 5$ (redondeado a un número entero por fines prácticos).

- **Hallar el espaciamiento teórico**

La fórmula para calcular el espaciamiento teórico es:

$$S_z = \left[\frac{\text{Ancho Labor} + (2 \cdot H \cdot \sin(\gamma))}{N_{\text{Entero}} - 1} \right]$$

Donde:

Ancho Labor = 2.1 m

H = 1.5 m

$\gamma = 1.5^\circ$ (ángulo de vigía)

$N_{\text{Entero}} = 5$ (número de taladros de arrastre redondeado)

Sustituyendo las variables:

$$S_z = \left[\frac{2.4 + (2 \cdot 1.5 \cdot 0.026)}{5 - 1} \right]$$

$$S_z = 0.5445 \text{ m}$$

- **Hallar el burden de los taladros de corona:**

La fórmula para calcular el burden de los taladros de corona es:

$$B_{\text{maxC}} = \frac{S_c}{0.8}$$

Sustituyendo las variables:

$$S_c = 0.54 \text{ m}$$

Aplicación del cálculo:

$$B_{\max C} = \frac{0.54}{0.8}$$

$$B_{\max C} = 0.675 \text{ m}$$

▪ **Cálculo del burden práctico de los taladros de corona:**

La fórmula para el cálculo del burden práctico es:

$$B_{\text{pracC}} = B_{\max C} - (H \cdot \sin(Y))$$

Sustituyendo las variables:

$$B_{\max C} = 0.675 \text{ m}$$

$$H = 1.5 \text{ m}$$

$$Y = 1.5^\circ (\text{ángulo de vigía})$$

Aplicación del cálculo:

$$B_{\text{pracC}} = 0.675 - (1.5 \cdot 0.026)$$

$$B_{\text{pracC}} = 0.636 \text{ m}$$

Resultado:

El burden práctico es $B_{\text{pracC}} = 0.636 \text{ m}$

Nota: Por fines prácticos, se toma el valor de 0.30 m como burden de los taladros de corona.

- **Hallar el número de taladros para la corona**

La fórmula para calcular el número de taladros es:

$$N_C = \left[\frac{\text{Ancho Labor} + (2 \cdot H \cdot \sin(Y))}{S_c} \right] + 1$$

Sustituyendo las variables:

$$\text{Ancho Labor} = 2.1 \text{ m}$$

$$H = 1.5 \text{ m}$$

$$Y = 1.5^\circ$$

$$S_c = 0.54 \text{ m}$$

Aplicación del cálculo:

$$N_C = \left[\frac{2.4 + (2 \cdot 1.5 \cdot 0.026)}{0.54} \right] + 1$$

$$N_C = 5$$

Diseño de los taladros en la caja o cuadradores

- **Hallar el espacio libre en las cajas:**

La fórmula para el cálculo del espacio libre en las cajas es:

$$E_{L \text{ cajas}} = \text{Altura Labor} - B_{\text{pracA}} - B_{\text{pracC}}$$

Sustituyendo las variables:

$$\text{Altura Labor} = 2.4 \text{ m}$$

$$B_{\text{pracA}} = 0.6137 \text{ m}$$

$$B_{\text{pracC}} = 0.636 \text{ m}$$

Aplicación del cálculo:

$$E_{\text{L cajas}} = 2.4 - 0.6137 - 0.636$$

$$E_{\text{L cajas}} = 1.15 \text{ m}$$

▪ **Hallar el espaciamiento en los taladros de caja:**

La fórmula para el cálculo del espaciamiento es:

$$S_{\text{cajas}} = K \cdot d$$

Donde:

- K es una constante que varía entre 15 y 16, con un valor común de 15
- d es el diámetro del taladro (en este caso, $d = 0.036 \text{ m}$)

Aplicación del cálculo

$$S_{\text{cajas}} = 15 \cdot 0.036$$

$$S_{\text{cajas}} = 0.54 \text{ m}$$

▪ **Hallar el burden de las cajas:**

La fórmula para calcular el burden de las cajas es:

$$B_{\text{maxCajas}} = \frac{S_{\text{cajas}}}{0.8}$$

Sustituyendo las variables:

$$S_{\text{cajas}} = 0.54 \text{ m}$$

Aplicación del cálculo:

$$B_{\text{maxCajas}} = \frac{0.54}{0.8}$$

$$B_{\text{maxCajas}} = 0.675 \text{ m}$$

▪ **Cálculo del burden práctico de las cajas:**

La fórmula para calcular el burden práctico de las cajas es:

$$B_{\text{pracCajas}} = B_{\text{maxCajas}} - (H \cdot \sin(Y))$$

Sustituyendo las variables:

$$B_{\text{maxCajas}} = 0.675 \text{ m}$$

$$H = 1.5 \text{ m}$$

$$Y = 1.5^\circ (\text{ángulo de vigía})$$

Aplicación del cálculo:

$$B_{\text{pracCajas}} = 0.675 - (1.5 \cdot 0.026)$$

$$B_{\text{pracCajas}} = 0.636 \text{ m}$$

▪ **Hallar el número de taladros en las cajas:**

La fórmula para calcular el número de taladros en las cajas es:

$$N_{\text{cajas}} = \text{REDONDEAR} \left(\frac{E_{L \text{ cajas}}}{S_{\text{cajas}}} + 1 \right)$$

Sustituyendo las variables:

$$E_{L \text{ cajas}} = 1.15 \text{ m}$$

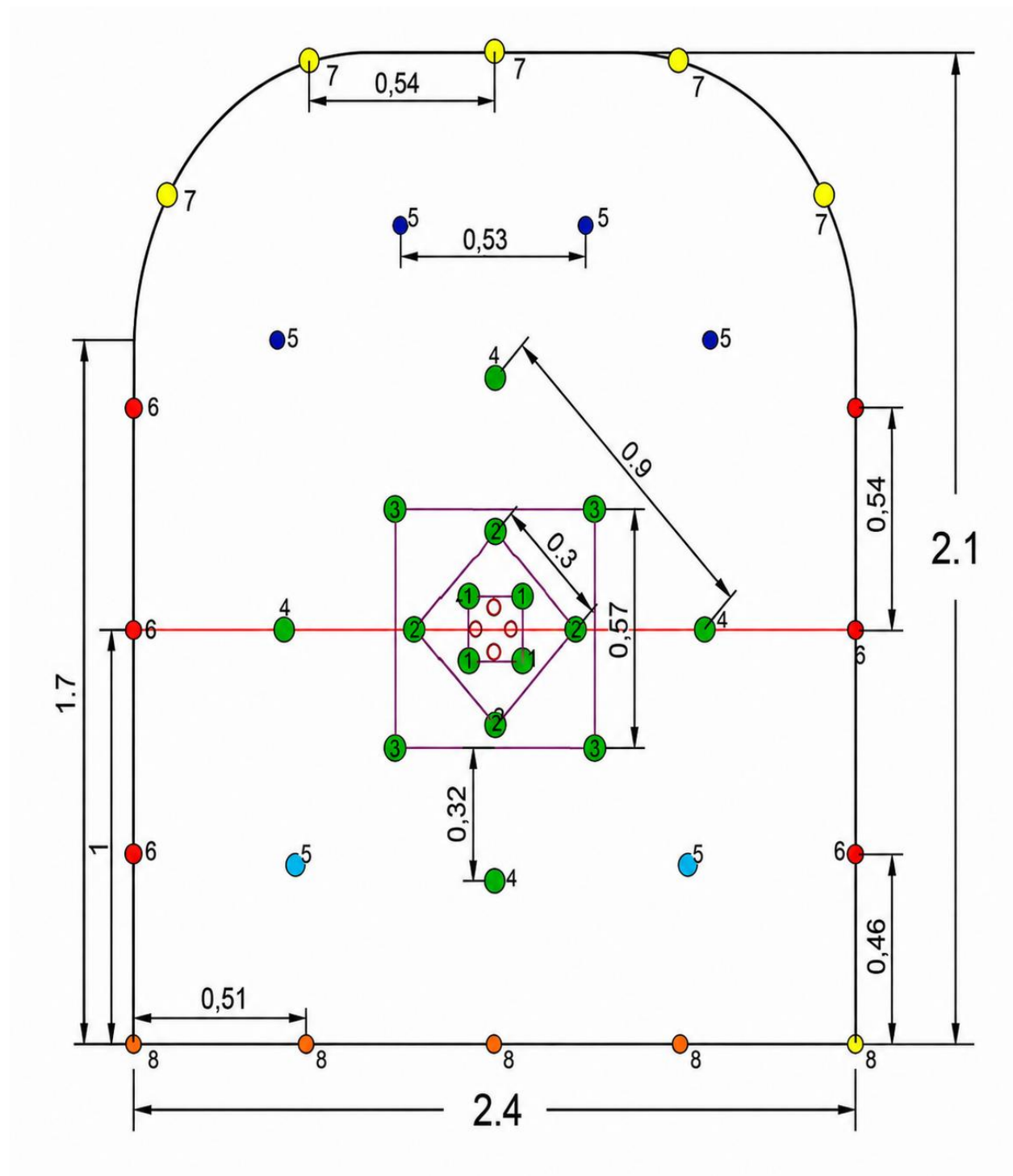
$$S_{\text{cajas}} = 0.54 \text{ m}$$

Aplicación del cálculo:

$$N_{\text{cajas}} = \text{REDONDEAR} \left(\frac{1.15}{0.54} + 1 \right)$$

$$N_{\text{cajas}} = 3$$

Figura 7
Malla de perforación de pique inclinado veta Natividad



Nota. Malla de perforacion veta Natividad NV 3150.

4.2.1 Matriz de taladros perforados

Tabla 6

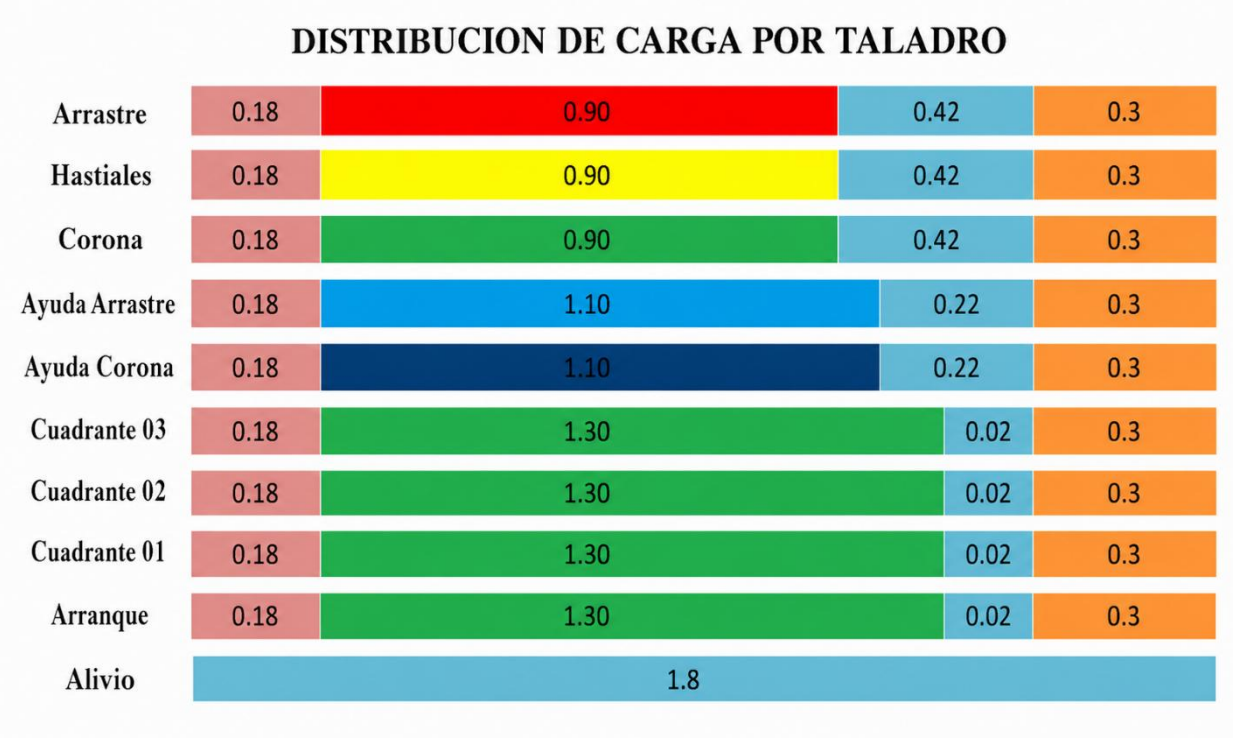
Distribución de taladros

TIPO DE TALADRO	Nº DE TALADRO	BURDEN	ESPACIAMIENTO	COLOR
Alivio	4	0.07	0.10	Rojo
Ayudas	4	0.11	0.16	Verde
Primer cuadrante	4	0.11	0.16	Verde
Segundo cuadrante	4	0.15	0.33	Verde
Tercer cuadrante	4	0.24	0.57	Verde
Cuarto cuadrante	4	0.32	0.86	Verde
Cuadradores/hastiales	6	0.64	0.54	Naranja
Arrastre	5	0.45	0.54	Azul
Corona	5	0.68	0.54	Amarillo
Auxiliar de corona	4	0.63	0.57	Amarillo
Otros auxiliares	2	0.42	0.57	Azul
TOTAL	42			

Nota. Distribucion de taladros con burden y espaciamento.

Figura 8

Distribución de carga por taladro



Nota. Matriz y distribucion de carga de malla de perforacion.

CONCLUSIONES

Se concluye que el pique inclinado para acceder a la Veta Natividad debe estructurarse geométricamente con una sección terminada de 2.4 m de ancho por 2.1 m de alto, desarrollada perpendicularmente a una gradiente negativa constante de 30° respecto a la horizontal. Este diseño espacial se complementa con una matriz de perforación optimizada de 42 taladros basada en el modelo matemático de Roger Holmberg, la cual requiere un burden de arranque de 0.1224 m y una concentración lineal de carga de 0.3791 kg/m para garantizar la estabilidad de los hastiales y alcanzar el avance requerido.

Respecto a la determinación de los componentes electromecánicos y de transporte exigidos para el sistema, se demostró mediante análisis cinemático que el izaje óptimo requiere la operación en trenes de tres carros mineros tipo U-35 (transportando 5.31 tm de mineral útil por viaje). Para movilizar la masa total del sistema calculada en 7.897 tm, es indispensable el uso de un cable de acero tipo Flattened-Triangular Strand de 24 mm de diámetro, accionado por un winche eléctrico Worthilla Saffer de 60 HP con un tambor dimensionado a 1152 mm. Esta configuración garantiza un tiempo de viaje efectivo de 117 segundos a una velocidad de 1.82 m/s, asegurando la continuidad de la extracción.

La evaluación de la factibilidad económica de la ejecución del proyecto, el diseño del pique inclinado demostró ser altamente viable y costo eficiente frente a métodos de profundización convencionales o rampas de gran sección, se consolida una reducción significativa en los tiempos operativos y una disminución directa del costo por tonelada extraída, maximizando la rentabilidad técnica del Nivel 3150 y 3150.

RECOMENDACIONES

Ejecutar un control topográfico e ingenieril estricto de la gradiente a -30° y de la alineación de la labor durante el avance diario. Se recomienda capacitar a los perforistas en el respeto riguroso de la malla de perforación de 42 taladros, minimizando el error de emboquille (calculado analíticamente en 0.0125 m) para evitar la sobre-rotura, optimizar la fragmentación de la roca y no comprometer los parámetros de fricción de rodamiento del sistema de izaje sobre la línea de cauville.

Establecer un programa de mantenimiento preventivo y predictivo riguroso para los componentes críticos del sistema de izaje. Es imperativo realizar inspecciones periódicas al cable de acero de 24 mm en busca de hilos rotos, deformaciones por aplastamiento o fatiga mecánica, así como mantener lubricados los polines instalados cada 15 metros. Asimismo, el sistema de frenos y la integridad del tambor del winche Worthilla Saffer de 60 HP deben ser revisados antes de iniciar cada guardia para prevenir incidentes de caída de carga.

Se sugiere realizar mapeos geomecánicos periódicos (utilizando los índices RMR o GSI) en los frentes de avance a medida que el pique gane profundidad. En las zonas de alteración hidrotermal severa o presencia de filtraciones de agua, se debe transicionar proactivamente a un sostenimiento sistemático utilizando los pernos split set de 6 pies proyectados, asegurando la estabilidad a largo plazo del inclinado.

Monitorear constantemente los caudales y la eficiencia de la manga de ventilación instalada en la corona de la labor (a 2.0 metros de altura). Dado que el pique operará de manera continua con dos guardias de 12 horas, la correcta evacuación de los gases nitrosos producto de la voladura y la inyección de aire fresco son fundamentales para mantener los ciclos de limpieza manual

eficientes y garantizar la salud ocupacional de los 8 trabajadores que componen la cuadrilla de avance.



REFERENCIAS

- Barzola Ceras, R. J. (2018). *Influencia del diseño del pique inclinado en 30° en la profundización Veta Julie 2 en la Cía. Minera Poderosa S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/4993>
- Choquehuanca Huaylla, L. A. (2021). *Diseño y construcción del inclinado Nuevo Century para el incremento de producción de la veta Mercedes en la U.E.A. San Juan de Churunga, Arequipa.* [Título de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú], Repositorio institucional. Diseño y construcción del inclinado Nuevo Century para el incremento de producción de la veta Mercedes en la U.E.A San Juan de Churunga, Arequipa
- Compumet. (SF). *Sistemas de Izaje en minería subterránea, piques y winches.* Compumet: <https://compumet.com.pe/>
- Condori Cama, E. (2023). *Diseño de pique inclinado con un sistema de izaje para el incremento de producción de mineral en la veta Santa en la Corporación Minera Santa Teresa Ituata E.I.R.L. - Carabaya.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19879>
- Condori Ccallo, A. M. (2019). *SimSched DBs en la planificación estratégica para el dimensionamiento óptimo de Mina-Planta en minería a Cielo Abierto.* [Título de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/13007>
- Rodrigo Akinori, R. A., & Crisóstomo Calderón, D. A. (2022). *Propuesta de planeamiento y diseño de un pique inclinado como sistema de extracción de una mina convencional al norte del Perú.* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/23764>
- Vera Huisacayna, J. R. (2022). *Propuesta de diseño de un sistema de extracción mediante piques inclinados sucesivos para acceder a la veta Troncal en los NV. 1590 y NV. 1690 de la U.M. Yanaquihua – 2022.* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12324>

ANEXOS

Anexos 1

Técnica carro minero U35



Inicio / Productos Mineros / Carros Mineros / Carro Minero U35

[Productos Mineros, Carros Mineros](#)

Carro Minero U35

- Modelo: Carro Minero U35.
- JSC Equipos Mineros cuenta con certificación [ISO-9001](#).
- El carro minero puede trabajar a mas de 4000 msnm.
- Trabaja en temperaturas entre 10°C y 40°C con presencia de barro, polvo metálico intenso y humedad.
- Resistente a la corrosión.
- Trocha: 500 o 600.
- Capacidad: 35°.
- Tolva: Acero 3/16.
- Chasis: Plancha A-36 doblada en U.
- Travesaño: Plancha doblada en 8mm.
- Rodamientos: Cónicos SKF y/o timken.
- Ejes: 2½" Acero Sae 1060.
- Ruedas: 12" Acero fundido Sae-1060.
- Tapas: Fundidas.
- Manijas: ½ Diámetro (Astma-36).

Anexos 2

Winche de izaje 60 HP



Inicio / Productos Mineros / Winches de Izaje / Winche de Izaje JSC – 60 HP

[Winches de Izaje, Productos Mineros](#)

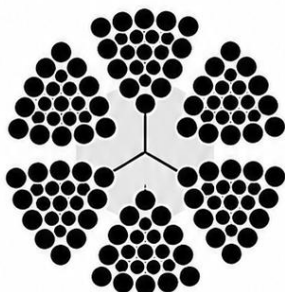
Winche de Izaje JSC – 60 HP

- Modelo: VDF.
- JSC Equipos Mineros cuenta con certificación [ISO-9001](#).
- Motor: 60 HP.
- Voltaje: AC-220-380-440HZ.
- Capacidad: 2 TN.
- Velocidad: 0 a 120 mt x minuto.
- Diámetro de tambor: 28".
- Factor de seguridad: 6.
- Eje principal del tambor: 3".
- Eje de salida: 16,2992".
- Largo: 2,320 mm.
- Ancho: 1,800 mm.
- Altura: 1,055 mm.
- Acabado: Pintura blanco epóxico.
- Sistema de freno de emergencia y servicio.

Anexos 3

Cable de acero tipo Flattened-Triangular Strand

Flattened Strand Wire Rope



Strand: 6

Wires per strand: 22

Core: IWRC; FC; WSC; WSC

Standard: Gradall's Purple Plus

Lay: Lang

Finish: Bright

This rope is particularly

suitable where severe conditions of crushing and abrasion are encountered and the crane or winch higher strength design factor is required than can be obtained with a similar round rope.

The triangular strand shape not only provides better resistance to crushing, but also offers a greater exposed surface area for contact with sheaves, drums or underlying layers of spooled rope. This feature, in connection with the use of Lang lay construction, distributes the abrasive wear over a greater number and length of wires. The smooth surface of the rope also helps minimize wear on drums and sheaves.

Rope Dia.		Approx Wt. Per Ft.		Nominal Strength (Tons)	
				Purple Plus	
Inches	mm	Fiber Core	IWRC	Fiber Core	IWRC
3-1/4	22.0	2.28	2.39	61.7	66.5
3-3/8	24.0	2.90	3.03	75.1	81.0
3-1/2	26.0	3.50	3.75	90.1	97.3
3-3/4	28.0	4.05	4.35	111	119
3-15/16	30.0	4.70	4.90	128	138
4-1/4	32.0	5.51	5.75	150	162
4-1/2	34.0	6.28	6.58	171	184
5	36.0	7.25	7.60	197	212
5-1/4	38.0	8.31	8.70	218	235
5-1/2	56.0	9.20	9.65	245	265

Anexos 4

Pernos de anclaje

Elementos de máquina

PERNOS DE FRICCIÓN "SPLIT SET"



Descripción

El perno "Split Set" consta de una placa de asiento partida y una barra de anclaje con cuña. Al apretar la tuerca, la cuña se desliza dentro de la barra de anclaje dividida. Esto fuerza la placa de asiento contra la superficie de la roca. Se aplica en minas y túneles para pernos de roca.

Aplicación

- El perno Split Set se puede usar en todas las aplicaciones de roca y suelos donde se requiera un sistema de soporte de superficie.
- Se usa ampliamente en minería, túneles, represas, obras subterráneas y otras ingenierías estatales.

Características

- Autoperforante.
- Disponible en: 16, 20, 22, 25, 27, 30, 32 mm de a solicitud.
- Longitud: 600 mm a 6000 mm.
- Revestimiento: Galvanizado en caliente.
- Excelente resistencia a la corrosión.
- Barras de alta calidad y fácil de usar.

Especificaciones

Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Tuerca	Placa de asiento (mm)
16-32	600-6000	Hexagonal	45 x 45 x 6

Minado por bloques

1961

Anexos 6

Costos por labor minera

LABOR	NIVEL	PU ML	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO
Avance del inclinado	Inclinado	1476	ml	200	\$295,200.00
Refugios del inclinado	Inclinado	1476	ml	7	\$10,332.00
Desquince para cola de carros	Inclinado	850	ml	15	\$12,750.00
Bypass	3200	850	ml	340	\$289,000.00
Refugios de Bypass	3200	850	ml	6	\$5,100.00
Chimenea BZ Mineral	3200	950	ml	450	\$427,500.00
Chimenea BZ Desmonte	3200	950	ml	400	\$380,000.00
Bypass	3150	850	ml	340	\$289,000.00
Refugios de Bypass	3150	850	ml	6	\$5,100.00
Chimenea BZ Mineral	3150	950	ml	450	\$427,500.00
Chimenea BZ Desmonte	3150	950	ml	400	\$380,000.00
					\$2,521,482

GASTO POR NIVEL					
	NIVEL	PU ML	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO POR AÑO
Desmonte	3200	40	3548	141920	28384
Mineral	3200	80	6468	517440	103488
Desmonte	3200	40	3548	141920	28384
Mineral	3200	80	11393.781	911502.48	182300

Anexos 7*Valoración a 5 años*

VALORIZACION A 5 AÑOS						
AÑO	0	1	2	3	4	5
VALORIZACION DEL MINERAL		S/ 990,528.00	S/ 1,428,134.40	S/ 1,019,356.80	S/ 2,108,198.40	S/ 4,598,109.82
COSTOS DE PRODUCCION	-S/ 2,521,482.00					
Costos de extracción por TM mineral		-S/ 285,788.50	-S/ 285,788.50	-S/ 285,788.50	-S/ 285,788.50	-S/ 285,788.50
Costos de extracción por TM desmonte		-S/ 56,768.00	-S/ 56,768.00	-S/ 56,768.00	-S/ 56,768.00	-S/ 56,768.00
Utilidad bruta						
	-S/ 2,521,482.00	S/ 647,971.50	S/ 1,085,577.90	S/ 676,800.30	S/ 1,765,641.90	S/ 4,255,553.32

TASA	20%
VAR	S/ 1,725,732.33
TIR	40%
FUJO GENERAL	S/ 5,910,062.94