

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**“OPTIMIZACION DEL COSTO DE MINADO MEDIANTE LA  
APLICACIÓN DE SUBNIVELES CON TALADROS LARGOS  
EN VETAS DE LA UNIDAD MINERA AMERICANA-2024”**

**PRESENTADA POR:**

**GARY NIEMYER GONZALES CANAHUALPA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero de Minas**

**HUANCAYO - PERÚ**

**2024**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

## FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En el Auditorio de la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNCP a los ocho días del mes de abril del año dos mil veinticinco, con la presencia de los miembros del Jurado integrado por:

<b>PRESIDENTE</b>	<b>Dr. VÍCTOR ALEJANDRO AMES LARA</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ms. WILI NELSON TARMA VIVAS</b>
<b>JURADO</b>	<b>Dr. JOSÉ ALBERTO HILARIO BERRIOS</b>
<b>JURADO</b>	<b>Ms. PEPE TORRES HUAMÁN</b>
<b>JURADO</b>	<b>Ms. RODOLFO BALTAZAR LAPA</b>

Siendo las 10:30 hs. se dio inicio al Acto de Sustentación de Tesis del Bachiller:

#### **GARY NIEMYER GONZALES CANAHUALPA**

El Secretario dio lectura a la **Resolución N° 008-2025-DFAIM-UNCP**, luego el sustentante procedió a exponer su **TESIS** titulada: : **“OPTIMIZACIÓN DEL COSTO DE MINADO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SUBNIVELES CON TALADROS LARGOS EN VETAS DE LA UNIDAD MINERA AMERICANA - 2024”**.

Culminada la exposición, los señores vocales del Jurado procedieron a efectuar las observaciones y preguntas respectivas. Una vez terminada la evaluación, se invitó al sustentante y público en general a abandonar el Auditorio para la deliberación del caso, pasándose luego a la votación nominal de la cual se obtuvo el siguiente resultado:

APROBADO POR UNANIMIDAD

El Secretario invitó a pasar al Auditorio al interesado para dar a conocer el resultado final, que fue anunciado por el Presidente del Jurado.

Se dio por terminado el Acto de Sustentación a las 11: 40 am. del mismo día, firmando a continuación los miembros del Jurado.



  
**Dr. VÍCTOR ALEJANDRO AMES LARA**  
Presidente

  
**Ms. WILI NELSON TARMA VIVAS**  
Secretario

  
**Dr. JOSÉ ALBERTO HILARIO BERRIOS**  
Jurado

  
**Ms. PEPE TORRES HUAMÁN**  
Jurado

  
**Ms. RODOLFO BALTAZAR LAPA**  
Jurado

VAAL/MAS.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS



## RESOLUCIÓN N° 008 -2025- DFAIM-UNCP

Huancayo, 03 de abril de 2025

**EL DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ.**

Visto, el expediente virtual N° 382763-2025 del 04 de marzo de 2025 presentado por el Bachiller: **GARY NIEMYER GONZALES CANAHUALPA**, mediante el cual solicita programación de fecha y hora para la sustentación de su TESIS.

### CONSIDERANDO

Que, el interesado ha cumplido con presentar los requisitos establecidos en el TUPA de la UNCP, por lo que ha sido declarado **EXPEDITO** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**, mediante la sustentación de la Tesis titulada: **“OPTIMIZACIÓN DEL COSTO DE MINADO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SUBNIVELES CON TALADROS LARGOS EN VETAS DE LA UNIDAD MINERA AMERICANA - 2024”**.

Que, los Jurados Revisores han cumplido con emitir su informe favorable para la sustentación respectiva.

Y, estando a las atribuciones conferidas por los dispositivos legales vigentes.

### RESUELVE:

1. **SEÑALAR** la programación de fecha de sustentación para el día **martes 08 de abril de 2025 a las 10:30 hs.** en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería de Minas.
2. **NOMBRAR** al Jurado evaluador conformado de la siguiente manera:

<b>PRESIDENTE</b>	<b>Dr. VÍCTOR ALEJANDRO AMES LARA</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ms. WILI NELSON TARMA VIVAS</b>
<b>JURADO</b>	<b>Dr. JOSÉ ALBERTO HILARIO BERRIOS</b>
<b>JURADO</b>	<b>Ms. PEPE TORRES HUAMÁN</b>
<b>JURADO</b>	<b>Ms. RODOLFO BALTAZAR LAPA</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>Ms. WILI NELSON TARMA VIVAS</b>
3. **COMUNICAR** al asesor **Ms. PEPE TORRES HUAMÁN**, para realizar la presentación del tesista de acuerdo al Art. 183° inciso d) del Reglamento Académico General.
4. **ENCARGAR** el cumplimiento de la presente Resolución a las instancias de la Facultad de Ingeniería de Minas

**REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE**



**Dr. VÍCTOR ALEJANDRO AMES LARA**  
Decano

c.c.: Interesados (5)  
Archivo  
VAAL/mas



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL  
PERÚ**  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Huancayo, 05 de diciembre de 2024.

**INFORME N° 0012-2024-PTH-FAIM- UNCP**

Señor Doctor:

**VICTOR ALEJANDRO AMES LARA  
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ**

Presente. -

**ASUNTO: INFORME DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**INTERESADO: BACH. GARY NIEMYER GONZALES CANAHUALPA**

Es grato dirigirme a usted y expresarte mis cordiales saludos; al mismo tiempo remito a su Despacho la verificación mediante el **TURNITIN** del Borrador de Tesis titulada: **“OPTIMIZACION DEL COSTO DE MINADO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SUBNIVELES CON TALADROS LARGOS EN VETAS DE LA UNIDAD MINERA AMERICANA - 2024”**, presentada por el Bach. **GONZALES CANAHUALPA GARY NIEMYER**; informo que después del análisis, tiene como resultado 22% de similitud, quedando dentro del límite permisible de originalidad.

Es todo cuanto informo para su conocimiento y fines.

Cordialmente;

**Ms. PEPE TORRES HUAMAN  
DOCENTE-FAIM-UNCP  
ASESOR**

Adjunto: COPIA DE LA FICHA DIGITAL DE TURNITIN

**ASESOR**

Ms. PEPE TORRES HUAMAN.

## **DEDICATORIA**

*Dirijo esta investigación con profunda gratitud a mis apreciados procreadores y hermanos, que perdurablemente me apoyaron constantemente en mi vida estudiantil y profesional, para obtener mis propósitos trazados.*

## RESUMEN

El presente estudio analiza la aplicación de subniveles con taladros largos como estrategia para optimizar los costos de explotación de vetas en la Unidad Minera Americana durante el año 2024. La investigación tiene un enfoque científico, con un nivel descriptivo, el cual emplea un diseño experimental. La población estudiada corresponde a la Zona Veta Esperanza Nivel 20, abarcando cinco tajos de explotación: TJ 108, TJ 098, TJ 088, TJ 106 y TJ 104. La muestra seleccionada es el tajo 104. Los resultados demuestran una reducción significativa en el costo operativo, pasando de 27.57 \$/ton a 15.05 \$/ton, así como un incremento en la producción, de 12,582 ton/mes a 42,085 ton/mes en la mina.

**Palabras claves:** Costos de minado, producción, taladros largos, método de explotación.

## ABSTRACT

The present study analyzes the application of sublevels with long-hole drilling as a strategy to optimize vein mining costs at the Unidad Minera Americana during the year 2024. The research has a scientific approach, with a descriptive level, utilizing an experimental design. The study population corresponds to the Zona Veta Esperanza, Level 20, encompassing five mining stopes: TJ 108, TJ 098, TJ 088, TJ 106, and TJ 104. The selected sample is stope 104. The results show a significant reduction in operational costs, from \$27.57/ton to \$15.05/ton, as well as an increase in production, from 12,582 tons/month to 42,085 tons/month in the mine.

**Keywords:** Mining costs, production, long drills, mining methods.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA .....	14
1.1.    Fundamentación del problema.....	14
1.2.    Formulación del problema .....	15
1.2.1.    Problema general.....	15
1.2.2.    Problemas específicos .....	15
1.3.    Objetivos del estudio .....	15
1.3.1.    Objetivo general.....	15
1.3.2.    Objetivos específicos .....	16
1.4.    Justificación e importancia del proyecto.....	16
1.5.    Alcances y limitaciones del estudio.....	16
1.5.1.    Alcances .....	16
1.5.2.    Limitaciones .....	16
CAPITULO II.....	18
MARCO TEÓRICO .....	18

2.1.	Antecedentes o marco referencial .....	18
2.1.1.	A nivel internacional .....	18
2.1.1.	A nivel nacional.....	20
2.2.	Mina Sobreandes.....	22
2.2.1.	Ubicación .....	22
2.2.2.	Accesibilidad .....	23
2.2.3.	Relieve y clima .....	23
2.2.4.	Geología Regional .....	23
2.2.5.	Geología local .....	24
2.2.6.	Geología estructural.....	25
2.2.7.	Geología económica .....	26
2.2.8.	Reservas.....	27
2.2.9.	Muestreo.....	28
2.2.10.	Contorneo .....	28
2.2.11.	Geomecánica.....	29
2.3.	Bases teóricas .....	29
2.3.1.	Relevancia del método de explotación .....	30
2.3.2.	Elección del método de explotación .....	31
2.3.3.	Método de explotación subniveles con Taladros Largos .....	35
2.3.4.	Cuerpos mineralizados .....	35
2.3.5.	Preparación .....	36
2.3.6.	Perforación de Taladros Largos .....	37
2.3.6.1.	Taladro en abanico .....	37
2.3.6.2.	Taladro en paralelo .....	38
2.3.7.	Perforación con Taladros Largos .....	39

2.3.8. Voladura .....	39
2.3.9. Ventajas y desventajas .....	40
2.4. Definición de términos .....	41
2.5. Hipótesis del estudio.....	43
2.5.1. Hipótesis general .....	43
2.5.2. Hipótesis específicas .....	43
2.6. Identificación y operacionalización de variables.....	43
CAPÍTULO III.....	45
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	45
3.1. Tipo de investigación .....	45
3.2. Nivel de investigación .....	45
3.3. Método de investigación .....	45
3.4. Diseño de investigación .....	45
3.5. Población y muestra .....	46
3.5.1. Población.....	46
3.5.2. Muestra.....	46
3.6. Procedimiento de recolección de datos .....	46
3.7. Técnicas de procesamiento de datos .....	46
CAPÍTULO IV .....	47
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	47
4.1. Presentación de los resultados .....	47
4.1.1. Dimensionamiento de la Veta Ximena Tajo 104.....	47
4.2. Interpretación y análisis de resultados .....	48
4.2.1. Análisis de la geomecánica.....	48
4.2.2. Diseño - método de explotación .....	53

4.2.3.	Aplicación de subniveles con Taladros Largos en Vetas .....	57
4.2.3.1.	Perforación .....	57
4.2.3.2.	Voladura .....	59
4.2.3.3.	Explosivos.....	59
4.3.	Prueba de las hipótesis .....	62
4.3.1.	Hipótesis general .....	62
4.3.1.1.	Contraste de resultados .....	63
4.3.1.2.	Análisis de la estadística.....	64
4.3.2.	Hipótesis específica .....	67
4.3.2.1.	Estudio económica - cálculo de \$/tonelada .....	67
4.3.2.2.	Análisis Geomecánico.....	68
	CONCLUSIONES .....	74
	RECOMENDACIONES.....	75
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
	ANEXOS.....	78
	<b>Anexo N°1:</b> Cuadro de consistencia.....	79
	<b>Anexo N°2:</b> Plano Geomecánico Nv 20 Tajo 104.....	80
	<b>Anexo N°3:</b> Perforación Taladros largos Nv 20 Zona Veta Esperanza.....	81
	<b>Anexo N°4:</b> Diseño De Taladros largos Nv 20 Zona Veta Esperanza Tajo 104.....	82
	<b>Anexo N°5:</b> Perforación y voladura Taladros largos en Vetas.....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Geología regional.....	24
<b>Tabla 2</b>	Geología estructural.....	26
<b>Tabla 3</b>	Mineralización y vetas.....	27
<b>Tabla 4</b>	Reserva de la Zona de Vetas.....	28
<b>Tabla 5</b>	Características comparativas de los métodos.....	35
<b>Tabla 6</b>	Ficha técnica de MUKI LHBP-2R.....	39
<b>Tabla 7</b>	Especificaciones de voladura.....	39
<b>Tabla 8</b>	Ventajas y desventajas.....	40
<b>Tabla 9</b>	Definición operativa de variables.....	44
<b>Tabla 10</b>	Cálculo de la reserva del block del Tajo 104.....	47
<b>Tabla 11</b>	Resumen de parámetros geomecánicos Tajo 104.....	48
<b>Tabla 12</b>	Clasificación del macizo rocoso.....	49
<b>Tabla 13</b>	Resultados de ensayos de laboratorio.....	49
<b>Tabla 14</b>	Características de las discontinuidades Zona Vetas.....	50
<b>Tabla 15</b>	Características del Superfam-Dos.....	60
<b>Tabla 16</b>	Contraste de costos.....	62
<b>Tabla 17</b>	Grupo control - observación.....	63
<b>Tabla 18</b>	Grupo experimental – prueba.....	63
<b>Tabla 19</b>	Grupo control - pre prueba.....	64
<b>Tabla 20</b>	Grupo experimental - datos post prueba.....	64
<b>Tabla 21</b>	Comparación de producción.....	67
<b>Tabla 22</b>	Comparación de dólares por tonelada.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Plano de Sobreandes SAC. ....	22
<b>Figura 2</b>	Clasificación de los métodos según forma. ....	34
<b>Figura 3</b>	Clasificación de los métodos según calidad de roca. ....	34
<b>Figura 4</b>	Malla de perforación en abanico. ....	37
<b>Figura 5</b>	Malla en paralelo.....	38
<b>Figura 6</b>	Subniveles con Taladros Largos. ....	40
<b>Figura 7</b>	Características en las discontinuidades. ....	50
<b>Figura 8</b>	Estereograma - contornos y planos mayores - Veta Esperanza. ....	51
<b>Figura 9</b>	Orientación prioritaria de las excavaciones - Veta Esperanza. ....	51
<b>Figura 10</b>	Análisis de estabilidad tajos con Taladros Largos zona Vetas. ....	53
<b>Figura 11</b>	Perno helicoidal de 7 pies.....	54
<b>Figura 12</b>	Delimitado de la sección.....	54
<b>Figura 13</b>	Perforación de Taladros Largos.....	55
<b>Figura 14</b>	Ventanas de extracción del tajo 104. ....	56
<b>Figura 15</b>	Perforación de Taladros Largos positivos.....	57
<b>Figura 16</b>	Taladros Largos del tajo 104. ....	58
<b>Figura 17</b>	Voladura Taladros positivos Tajo 104.....	58
<b>Figura 18</b>	Carguío de taladros. ....	59
<b>Figura 19</b>	Anfo.....	60
<b>Figura 20</b>	Emulnor 5000x1 1/2x8.....	61
<b>Figura 21</b>	Pentacord.....	61
<b>Figura 22</b>	Carmex.....	62

<b>Figura 23</b>	Estabilidad de labores de avances. ....	69
<b>Figura 24</b>	Estabilidad de tajos de explotación.....	70
<b>Figura 25</b>	Simulación de explotación estable.....	71
<b>Figura 26</b>	Valores aceptables de minado con taladros largos.....	72

## INTRODUCCIÓN

La Mina Sobreandes se dedica al descubrimiento, extracción y concentración de minerales que contienen cobre, plomo, plata y zinc. El Sr. Alejandro Gubbins obtuvo una licencia de Centromin Perú en 1986. El sistema de explotación de la mina Sobreandes se basa en la forma del yacimiento mineralizado, sus características geológicas y geomecánicas. En la Zona de Cuerpos (Alto, Medio y Bajo), utiliza taladros largos por Subniveles, mientras que en la Zona de Vetas (Esperanza, Oroya), utiliza Corte y Relleno Ascendente.

La filosofía de Sobreandes es innovar en sus métodos de actuación, someterse a los problemas nacionales actuales que se presentan a diario, y creer firmemente en el desarrollo del potencial humano como catalizador del progreso y la expansión nacional, así como en el papel de la empresa como promotora de la prosperidad.

Dado que la zona de vetas reviste una importancia crítica por sus buenas calidades en consonancia con el precio de los metales en el mercado mundial, el objetivo de la empresa es aumentar la producción y reducir los costes de explotación en ella.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

#### **1.1. Fundamentación del problema**

Dado que la minería es un oficio que se ve influido por el precio de los metales en el mercado mundial. La necesidad de elegir un método de explotación minera adecuado es crucial para maximizar los beneficios con la menor inversión.

Actualmente fluctúan continuamente los precios de los metales, que están determinados exclusivamente por la oferta y la demanda, en los que no influye la empresa en sí, la U.M. Americana se enfrenta al mismo problema que todas las industrias: ¿cómo maximizar sus resultados económicos? En la industria minera, esta situación es crucial para la supervivencia. Por ello, realizar ajustes para mejorar continuamente es un proceso interminable que tiene como objetivo aumentar la productividad, reducir los gastos y aumentar la rentabilidad.

La Unidad Minera Americana está dividida en dos secciones: la zona de vetas se corta y rellena hacia arriba, mientras que la zona del yacimiento se explota mediante taladros largos. Dada estas condiciones, se busca bajar los costos de minado y elevar la producción de mineral de la zona vetas. Para lo cual necesita hacer un análisis exhaustivo para su aplicación de Taladros en vetas. La producción por tajo era de 1.200 Tm/mes utilizando técnicas previas; Ahora se prevé alcanzar las 4.000 Tm/mes aplicando subniveles con perforadoras de gran longitud.

Con la aplicación del método de explotación idóneo, se busca minimizar el costo de extracción y aumentar la producción, reducir los gastos de explotación, producir más volumen roto con una dilución adecuada y evitar accidentes de personas expuestas cerca de los tajos. El objetivo determinar si la aplicación de subniveles con taladros largos en la zona de la veta es factible en las mismas circunstancias geológicas y geomecánicas.

## **1.2. Formulación del problema**

### ***1.2.1. Problema general***

¿En cuánto se optimizará el costo de minado, mediante la aplicación de subniveles con taladros largos en Vetas de la Unidad Minera Americana-2024?

### ***1.2.2. Problemas específicos***

- a) ¿Cuánto es el costo de minado en la Zona Vetas, mediante la aplicación de subniveles con taladros de la Unidad Minera Americana-2024?
- b) ¿Cómo influye las condiciones geomecánicas y geológicas de la Zona Vetas en la aplicación de subniveles con taladros largos?

## **1.3. Objetivos del estudio**

### ***1.3.1. Objetivo general***

Determinar en cuanto se optimizará el costo de minado de la zona vetas, mediante la aplicación de subniveles con taladros largos de la Unidad Minera Americana-2024

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar cuánto es el costo de minado en la zona vetas, mediante la aplicación de subniveles con taladros largos de la Unidad Minera Americana-2024
- b) Determinar cómo influye las condiciones geomecánicas y geológicas de la zona vetas en la aplicación de subniveles con taladros largos.

### **1.4. Justificación e importancia del proyecto**

La realización de este proyecto de investigación se justifica por su contribución a la reducción de los gastos de explotación en las operaciones mineras de la U.M. Americana, además de abordar el problema del incremento en los costos de explotación que enfrenta el sector minero en el país. Para alcanzar costos de producción rentables, una mayor productividad y principalmente operaciones mineras seguras con bajos índices de accidentabilidad, resulta imprescindible la transición de las técnicas mineras convencionales hacia métodos masivos más eficientes.

### **1.5. Alcances y limitaciones del estudio**

#### **1.5.1. Alcances**

Dado que las conclusiones pueden aplicarse a diferentes situaciones mineras que les ayuden a mejorar sus procesos unitarios y sus costes mineros, se pretende que esta investigación tenga un alcance nacional.

#### **1.5.2. Limitaciones**

Para el presente estudio se adquirieron información y planos, lo que supuso ciertas limitaciones en la recopilación de información. Sin embargo, pudimos superar estas limitaciones con la ayuda de nuestros conocimientos,

experiencia y el asesoramiento de los mejores especialistas de la industria minera.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes o marco referencial

##### *2.1.1. A nivel internacional*

(Brown & Richards, 2017), en su estudio titulado “**Application of Long-Hole Stopping in Narrow Veins to Optimize Mining Costs in the Gold Mines of Western Australia**”, Esta investigación se enfocó en las minas de oro en el oeste de Australia, donde los métodos tradicionales de explotación minera resultaban costosos y limitaban la productividad. Los autores exploraron la implementación del método de taladros largos en vetas angostas para aumentar la eficiencia de las operaciones mineras en minas de oro. El estudio demostró que, al aplicar subniveles con taladros largos, los costos operativos se redujeron en un 15% y la productividad aumentó en un 25%, lo que permitió que las minas alcanzaran una rentabilidad sostenida a largo plazo. Además, observaron mejoras significativas en la seguridad laboral al minimizar la exposición directa de los trabajadores en las áreas de perforación.

(Johnson y otros, 2019), en su investigación “**Cost Optimization through Long-Hole Mining in Narrow Veins: A Case Study in Canada**”, analizaron la implementación de taladros largos en vetas estrechas en una mina de plata en Canadá. Los resultados mostraron que este método permitió un

incremento del 40% en la recuperación de mineral, reduciendo al mismo tiempo los costos de sostenimiento y perforación. Aunque la inversión inicial fue mayor debido a la infraestructura requerida, la tasa de retorno fue significativamente mejorada a mediano plazo, reduciendo los costos de operación por tonelada en un 18%.

(Müller & Schwarz, 2020), en su trabajo **“Economic Efficiency of Sublevel Stopping in Narrow Ore Bodies: Case Study in Central Europe”** analizaron minas de cobre y zinc en Europa Central que utilizaron taladros largos en cuerpos de mineralización estrecha. Su investigación concluyó que, si bien el método requiere un gasto de capital inicial alto, los beneficios incluyen una mayor velocidad de extracción, reducción de costos en insumos y un aumento significativo en la producción diaria. El estudio destacó una reducción en los costos operativos de 20% a lo largo de tres años de aplicación, lo que optimizó la rentabilidad del proyecto.

(Li & Zhang, 2021), en su artículo **“Long-Hole Open Stopping for Cost Reduction in Chinese Lead-Zinc Mines”** realizaron un análisis sobre el uso de taladros largos en vetas de plomo y zinc en China. Su investigación mostró que, comparado con los métodos convencionales, el uso de subniveles con taladros largos permitió una reducción significativa en el costo de perforación y sostenimiento de hasta un 30%. Además, incrementó la eficiencia operativa al reducir el tiempo necesario para concluir el ciclo de minado, lo que resultó en un aumento en la producción anual de un 35%.

### **2.1.1. A nivel nacional**

(Vargas, 2002) Señala en su estudio **“Aplicación de taladros largos en la mina El Porvenir, Empresa Minera Milpo S.A.”** que la distribución de leyes y el tipo de yacimiento hacen maravilloso el uso de taladros largos como método minero de explotación. Esto permite concluir que, para confirmar el flujo de mineral fragmentado por gravedad, se debe utilizar la técnica de Sublevel Stopping cuando el buzamiento de la veta es mayor a 55°. Además, Las características de la minería de barrenos largos son abarcadas por yacimientos con la geometría de mantos mineralizados y/o estratos fuertes o extremadamente fuertes.:

(Toribio, 2018). Según su estudio **“Minería por Sublevel Stopping en vetas angostas para optimizar la rentabilidad de la TJ 882 en C.M. Kolpa S.A.”**, el método Sublevel Stopping sólo es apropiado cuando el buzamiento de la veta es mayor que el ángulo de reposo del material, que suele ser de 55°, y las cajas circundantes ofrecen condiciones adecuadas. Además, debido a sus menores costes de extracción, este método es mejor en situaciones en las que los precios de los metales están bajando. No obstante, hay que destacar que su instalación inicial conlleva un mayor coste de capital, relacionado sobre todo con las grandes inversiones en la preparación del tajo..

La investigación de (Avalos & Juro, 2018) titulada **“Aplicación del Método de Explotación por Subniveles con Taladros Largos en Vetangostas, para Mejorar la productividad en la Unidad Minera Yauliyacu-2018”** aborda la baja productividad del método de corte y relleno ascendente semi-mecanizado. Al comparar este método con el de taladros largos en vetas

angostas, se evidenció que, aunque el costo inicial de minado con taladros largos es mayor, a mediano plazo resulta más rentable gracias al aumento en el tonelaje extraído, permitiendo alcanzar las metas de producción. Entre los resultados más destacados, se optimizó el ciclo de minado de 10.16 a 6.58 horas/guardia, se eliminó el costo de sostenimiento (de 4.31 \$/ton a 0.00 \$/ton) y se incrementó la producción mensual de 1,335.75 a 5,223.21 toneladas. En conclusión, este método demostró ser una estrategia eficaz para mejorar significativamente los tiempos, costos y productividad en la unidad minera.

(Sánchez, 2019) en su tesis **“Mejora de la Productividad en la Mina San Rafael mediante el Uso de Taladros Largos en Vetas Angostas”**, analizó el impacto de cambiar tradicional por subniveles con taladros largos. El autor evidenció una reducción significativa en los costos de perforación y voladura, además de un incremento en la recuperación de mineral. La conclusión principal fue que este método permitió una mayor eficiencia operativa al reducir el tiempo necesario para extraer el mineral y aumentar el tonelaje producido por turno.

(Cáceres & Morales, 2020) en su estudio sobre **“Optimización de Costos de Minado en Vetas Estrechas mediante el Uso de Subniveles y Taladros Largos en la U.M. Antapite”**, destacaron que el uso de taladros largos no solo mejoró la productividad, sino que permitió una mejor gestión de los costos asociados al sostenimiento y consumo de material explosivo. Los autores demostraron que, si bien la inversión inicial es mayor, la técnica resulta más rentable a largo plazo por el incremento en la tasa de extracción y la disminución de costos por metro perforado.

(González, 2021), en su investigación **“Evaluación de Métodos de Explotación en Vetas de Altura Baja en la Mina Pierina”**, comparó distintos métodos de explotación, encontrando que la implementación de subniveles con taladros largos resultó ser más eficiente en términos de costo y recuperación de mineral que otros métodos convencionales. El estudio concluye que, al aplicarse en vetas con geometrías complejas, este método es particularmente útil para aumentar la rentabilidad de la operación.

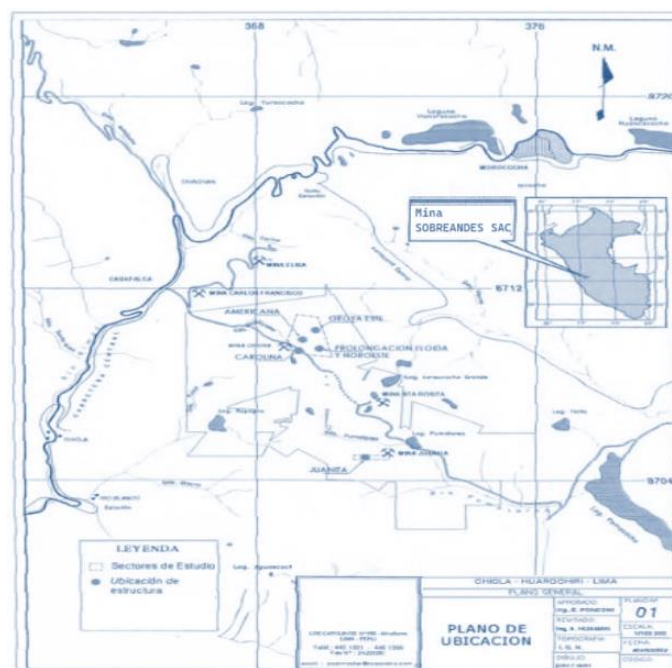
## 2.2. Mina Sobreandes

### 2.2.1. Ubicación

En el departamento de Lima, en el distrito de Chicla, Huarochirí, la mina Sobreandes está situada en plena cordillera Limeña. Se encuentra a 4.400 metros sobre el nivel del mar y está situada entre las coordenadas UTM 366761.70 E y 8710455.60 N en la zona central de la cara oeste de la Cordillera Occidental de los Andes.

### Figura 1

*Plano de Sobreandes SAC.*



### **2.2.2. Accesibilidad**

Ruta 1: Por asfalto, recorriendo el trayecto de aproximadamente 129 kilómetros (tres horas) entre Lima y Casapalca.

Ruta 2: La ruta es asfaltada de Huancayo a La Oroya-Casapalca, de 100 kilómetros, dura tres horas.

### **2.2.3. Relieve y clima**

En el valle de influencia glaciar en el que se encuentra la mina de Sobreandes, hay pendientes pronunciadas entre 4100 y 4500 metros sobre el nivel del mar en las zonas bajas (campamentos y mina principal) y una pendiente pronunciada y escarpada entre 4500 y 5200 metros sobre el nivel del mar.

En la categorización del Dr. Carlos W. Nicholson, el clima es de puna y nieve; en la clasificación de W. Köppen, es de clima frío (boreal), clima de tundra seca de alta montaña y ambiente de nieve permanente. En la zona geográfica donde se encuentra la mina hay dos estaciones bien diferenciadas: De diciembre a abril, que se caracterizan por una elevada pluviosidad y temperaturas que oscilan entre los 10 °C y los 0 °C. Las tormentas pueden acompañar ocasionalmente a las precipitaciones, que con frecuencia incluyen granizo y nieve y el resto del año con un clima seco.

### **2.2.4. Geología Regional**

La mina Sobreandes, está formado fundamentalmente por rocas ígneas, rocas calcáreas, lutitas, pizarras, calizas brechas y areniscas silicificadas.

Tabla 1

*Geología regional.*

<b>Formación Geológica</b>	
<p><b>Formación Casapalca</b> Constituido por rocas de precipitación química o sedimentarias de ámbito continental. Esta generación ha sido dividida en tres componentes que son de forma ascendente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Miembro Capas Rojas:</b> Este miembro se caracteriza por la comparecencia de rocas sedimentarias de granos delgados como la lutita, sobresaliendo las de color rojo por la existencia de óxidos de hierro.</li> <li>• <b>Miembro Carmen:</b> Este miembro esta sobre las Capas Rojas, donde destacan los conglomerados que son rocas sedimentarias establecidos por agentes fluviales. Tiene magnitudes superiores a 80 metros inclusive hasta los 0.1 kilómetros.</li> </ul>
<p><b>Formación Carlos Francisco</b> La formación Carlos Francisco está constituida por una serie de rocas volcánicas que ha sido fraccionada en 3 miembros:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tablachaca:</b> Se prepondera las rocas volcánicas ígneas como las andesitas que son rocas constituida por cristales de feldespatos y plagioclasas.</li> <li>• <b>Volcánicos Carlos Francisco:</b> Contiene considerablemente fragmentos de rocas ígneas magmáticas de tipo afanítico.</li> <li>• <b>Tufos Yauliyacu:</b> Fundamentalmente constituido por rocas ígneas porosas y ligeras, que fueron originadas por acopio de cenizas.</li> </ul>
<p><b>Formación Bellavista</b> La formación Bellavista consiste en una serie de tufos volcánicos intercalados con calizas grises. En los niveles inferiores de la Mina Casapalca se encontró unos horizontes de anhidrita intercalados con lutitas.</p>	
<p><b>Formación Río Blanco</b> La formación Río Blanco consiste en una serie de tufos bien estratificados que descansa concordantemente sobre la formación Bellavista. Los volcánicos de Río Blancos debe ser una de las rocas más jóvenes del Perú.</p>	

### **2.2.5. Geología local**

La Formación Casapalca es una serie plegada de sedimentos continentales cretácicos que incluye las rocas con ambos tipos de mineralización. El miembro inferior de esta formación, «Capas Rojas Casapalca», está constituido por areniscas, limolitas, esquistos rojizos y algunos niveles de calizas blanquecinas. El miembro superior, «Conglomerado Carmen», está formado por areniscas arcillosas rojizas silicificadas que han

sufrido alteración hidrotermal y presentan horizontes lenticulares de conglomerados.

En los conglomerados del «Conglomerado del Carmen» se encuentran clastos muy redondeados, formados principalmente por cuarcitas finas del Grupo Goyllarizquisga, calizas de la Formación Jumasha y trazas de chert. Los cuerpos mineralizados se encuentran en esta unidad, mientras que las vetas de las «Capas Rojas» producen fracturas llenas de mineral.

El «Conglomerado Tablachaca», que incluye clastos cuarcíticos, andesitas volcánicas y algunos clastos calcáreos, forma la base de la Formación Carlos Francisco, que tiene un aspecto concordante. Su región superior consiste en intrusiones subvolcánicas y fundidos volcánicos andesíticos que afloran en las regiones media y superior de Casapalca. Los pórfidos Taruca y Victoria son intrusiones dioríticas y granodioríticas hipabisales y porfídicas que están asociadas con vetas mineralizadas que exhiben ramificación y abocardamiento.

Las calizas grises de la Formación Bellavista afloran en la parte superior de un sinclinal al sur, con fracturas que favorecen el desarrollo de vetas mineralizadas comercialmente viables.

### **2.2.6. Geología estructural**

Uno de los aspectos más importantes de la U.M. Americana es su estructura. El marco estructural de la zona fue creado por los numerosos movimientos que se produjeron durante la tectónica andina y, al explotar estas importantes zonas débiles, la actividad magmática del Mioceno tardío permitió

el emplazamiento de intrusivos ácidos, que son los que han causado la mineralización.

Un sistema de grandes estructuras con pliegues, fallas y fracturas se ha creado en el Perú central como resultado del sistema de esfuerzos creado por los ciclos tectónicos andinos en el Terciario y Pleistoceno, particularmente en las áreas de Casapalca, San Cristóbal y Morococha. En particular, estas estructuras regulan la mineralización de las vetas y el emplazamiento de los intrusivos.

**Tabla 2**

*Geología estructural*

<b>Sinclinales Anticlinales</b>
Los dos más importantes son el sinclinal Pumatarea-Aguascocha, de 9 km de longitud, que atraviesa todo el sector de Casapalca. El anticlinal de Antupuquio, de 1 km de longitud y paralelo al sinclinal, y el anticlinal de Casapalca, de hasta 2 km de longitud.
<b>Fallas</b>
Las fallas perpendiculares al eje del sinclinal Pumatarea-Aguascocha, que discurren en dirección N-S y están rellenas de soluciones hidrotermales, son las estructuras más importantes del distrito minero de Alpayana. En algunos casos, estas fallas también han funcionado como canales para la circulación de estas soluciones.

### **2.2.7. Geología económica**

Debido a la naturaleza mesotermal de las vetas, la Mina Alpayana es un yacimiento polimetálico de tipo «cordillerano» que contiene minerales de cobre, zinc, plomo y plata. La mineralogía del yacimiento varía según la zonación

vertical y horizontal, y tiene una importante extensión vertical que llega por debajo de los 3900 m.s.n.m.

Se pueden encontrar entidades mineralizadas con formas muy irregulares en rocas sedimentarias como resultado de soluciones hidrotermales que reemplazan la matriz calcárea.

En la región de la Unidad Minera se puede encontrar una gran variedad de afloramientos, que van desde simples fracturas de carbonato (calcita) hasta vetas extremadamente fuertes repletas de carbonatos, cuarzo y sulfuros.

**Tabla 3**

*Mineralización y vetas.*

<b>Mineralización</b>
Los minerales más comunes en la zona de las vetas son plata (tetraedrita, freibergita), plomo (galena), zinc (esfalerita) y trazas de cobre (calcopirita, bornita). Los minerales de ganga más comunes son pirita, calcita, rodocrosita, rodonita y cuarzo.
<b>Vetas</b>
La mina Sobreandes cuenta ahora con cinco vetas principales: Juanita, Ximena, Don Reynaldo, Oroya y Esperanza-Mariana-Mercedes. También están presentes fracturas, bucles, diferentes tipos de cimoides, mantos, brechas y cuerpos de reemplazo.

### **2.2.8. Reservas**

La mina Sobreandes tiene la siguiente reserva:

**Tabla 4***Reserva de la Zona de Vetas.*

CERTEZA	RESERVAS (T.M.S.)					
	TMS	Ag	Pb	Cu	Zn	\$
PROBADO	1,598,687.00	5.66	1.85	0.34	2.38	59.45
PROBABLE	688,380.00	5.33	1.70	0.32	2.32	56.26
<b>TOTAL</b>	<b>2,287,067.00</b>	<b>5.50</b>	<b>1.78</b>	<b>0.33</b>	<b>2.35</b>	<b>57.86</b>

*Fuente: Geología y Exploraciones Sobreandes SAC.***2.2.9. Muestreo**

En minería, el muestreo es el proceso de recoger pequeñas muestras representativas de un yacimiento para evaluar su composición y calidad. Es esencial para el control de calidad, ya que permite determinar las leyes de cada tajo y del yacimiento explotado. En la mina de Sobreandes, se envían muestras para análisis de Ag (en Oz/TM), Pb, Cu y Zn (en %) cada dos metros para cubicación o preparación, y cada tres metros en los tajos aún en explotación. Se requieren muestras representativas, proporcionadas y libres de impurezas.

**2.2.10. Contorneo**

Un método geológico denominado contorneado utiliza la evaluación y el marcado con pintura para distinguir la veta de los espacios vacíos (cajas). Este proceso es esencial porque impide perforar más allá de la veta, lo que reduce la dilución de la ley y la sobre excavación. Además, garantiza que el borde del canal de muestreo sea preciso.

Principios:

- Inspeccionar los mapas de geología de los altos y bajos niveles del tajo.

- Inspeccionar las condiciones laborales del área a trabajar, si esta cumple o no con las condiciones de seguridad.
- Lavar con presión de agua las paredes, hastiales, techo de la labor a contornear.
- Finalmente, a colorear los límites de la roca caja techo y piso.

### **2.2.11. Geomecánica**

Debido a las características morfológicas y geomecánicas de las formaciones mineralizadas de la Zona de Vetas, es necesaria una técnica de explotación diferente de la convencional. Dado que permite una explotación eficaz, segura y rentable, se recomienda como mejor opción el enfoque «Sublevel Stoping». Este enfoque garantiza su viabilidad técnica y financiera ajustándose a las características naturales del yacimiento y teniendo en cuenta elementos como el relleno, las voladuras controladas, la velocidad del ciclo de explotación y la evaluación económica.

El «Sublevel Stoping» es ideal para yacimientos con cajas de competencia regular a buena ( $RMR > 50$ ), permitiendo la construcción de pozos estables durante la explotación. El objetivo del Área de Geomecánica es evaluar el macizo rocoso de la Zona de Vetas para establecer parámetros técnicos que garanticen una explotación minera segura y eficiente, optimizando los criterios de seguridad y operatividad.

## **2.3. Bases teóricas**

Podremos contar con explotaciones mineras más seguras, con bajos índices de frecuencia y gravedad, así como con costos de explotación y producción más baratos, mayor productividad y eficiencia, gracias a la adopción de los métodos

mineros a los métodos de enormes dimensiones. A nivel nacional, el uso de técnicas enormes como el Sublevel Stopping está desplazando a las técnicas tradicionales.

Para emplear esta tecnología hay que tener en cuenta numerosos factores, como la resistencia del mineral y de las cajas de techo y suelo; el tamaño, la forma, la profundidad, el ángulo de buzamiento y la ubicación del yacimiento; la persistencia de la mineralización, etc., etc.

### ***2.3.1. Relevancia del método de explotación***

Para maximizar la explotación de los recursos naturales, la economía moderna exige que la minería se base en tecnologías de vanguardia. El mineral, que se define como material de valor comercial, es fundamentalmente una noción económica. Hay que demostrar su composición, calidad y distribución en el yacimiento para que se considere mineral, lo que exige un conocimiento profundo del yacimiento, las tecnologías pertinentes, las técnicas de procesamiento, los gastos y los mercados. Este análisis permite realizar un estudio de viabilidad para evaluar la probabilidad de convertir el recurso en un producto lucrativo. Además, las «condiciones económicas existentes» deben tener en cuenta que el mineral contiene minerales preciosos y ganga, que se tratan en plantas de concentración para producir concentrados que deben dejar un margen de beneficio una vez restados los gastos de explotación y transporte.

El proceso inicial de elección de la mejor técnica minera comienza una vez prospectado y explorado el yacimiento. La minería subterránea se elige en la fase de diseño conceptual, lo que repercute en el estudio de viabilidad y en las especificaciones técnicas del proyecto. Los fundamentos de la extracción de recursos se siguen incluyendo en el diseño final, aunque esta elección inicial

pueda modificarse posteriormente. En la actualidad sólo existen unas pocas técnicas de minería subterránea, pero como cada yacimiento mineral es diferente, hay muchas formas de utilizarlas.

La elección de la técnica minera debe basarse en las características naturales, geológicas y geométricas del yacimiento una vez confirmada la viabilidad económica del proyecto. La resistencia RMR de las rocas y del yacimiento, las características espaciales del yacimiento (dimensiones, pendiente y espesor) y el valor monetario de la ley y la distribución del mineral son factores importantes.:

La geología y la disposición espacial del yacimiento son los principales determinantes de la tecnología minera utilizada para la extracción subterránea durante la ingeniería del proyecto. Esta primera decisión debe apoyarse en un estudio exhaustivo e imparcial que tenga en cuenta factores importantes como los costes de capital y operativos, los índices de producción, la disponibilidad de mano de obra, materiales y equipos, así como cualquier efecto medioambiental.

### ***2.3.2. Elección del método de explotación***

El tamaño y la forma del yacimiento, la calidad y la distribución del mineral, la estabilidad y la resistencia de las rocas circundantes, los requisitos de producción y los requisitos de seguridad -algunos de los cuales pueden entrar en conflicto- influyen en la elección de la mejor técnica minera para la minería subterránea. Aunque los métodos de extracción han cambiado y cada mina es diferente, todas buscan el equilibrio entre un negocio lucrativo y un entorno de trabajo seguro. La elección del método de extracción influye directamente en

factores como la productividad, la eficacia, los costes de excavación, las pérdidas de mineral y las repercusiones financieras.

La reducción de los gastos de excavación es el objetivo primordial a la hora de elegir una técnica, ya que aumenta la rentabilidad. Sin embargo, estas consideraciones por sí solas no pueden servir de base para la elección. También hay que tener en cuenta las características geológicas del yacimiento, ya que afectarán al control de la dilución del mineral, a la eficacia de la excavación y a la seguridad laboral. Por lo tanto, a la hora de seleccionar un método de extracción hay que tener muy en cuenta una serie de consideraciones técnicas y financieras para garantizar su viabilidad y eficacia.

Estos factores pueden agruparse en tres categorías principales:

- Factores geológico-mineros tales como condiciones del piso, hastiales y techo, espesor de la capa o yacimiento, forma, inclinación, buzamiento, profundidad bajo la superficie, la distribución de leyes, la calidad de los recursos, etc.
- Factores de técnica minera, tales como la productividad anual, el equipo aplicado, consideraciones ambientales, la recuperación de la mina, la flexibilidad de los métodos, maquinaria y ritmo de extracción, etc.
- Factores económicos como costes de capital, costes de operación, tonelajes de mineral explotables, leyes del yacimiento, valor de minerales, etc.

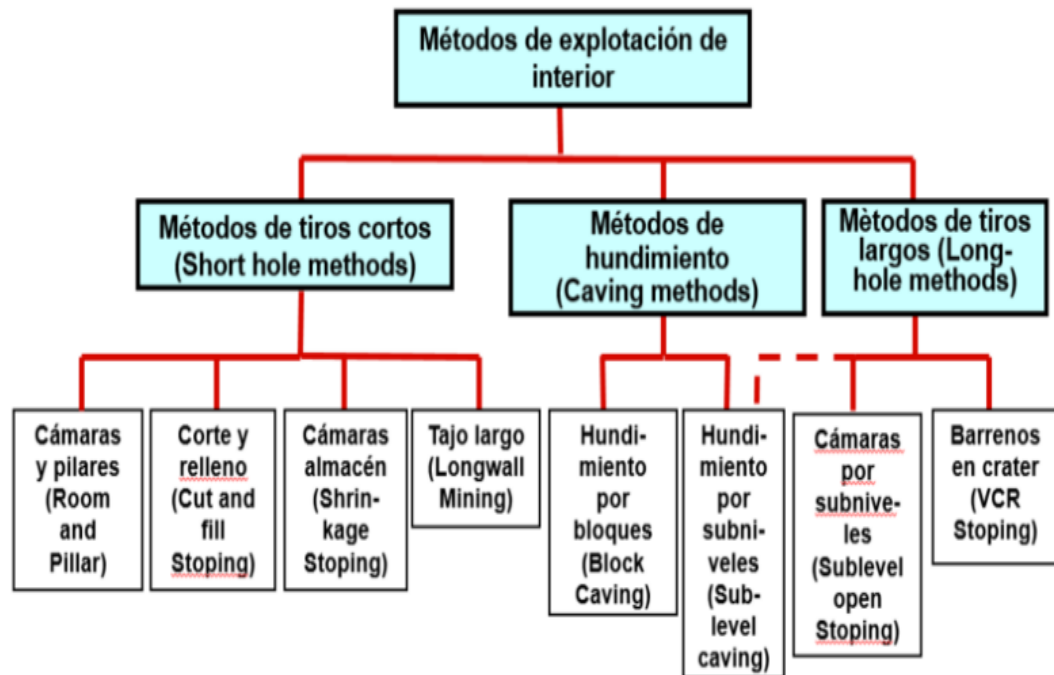
En la práctica, hay casos en los que los factores mineros y geológicos permiten la aplicación de un método de explotación determinado, pero su aplicación no está justificada desde el punto de vista de sus resultados

financieros. También hay casos en los que un método considere la utilización de determinados tipos de maquinaria, pero no se justifica desde el punto de vista de los factores de la técnica minera. De todos modos, la selección del método es un largo y difícil proceso de ingeniería, que requiere un gran conocimiento y una experiencia avanzada. Para una evaluación adecuada y eficaz, la toma de decisiones puede incluir tener que analizar gran cantidad de datos y tener en cuenta muchos factores. Por ello, hay varias metodologías que se han desarrollado en el pasado para la selección del método. Con carácter general, la elección del método más adecuado se hace por el procedimiento de modelo tecno-económico. Este modelo se basa en la estimación de los efectos económicos esperados, que pueden ser adquiridos por la aplicación de cada método de un grupo de métodos aplicables. Se elige el método de explotación que ofrezca los mejores resultados financieros. Entre los factores determinantes en la elección del método de explotación, cabe destacar:

- Forma del yacimiento, Forma, potencia y buzamiento, dimensiones, regularidad.
- Aspectos geotécnicos, Resistencia (de la mena, techo y muro). Fracturación (intensidad y tipo de fracturación). Campo tensional in-situ (profundidad). Comportamiento tenso-deformacional.
- Aspectos económicos: Leyes de la mena. Valor unitario de la mena. Productividad y ritmo de explotación.

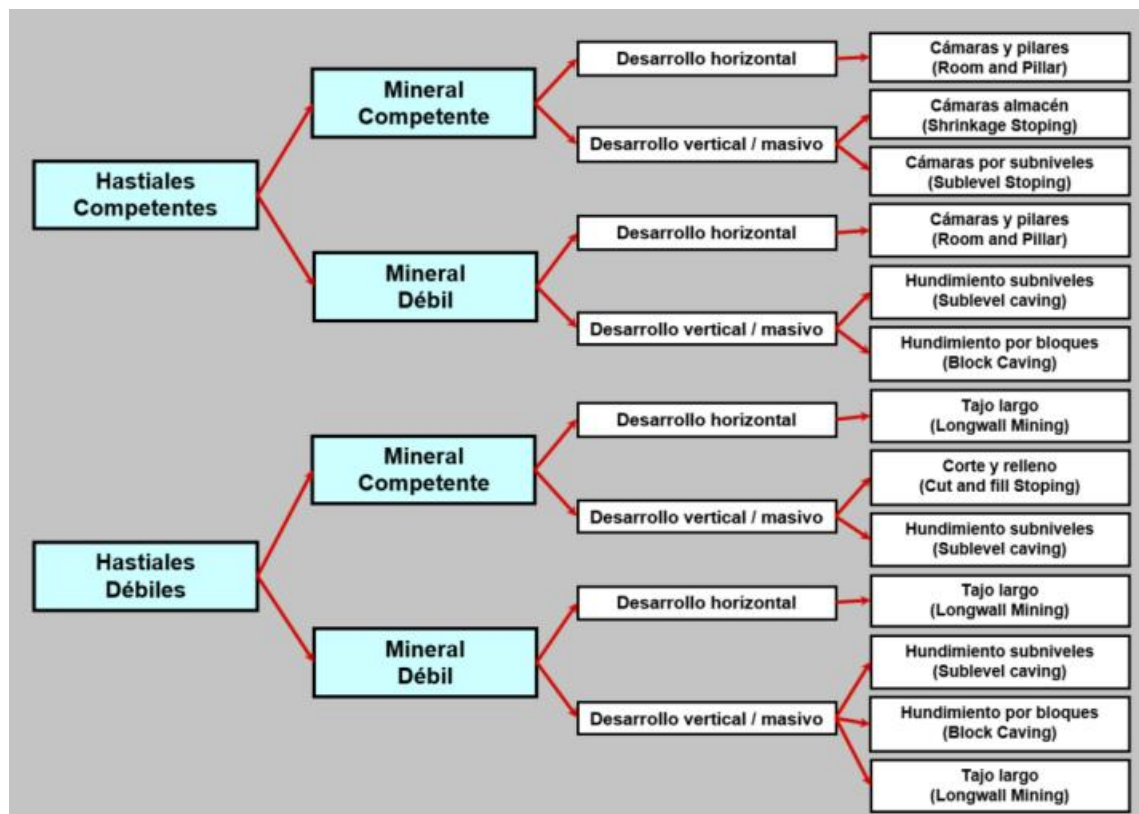
**Figura 2**

*Clasificación de los métodos según forma.*



**Figura 3**

*Clasificación de los métodos según calidad de roca.*



**Tabla 5**

*Características comparativas de los métodos.*

Método	Producción (t/hombre y turno)	Dilución (%)	Pérd mineral (%)	Min de trab des (%)	Coste relativo	Coste mano de obra en costes totales (%)
Minería a cielo abierto	50 – 250	5	0 – 5	-	1,0	25 – 35
Room and pillar	10 – 40	10 – 15	15 – 40	5 – 10	1,2	50 – 60
Cut and fill stoping	5 – 35	5 – 10	5 – 15	5 – 10	4,5	50 – 60
Shrinkage stoping	5 – 30	10	10	5 – 10	6,7	50 – 60
Longwall mining	10 – 40	10 – 15	5 – 15	10 – 15	1,7	50 – 60
Sublevel stoping	25 – 120	10 – 15	5 – 15	5 – 10	1,3	40 – 50
UG Benching	50 – 150	10 – 20	5 – 15	10 – 15	1,2	40 – 50
VCR stoping	50 – 150	10	10	5 – 10	2,0	40 – 50
Sublevel caving	20 – 65	20 – 30	15 – 30	15 – 45	1,5	40 – 50
Block caving	25 – 200	15	5	< 5	1,0	20 – 50

### **2.3.3. Método de explotación subniveles con Taladros Largos**

Este método, que se basa en la perforación y el desmonte entre dos niveles de excavación en una orientación ascendente y descendente, adapta los principios de voladura utilizados en las minas a cielo abierto para su uso en la minería subterránea (López, 1991).

Este enfoque define un nivel base (nivel de mina) para uno o más subniveles superiores, con separaciones entre niveles base que oscilan entre 50 y 80 metros.

### **2.3.4. Cuerpos mineralizados**

Los yacimientos grandes, consistentes, robustos y capaces con lecho rocoso autoportante son adecuados para la técnica de subnivel de pozo largo. Aunque varían, las tensiones de la roca deben ser superiores a 8.000 psi (55 MPa). El material volado debe poder fluir por gravedad hasta los terminales y tolvas de carga debido a la inclinación del mineral y la roca. Dado que los

yacimientos más pequeños reducen la producción por disparo, los yacimientos deben tener una altura mínima de 6 metros para un aprovechamiento óptimo. En los yacimientos grandes deben dejarse pilares de apoyo durante el ciclo de extracción, que posteriormente se recuperan.

Los yacimientos bien definidos con márgenes regulares son necesarios para perforar pozos largos porque los yacimientos desiguales o llenos de inclusiones diluyen el mineral y elevan el coste por tonelada. La fluidez del mineral se ve facilitada por un contacto suave entre el mineral y la roca huésped. La roca debe ser capaz de soportar barrenos anchos durante largos periodos de tiempo sin necesidad de rellenarlos. Para las grandes explosiones se necesitan menas con una tensión de compresión significativa y discontinuidades estructurales mínimas. Los fallos de la roca pueden requerir la renovación del tajo porque pueden provocar una dilución grave, la pérdida de subniveles y la obstrucción de los puntos de carga.

### ***2.3.5. Preparación***

El acceso a los tajos de explotación es por rampa y cortadas normalmente ubicados en la caja piso de los tajos. La galería de extracción (by pass) debe ser desarrollada en el nivel base (caja piso) del tajo, paralela a la zona mineralizada y en estéril, el desarrollo de estocadas o “draw points” que unen la galería de extracción con la galería sobre veta, para la recuperación del mineral derribado.

Las galerías de perforación, subniveles deben estar en la zona mineralizada. Se ejecuta una Ch – slot que sirve como cara libre para iniciar la voladura.

### 2.3.6. Perforación de Taladros Largos

Antes de iniciar la perforación, esta actividad debe ser cuidadosamente controlada y precisa, ya que es esencial para una voladura eficaz. Pueden producirse desviaciones cuando se utilizan barrenos más largos y diámetros inferiores, pero este problema es manejable.

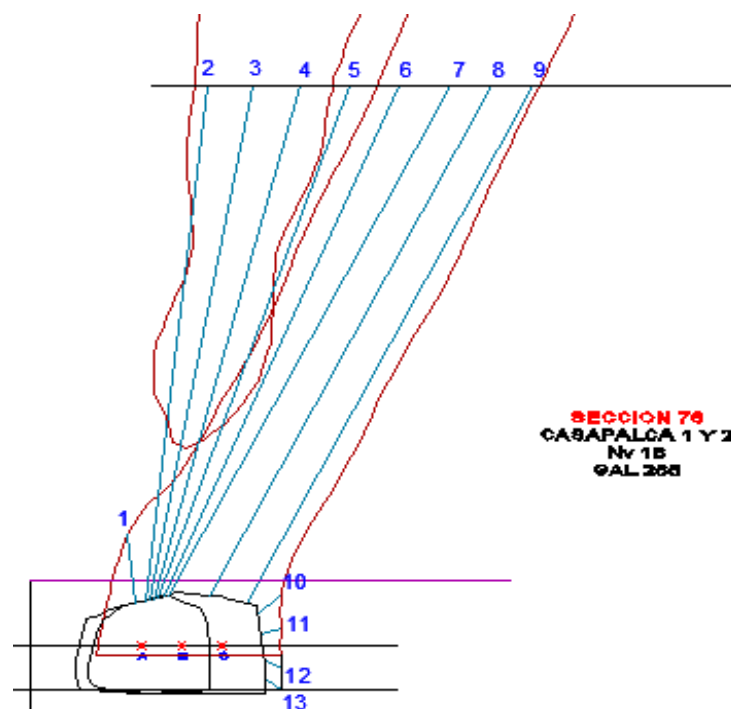
Existen dos variaciones:

#### 2.3.6.1. Taladro en abanico

Los barrenos para esta técnica pueden tener más de 15 metros de longitud, dependiendo del tamaño del bloque mineralizado, y se utilizan en yacimientos enormes, masivos o dispersos. Para minimizar la variación de los barrenos, los barrenos positivos y negativos suelen perforarse en forma de abanico con aceros de 64 mm de diámetro, dejando una altura de 25 metros entre subniveles.

**Figura 4**

*Malla de perforación en abanico.*

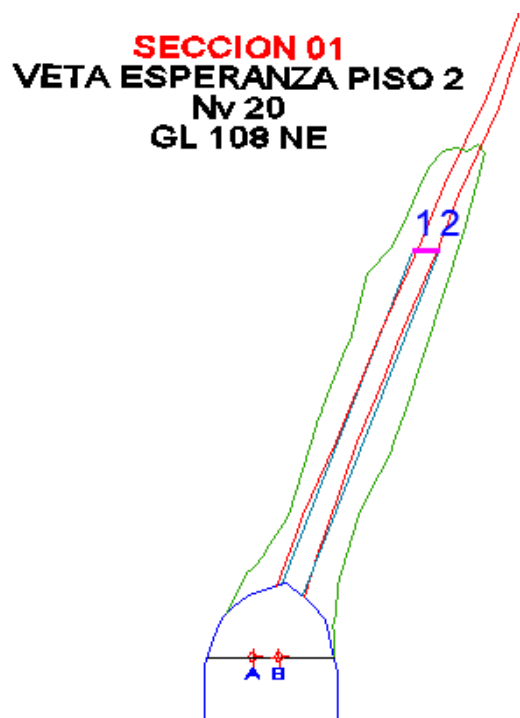


### 2.3.6.2. Taladro en paralelo

Esta técnica se emplea principalmente en vetas en las que la sección del subnivel mide 3,00 m por 3,00 m, y en bloques de mineral cuya potencia oscila entre 1,50 y 3,00 m. Estos subniveles se utilizan tanto para el movimiento del equipo como para la perforación. Utilizando brocas de 2,5» para minimizar la variación de la perforación, a menudo se realizan perforaciones en abanico ascendente y descendente desde una altura de 30 metros entre los subniveles. La mineralización presenta una continuidad consistente, y el desplazamiento de material dentro del tajo se ve favorecido por el buzamiento medio de 70° de las vetas. Las chimeneas de cara abierta, como la Vertical Crater Retreat y la SLOT, que se encuentran en los extremos del tajo y tienen una sección de 2,0 m x 2,0 m, posibilitan el retroceso y la explotación vertical.

**Figura 5**

*Malla en paralelo.*



### 2.3.7. Perforación con Taladros Largos

**Tabla 6**

*Ficha técnica de MUKI LHBP-2R.*

<b>MUKI LHBP-2R</b>	
Alto:	1.75
Anchura:	1.95
Largo:	3.90m
Velocidad de Perforación:	20 – 25 m/h.
Desplazamiento:	Auto propulsado con motor Diesel, energía 440V
Barra de perforación:	MFT38 x 4'
Brocas:	MFT38 x 2.50''
Columna de perforación:	18 barras.

### 2.3.8. Voladura

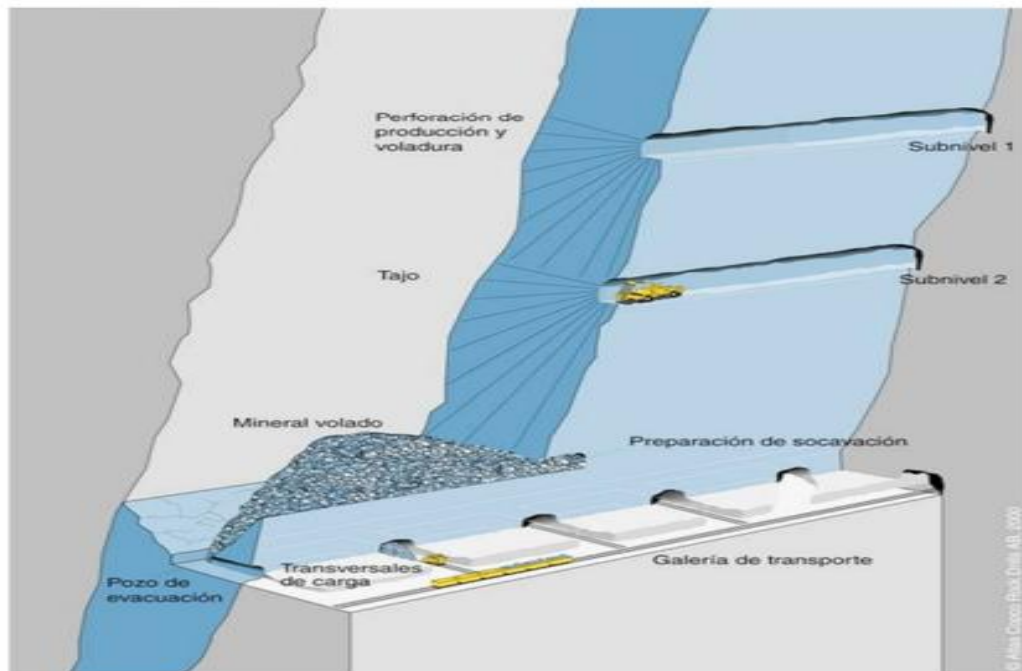
**Tabla 7**

*Especificaciones de voladura.*

<b>Especificaciones</b>	
Taco en la parte baja:	0.50 m
Taco superior:	1.00 m.
Columna de carga:	2.6 kg/m de Anfo.
Iniciador:	Emul. 1 ½ x 8 x 5000
Retardo:	No eléctrico detonador de 18mt (Fulminante Antiestático No Eléctrico)

**Figura 6**

*Subniveles con Taladros Largos.*



### 2.3.9. Ventajas y desventajas

**Tabla 8**

*Ventajas y desventajas.*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta productividad y rendimiento por metro perforado.</li> <li>• Buena recuperación del mineral por sobre el 90 %, la dilución puede estar por debajo del 18 %.</li> <li>• Los tajeos pueden ser perforados con anticipación más adelante que los taladros sean volados, dependiendo que el equipo esté vacante.</li> <li>• El método es inequívoco y aparte del manejo de los subniveles son simples para ventilar, especialmente donde las voladuras son realizadas semanalmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mas tiempo de preparación en función a la cantidad de subniveles.</li> <li>• No es un método selectivo y requiere que la mayor parte del cuerpo sea mineral. Las variaciones de la roca encajonante, especialmente en la caja techo son complicado de arreglar.</li> <li>• El método ineficiente en bajas pendientes donde se puede esperar que la dilución incremente.</li> <li>• Los humos de las voladuras pueden dirigirse dentro de los tajeos cuando se hace una mayor voladura secundaria.</li> </ul>

## 2.4. Definición de términos

**Acceso.** Actividad utilizada generalmente para el movimiento de personal y equipos mineros.

**Arenisca.** Roca sedimentaria compuesta por partículas de arena.

**Barra.** Accesorio de perforación de material como acero, de forma redonda en caso barras de taladros largos o en forma hexagonal en uso de jumbos frontoneros y jackleg, utilizada en la perforación. (Bernaola y otros, 2013)

**Bocamina.** Dícese de aquella labor considerada como la entrada o ingreso a una mina.

**Burden.** Es la magnitud que hay entre la cara libre y el taladro de producción.

**Cable Bolting.** Sostenimiento utilizado en la industria minera y civil, compuesto por un cable metálico y cemento.

**Carguío.** Es la labor de abastecer o llenar con desmonte o mineral, puede ser con Scooptram o cargador frontal.

**Cemento.** Combinación de arcilla y caliza calcinada, usado en la construcción civil.

**Chimenea.** Conducto minero dispuesto en posición vertical o inclinada, destinada a la circulación de aire o acceso.

**Dilución.** Proceso de pérdida de pureza del mineral debido a la incorporación de roca no mineralizada, causado por una voladura mal ejecutada o la caída prematura de la roca encajonante en la explotación.

**Esponjamiento.** Aumento del volumen de la roca in situ debido a su expansión. Este fenómeno se mide como un porcentaje del incremento volumétrico.

**Factor de Carga.** Es la cantidad de explosivo utilizado en relación con el volumen o peso de mineral o desmonte, y se expresa en kg por tonelada (kg/ton) o kg por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>).

**Galería.** Una labor minera realizada en dirección horizontal hacia el cuerpo mineralizado o veta, utilizada para el acceso y la extracción.

**Ley.** Magnitud en % de material valioso o mena que está compuesta en una roca o yacimiento minero.

**Mena.** Es la aglomeración de mineral de cantidad sustanciosa y valiosa, rentable de mineral.

**Nivel.** Conocido por estar compuesto por varias labores horizontales ya sean cruceros, cámaras, ventanas y galerías. Generalmente tiene 50 metros a más de un nivel a otro.

**Taco.** Es un material inerte utilizado al final de realizar el carguío de taladros de explotación, con objetivo de conservar la concentración del detonador una fragmentación idónea.

**Vetas.** Acumulación de mineral con forma de vena alargada.

**Yacimiento.** Es una formación geológica que contiene minerales o mena en cantidades y características que permiten su extracción rentable.

## **2.5. Hipótesis del estudio**

### ***2.5.1. Hipótesis general***

El costo de minado se optimizó mediante la aplicación de subniveles con taladros largos en Vetas de la Unidad Minera Americana-2024.

### ***2.5.2. Hipótesis específicas***

- a) Se logro determinar el costo de minado de la Zona Vetas mediante la aplicación de subniveles con taladros largos de la Unidad Minera Americana-2024.
- b) Las condiciones geomecánicas y geológicas de la Zona Vetas influyen directamente en la aplicación de subniveles con taladros largos de la Unidad Minera Americana-2024.

## **2.6. Identificación y operacionalización de variables**

Variable (X)

- Optimización de costo de minado.

Variable (Y)

- Aplicación de Subniveles con taladros largos.

**Tabla 9***Definición operativa de variables.*

Variables	Indicadores	Unidades
Variable. (x)	Ley del mineral (x1)	(%)
	Volumen (x2)	(m3)
	Tonelaje (x3)	(Ton)
Variable (y)	Costo por tonelada (y1)	(\$/Ton)
	Rentabilidad económica (y2)	(\$)

- Modelo de causalidad



$$X = X_1 + X_2 + X_3$$

$$Y = Y_1 + Y_2$$

Es necesario que satisfaga:

$$Y = X_1 + X_2 + X_3$$

En consecuencia, es necesaria que exista  $X$  para que se fabrique  $Y$ .

A posteriori se concluye:

Si se aplica subniveles con taladros largos entonces se optimizará el costo de minado en la zona vetas de la Unidad Minera Americana-2024

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Utilizando los conocimientos teóricos del análisis geomecánico del macizo rocoso para la aplicación del método de explotación de elección en la zona del filón, el tipo de investigación sirve para optimizar los costes de explotación y ofrecer datos tras la aplicación que indiquen si es aceptable o no.

#### **3.2. Nivel de investigación**

Dado que explica los acontecimientos en las condiciones especificadas y, a continuación, ofrece justificaciones suficientes para el uso de subniveles con perforaciones de gran longitud, es a la vez descriptivo y explicativo.. (Hernández Sampieri & Fernandez, 2014)

#### **3.3. Método de investigación**

En este proyecto de investigación se utilizó el método científico. Este método consiste en técnicas y procedimientos que permiten al investigador alcanzar sus objetivos, este método tiene la capacidad de proporcionar soluciones eficaces y probadas sobre un estudio de caso.

#### **3.4. Diseño de investigación**

Experimental, en la forma pre-experimentos, ya que constan grado de control mínimo.

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

La población será la Zona Veta Esperanza Nv 20 los 5 tajos de explotación TJ 108, TJ 098, TJ 088, TJ 106 y TJ 104.

#### 3.5.2. Muestra

La muestra es no probabilística se escoge el TJ 104, por los resultados obtenidos en forma aleatoria.

### 3.6. Procedimiento de recolección de datos

#### Observación directa

Se llevará a cabo un seguimiento detallado de las actividades mineras para describir la situación geológica y geomecánica.

#### Revisión documentaria

Se centrará en la recopilación de información general sobre la unidad minera Sobreandes y en el análisis de bibliografía y documentos relevantes para cumplir con los requisitos del estudio.

---

### 3.7. Técnicas de procesamiento de datos

El método de recogida de información se llevará a cabo de forma manual o electrónica, principalmente utilizando Microsoft Office Word, Excel y PowerPoint, y en un ordenador portátil.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Presentación de los resultados

##### 4.1.1. Dimensionamiento de la Veta Ximena Tajo 104

El tajo 104 de la Zona Vetas tiene 8 250 m<sup>3</sup> cubicada en 24750 toneladas de minerales de plata, zinc, cobre, plomo. Con un costo de 87.67 \$/TM, como se visualiza en la Tabla a continuación.

**Tabla 10**

*Cálculo de la reserva del block del Tajo 104.*

VETA	NIVEL	TMS	Ag	Pb	Cu	Zn	\$
			oz/ton	%	%	%	TMS
ESPERANZA PISO 2	20	24,750.00	8.28	2.98	0.53	2.76	87.67
TOTAL		24,750.00	8.28	2.98	0.53	2.76	87.67

Para aplicar el método de subniveles con taladros largos, es crucial establecer los parámetros geomecánicos del macizo rocoso. Estos parámetros son esenciales para garantizar la viabilidad y seguridad de las operaciones mineras, así como para optimizar el rendimiento y la eficiencia del proceso de extracción. A continuación, se presentan los detalles de estos parámetros, los cuales proporcionan una base sólida para la correcta planificación y ejecución de las voladuras y perforaciones:

**Tabla 11**

*Resumen de parámetros geomecánicos Tajo 104.*

POTENCIA DEL MINERAL	$\geq 1.2$	m
VALOR DE MINERAL DILUIDO	82.3	US\$/TMS
RMR CORREGIDO	$\geq 56$	RMR
FACTOR DE SEGURIDAD	$\geq 1.2$	FS
RADIO HIDRAULICO	$\geq 14$	m

## 4.2. Interpretación y análisis de resultados

### 4.2.1. Análisis de la geomecánica



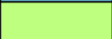




Los criterios de Bieniawski (RMR, o Rock Mass Rating) de 1989 sirvieron de base para clasificar las rocas.

La frecuencia de fractura por metro lineal fue el principal parámetro de entrada para el método de registro de discontinuidad lineal utilizado para determinar los valores de designación de la calidad de la roca (RQD), que luego se midieron directamente en los núcleos de roca de los barrenos de perforación diamantina. Este método se basaba en la relación propuesta por Priest & Hudson (1976).

Para categorizar la masa rocosa se aplicaron los criterios de Bieniawski (1989), adaptados para esta evaluación. Además, en la tercera columna se muestra el rango comparable de la Q de Barton (1974). Por último, el código de color utilizado en la mina Sobreandes SAC se muestra en la última columna.

Tabla 12

Clasificación del macizo rocoso.

Tipo de roca	Rango RMR	Rango Q	Calidad según RMR	Color
IIA	71 – 80	17.97 – 54.60	Buena A	
IIB	61 – 70	5.92 – 17.97	Buena B	
IIIA	51 – 60	1.95 – 5.92	Regular A	
IIIB	41 – 50	0.64 – 1.95	Regular B	
IVA	31 – 40	0.21 – 0.64	Mala A	
IVB	21 – 30	0.08 – 0.21	Mala B	
V	< 21	< 0.08	Muy Mala	

Fuente: Geomecánica Alpayana.

Tabla 13

Resultados de ensayos de laboratorio.

Tipo	Propiedad	Litología	Resultados				
			Nº	Prom.	Max.	Min.	D.S.
Indice	Densidad seca $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	ARE EPI	6	2.6	2.7	2.6	0.02
		ARE SIL	6	2.9	2.9	2.8	0.01
		AND	6	2.6	2.7	2.6	0.03
		CAR	6	2.6	2.7	2.5	0.07
		MIN MAS	6	3.5	4.3	2.6	0.84
		MIN DIS	6	2.8	2.9	2.8	0.04
Resistencia	Compresiva Uniaxial UCS <sub>50</sub> MPa	ARE EPI	15	137	210	61	44.8
		ARE SIL	15	137	290	72	64.8
		AND	6	76	175	26	59.2
		CAR	6	52	76	38	14.4
		MIN MAS	6	48	62	35	10.6
		MIN DIS	9	136	224	77	56.4
	Tracción indirecta $\sigma_t$ MPa	ARE EPI	18	14	19	9	2.9
		ARE SIL	18	14	18	5	3.8
		AND	12	6	14	2	4.2
		CAR	12	5	7	3	1.2
		MIN MAS	15	3	3	2	0.5
		MIN DIS	18	11	17	7	2.6
	Constante H-B roca intacta $m_i$ adim	ARE EPI	3	19	20	17	1.5
		ARE SIL	3	14	17	10	3.8
		AND	3	20	32	11	11.0
		CAR	2	21	24	18	4.2
		MIN MAS	3	24	26	22	2.1
		MIN DIS	3	16	22	10	6.0
Deformación	Módulo de Young E GPa	ARE EPI	3	25	27	24	1.5
		ARE SIL	3	23	32	18	7.6
		AND	2	18	28	8	14.0
		CAR	2	31	31	30	1.1
		MIN MAS	2	19	25	13	8.6
		MIN DIS	3	25	28	23	2.9
	Relación de Poisson $\nu$ adim	ARE EPI	3	0.14	0.21	0.09	0.07
		ARE SIL	3	0.10	0.11	0.09	0.01
		AND	2	0.11	0.14	0.09	0.03
		CAR	2	0.30	0.32	0.30	0.01
		MIN MAS	2	0.12	0.14	0.11	0.02
		MIN DIS	3	0.24	0.43	0.13	0.16

Fuente: Geomecánica Alpayana.

Tabla 14

Características de las discontinuidades Zona Vetas.

PARAMETRO	UNIDAD	VETA ESPERANZA
<i>Espaciamiento</i>	cm	6 a 20 y 20 a 60
<i>Persistencia</i>	m	1 a 3
<i>Apertura</i>	mm	0.1 a 1
<i>Rugosidad</i>	-	Ligera rug.
<i>Relleno</i>	mm	S<5 y D<5
<i>Alteracion</i>	-	Moderada a Ligera

Fuente: Geomecánica Alpayana.

Figura 7

Características en las discontinuidades.

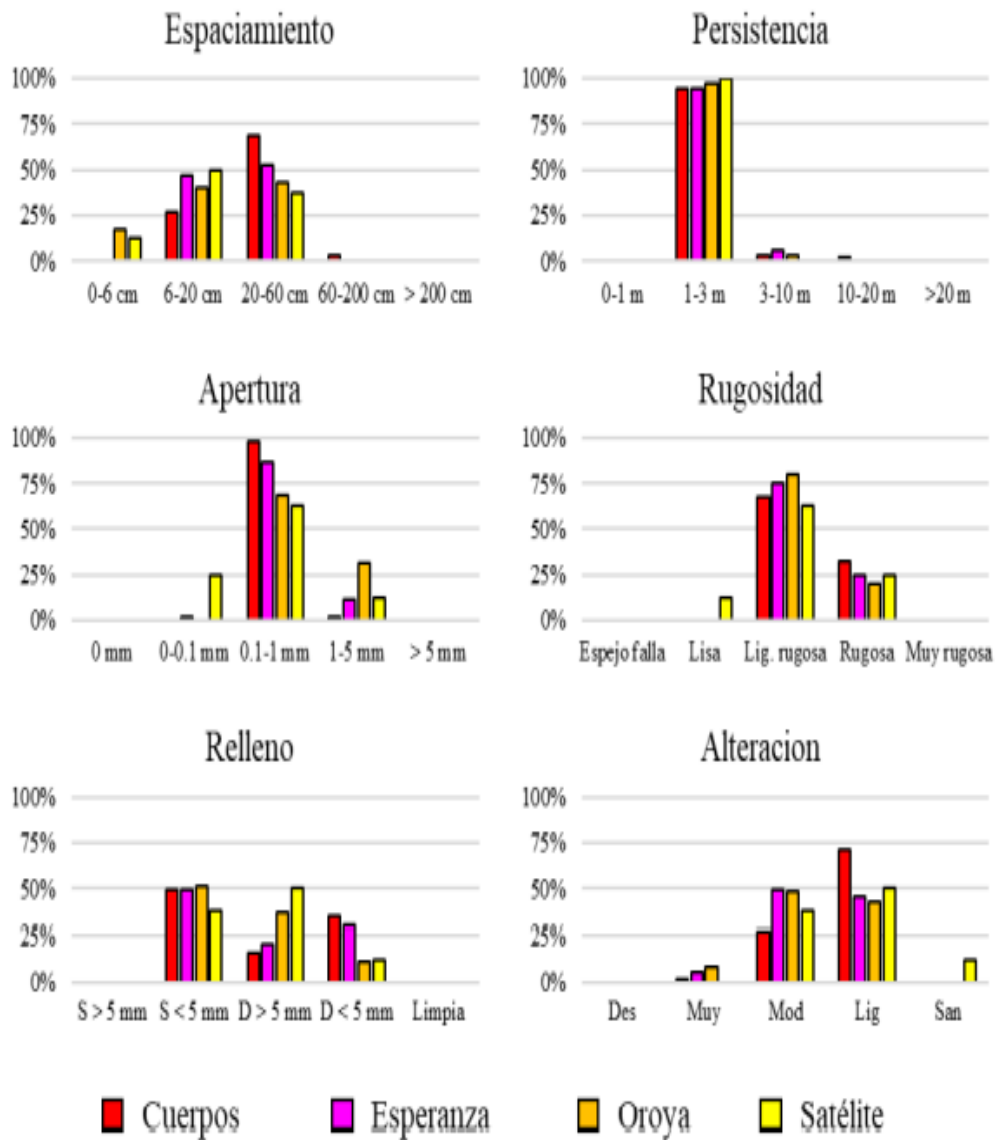


Figura 8

*Estereograma - contornos y planos mayores - Veta Esperanza.*

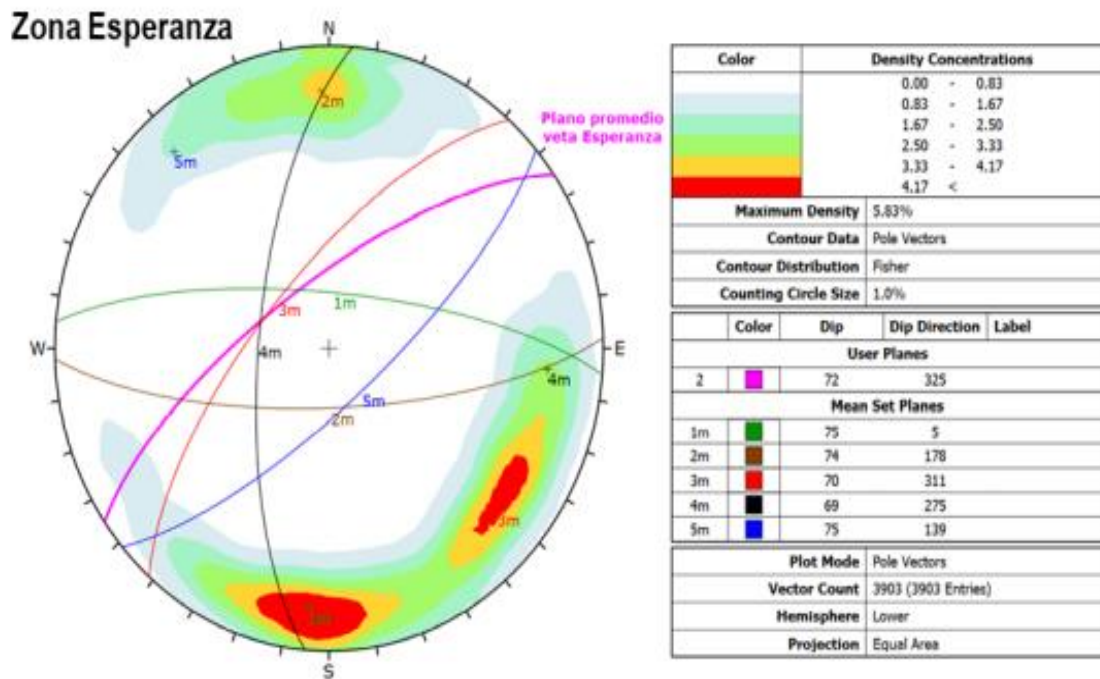
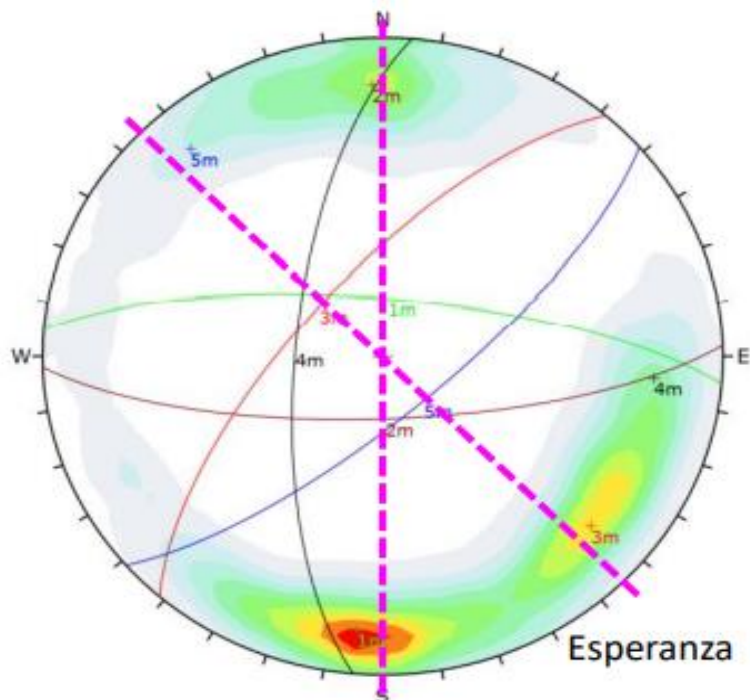


Figura 9

*Orientación prioritaria de las excavaciones - Veta Esperanza.*



La mayor parte del macizo rocoso de la Zona Veta Esperanza Nv 20 Tajo 104 se clasifica como de calidad Regular A (IIIA), seguido de calidad Buena B (IIB), presentando algunos lugares característicos de Regular B (IIIB) y Mala A (IVA). La clasificación del macizo rocoso es esencial para identificar la mejor técnica de explotación, siendo el «Sublevel Stopping» la más práctica dadas las características naturales del yacimiento.

Además de las consideraciones geomecánicas, al evaluar las características naturales del yacimiento deben tenerse en cuenta factores operativos como los pilares intermedios recuperables (3 m x 5 m y 5 m x 5 m), la velocidad del ciclo de extracción, las voladuras controladas, el relleno a tiempo y la viabilidad económica del método. Para asegurarse de que la técnica de extracción elegida es viable tanto desde el punto de vista técnico como económico, hay que tener muy en cuenta estos factores.

#### **Análisis de estabilidad de tajos de explotación Zona Vetas:**

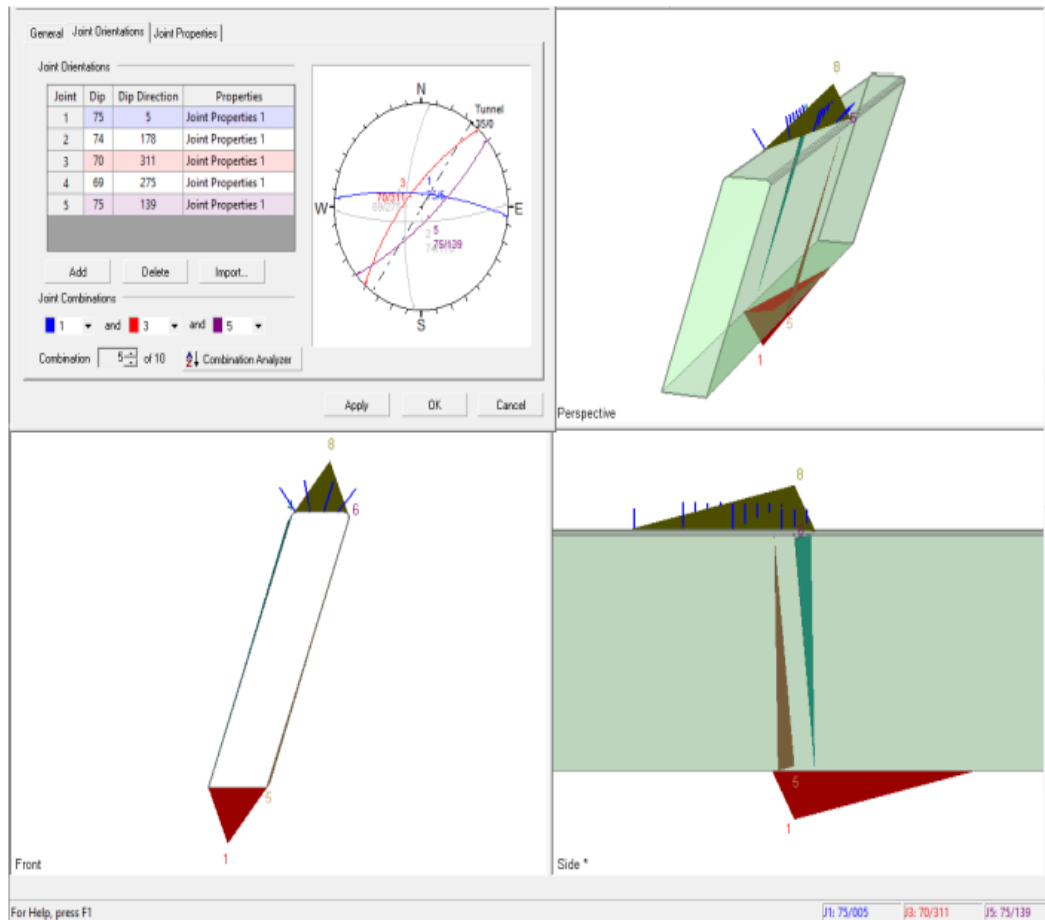
Este estudio examina la estabilidad de las cuñas de 4 metros de ancho por 18 metros de alto creadas en las labores de avance de la Zona Veta Esperanza con el fin de aplicar barrenos largos.

El azimut 035°, que es paralelo al rumbo de la veta, es la dirección de avance. Se cree que en el techo se desarrollan cuñas inestables de tamaño medio a grande, mientras que en las paredes se forman cuñas finas y estables.

Para estabilizar las cuñas, deben colocarse metódicamente pernos helicoidales de 7 pies a intervalos de 1,5 metros

**Figura 10**

*Análisis de estabilidad tajos con Taladros Largos zona Vetas.*



#### **4.2.2. Diseño - método de explotación**

Basándose en las proporciones de la estructura mineralizada, el diseño utiliza subniveles para perforar barrenos positivos de 12 a 15 metros de longitud y paralelos al buzamiento de la veta. Esto se debe a que hay 50 metros entre los subniveles de perforación.

El tajo tiene 120 metros de largo, 50 metros de alto y 1,20 metros de ancho en la veta. Las secciones se pintarán cuando se complete el sostenimiento utilizando pernos helicoidales de siete pies espaciados 1,50 por 1,50 metros.

**Figura 11**

*Perno helicoidal de 7 pies.*

**Figura 12**

*Delimitado de la sección.*

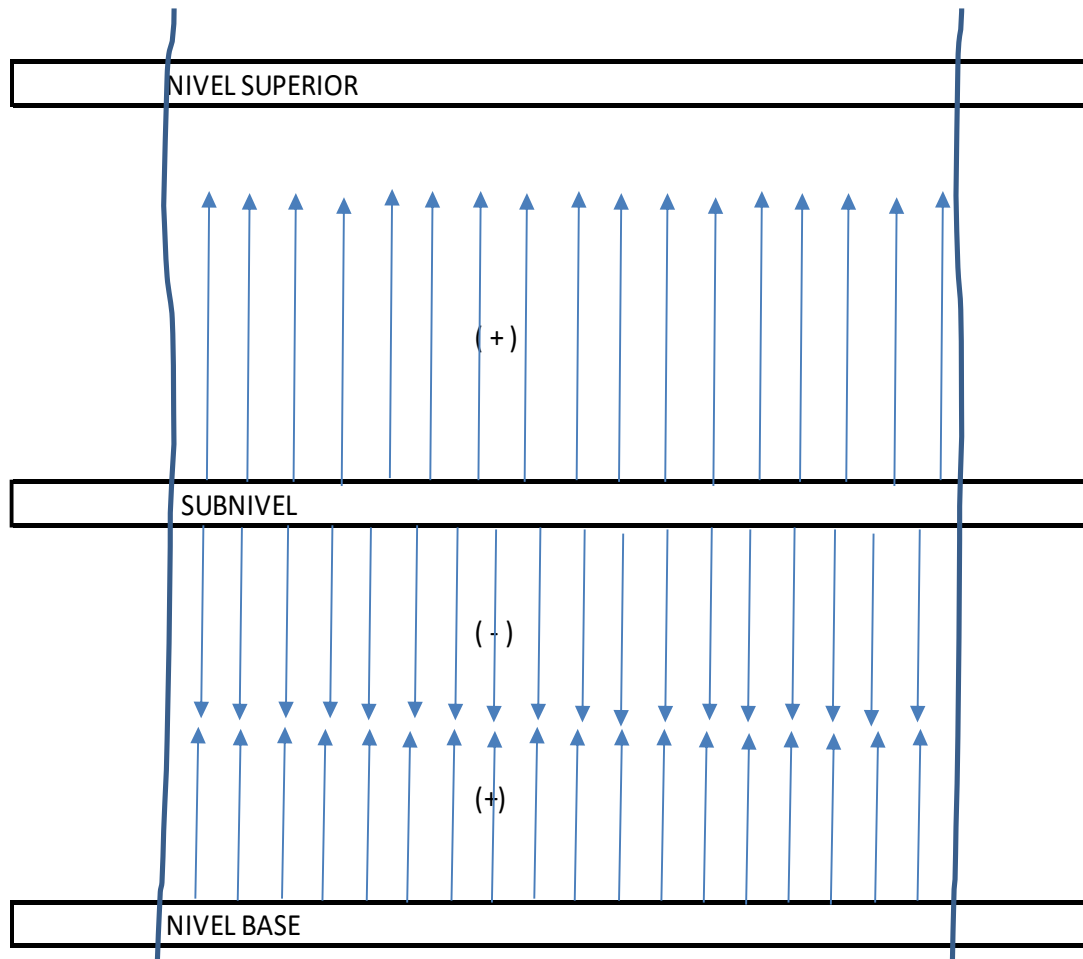


Después de pintar la sección del tajo 104 se inicia con las perforaciones desde la galería base Nv 20 Gal 108 SW, con perforación de taladros en

positivo, y a través del subnivel SN 104, se realiza taladros positivos y negativos.

### Figura 13

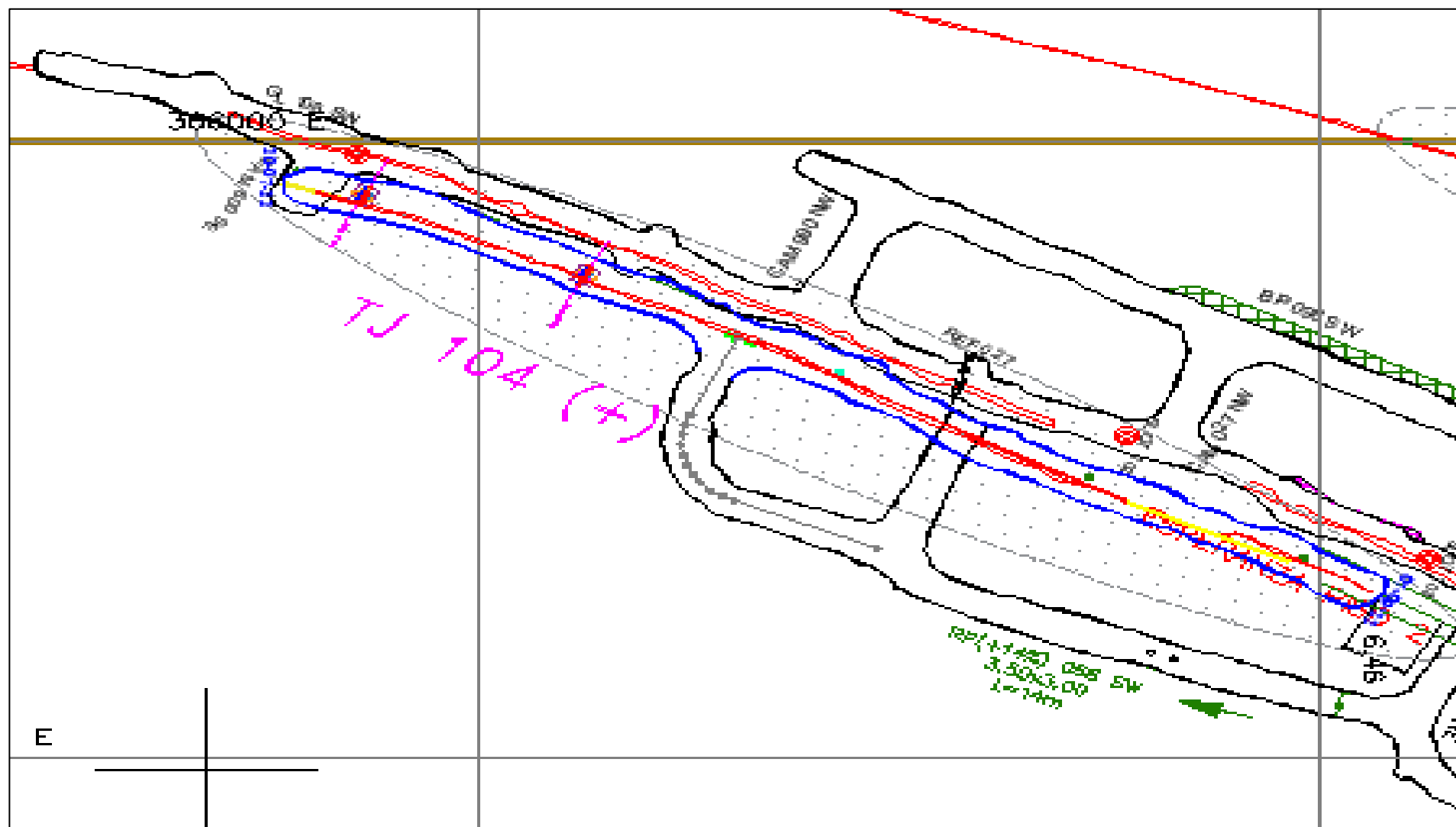
*Perforación de Taladros Largos.*



Terminado la perforación, se inicia con la voladura desde el nivel base Nv 20 Gal 108 SW, a los taladros positivos, una vez terminado esta voladura y continua a través del subnivel SN 104, disparando taladros positivos y negativos. El mineral roto caerá hacia el nivel 20, siendo esto el nivel base del tajo 104, siendo la extracción a través de ventanas, con equipos scoop con telemando para evitar exposición del personal.

Figura 14

Ventanas de extracción del tajo 104.



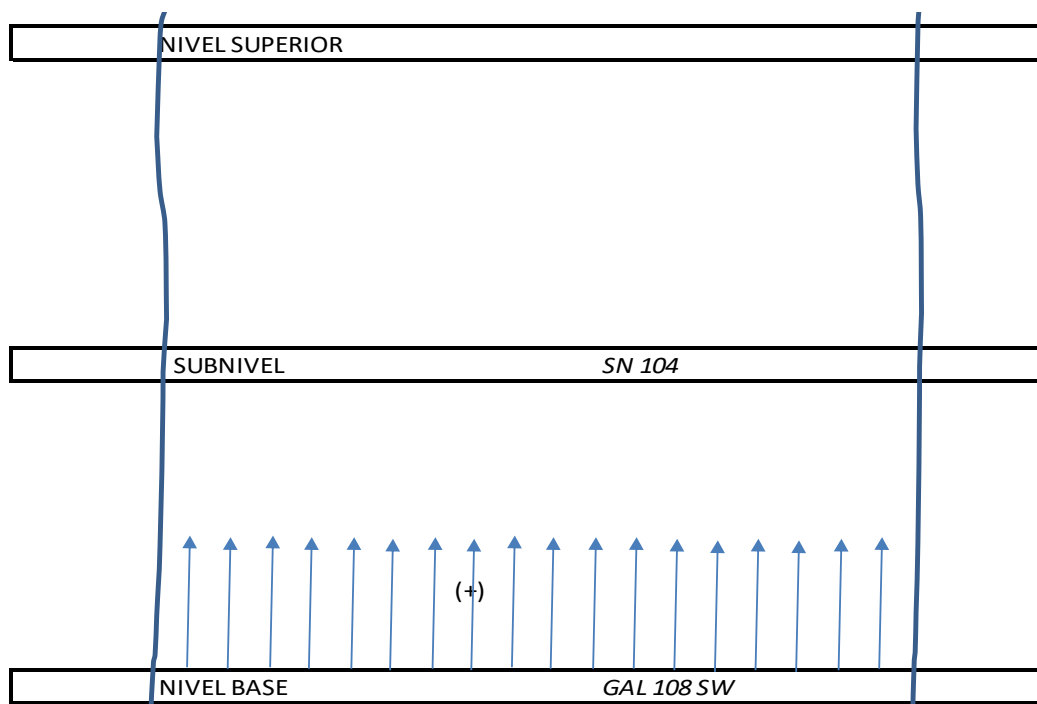
### 4.2.3. Aplicación de subniveles con Taladros Largos en Vetas

#### 4.2.3.1. Perforación

Se debe tomar en consideración los siguientes parámetros: pintado de malla, pintado de razante de la labor y pintado del contorno de la veta o estructura mineralizada, para evitar errores de desviación y mal emboquillado. (EXSA, 2021)

#### Figura 15

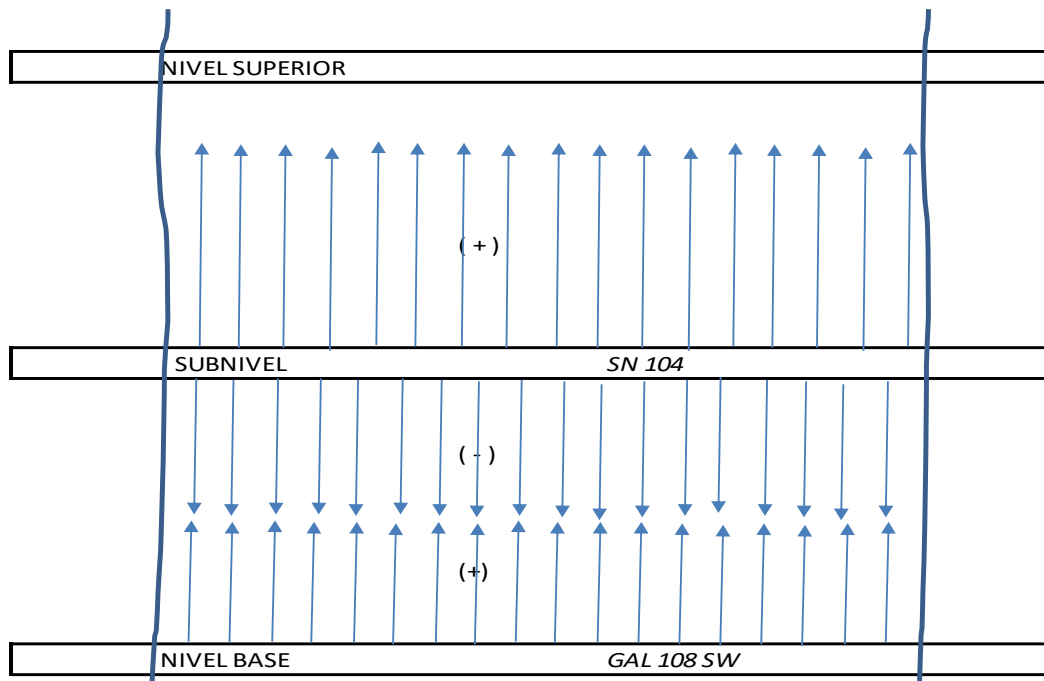
*Perforación de Taladros Largos positivos.*



Después de realizar la perforación de los taladros positivos desde Nivel Base, se realizarán la perforación desde el Subnivel 104, se hará los taladros positivos y negativos.

**Figura 16**

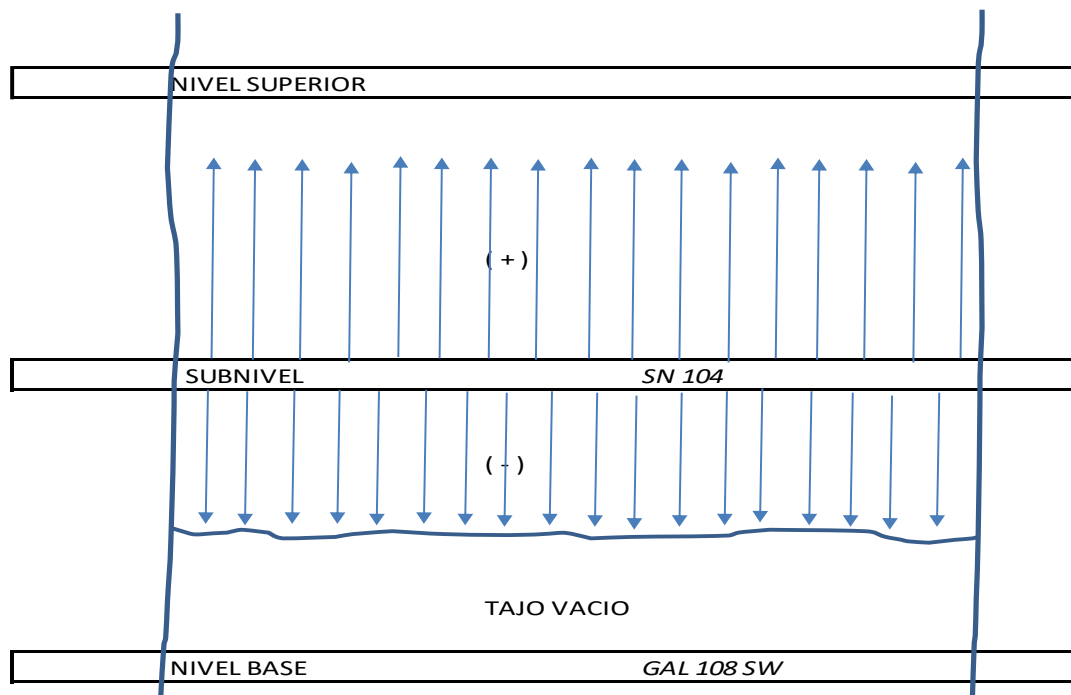
*Taladros Largos del tajo 104.*



Terminado la perforación se realizará la voladura iniciando por los taladros positivos desde el Nivel Base del Tajo 104, Gal 108 SW.

**Figura 17**

*Voladura Taladros positivos Tajo 104.*

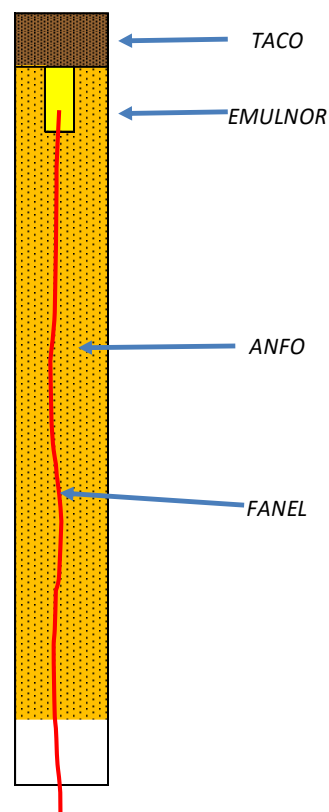


#### 4.2.3.2. Voladura

Para la voladura se inicia con la preparación del primado del iniciador, Emulnor 500 y Fanel de 18 metros. Este cartucho se coloca en el fondo del taladro y rellena la columna explosiva con Anfo, con aire a presión con el equipo Jetanol. (FAMESA, 2023)

#### Figura 18

*Carguío de taladros.*



#### 4.2.3.3. Explosivos

- a) **Anfo:** El nitrato de amonio y el combustible derivado del petróleo se combinan para formar el potente explosivo conocido como ANFO. La mina utiliza este agente de voladura por sus conocidas ventajas y cualidades. Su enorme poder de ruptura, producido por una gran cantidad de gases que destrozan la masa rocosa, es una de las razones por las que funciona tan bien.

Tabla 15

Características del Superfam-Dos.

Especificaciones Técnicas	Unidades	Min	Max
Densidad Aparente	g/cm <sup>3</sup>	0,56	0,68
Velocidad de Detonación	m/s	2 600	3 400
Energía Teórica por peso	cal/g	738	940
Volumen normal de gases	L/kg	946	980
Potencia x Peso	%	82	105
Relativa X Volumen	%	56	89
Presión de detonación	Kbar	9,5	29
Resistencia al agua		Baja	Baja
Diámetro crítico	mm	38	32

Fuente: (FAMESA, 2023)

Figura 19

Anfo.



b) **Emulsión:** Se trata de un explosivo con envoltura de plástico de gran potencia, resistencia al agua, características de seguridad y eficaz producción de gas. Dependiendo de su nivel de potencia, este tipo de explosivo tiene diversas presentaciones y se utiliza como iniciador de ANFO.

**Figura 20**

*Emulnor 5000x1 1/2x8.*



- c) **Pentacord:** Se compone de un núcleo de pentrita reforzado con un componente sintético y recubierto de fibras sintéticas..

**Figura 21**

*Pentacord.*



- d) **Fanel:** Este iniciador, que ofrece las ventajas de una conexión sin riesgos y reduce la probabilidad de conexiones fallidas, se utiliza normalmente en minería de superficie, minería subterránea y obras civiles.
- e) **Carmex:** Forma parte del proceso estándar de arranque de granallado.

**Figura 22**  
Carmex.



### 4.3. Prueba de las hipótesis

#### 4.3.1. Hipótesis general

**Tabla 16**

*Contraste de costos.*

	Unidad	P.U. U\$ / Unidad	ANTES DE LA INVESTIGACION		DESPUES DE LA INVESTIGACION	
			Cantidad	Total ( U\$ )	Cantidad	Total ( U\$ )
<b>PREPARACION</b>						
Avances	m	639.92	260.00	166,379.20	260.00	166,379.20
<b>SOSTENIMIENTO</b>						
Cuadros Completos	und	194.76	200.00	38,952.00		
Pernos Helicoidales de 7 pires	und	26.84			1,000.00	26,840.00
<b>PERFORACION</b>						
Metros Perforados T.L.	ml	10.50			14,400.00	151,200.00
Metros Perforados Jackleg	ml	5.43	67,200.00	364,896.00		
<b>VOIADURA</b>						
Anfo	kg	0.55			43,200.00	23,760.00
Emulsion 5000 x1 1/2 x 8	und	0.51			1,200.00	612.00
Emulsion 5000 x 1 x 8	und	0.25	352,000.00	88,000.00		
Faneles	pza	2.20			1,200.00	2,640.00
Carmex de 7 pires	pza	0.41	58,800.00	24,108.00	240.00	98.40
Penta cord	m	0.12			7,200.00	864.00
<b>TOTAL U\$</b>				<b>682,335.20</b>		<b>372,393.60</b>

Se descubrió que el coste operativo de explotar el bloque mineralizado utilizando el método anterior era de 682.335,20 dólares después de que se implantaran subniveles con barrenos largos en la zona de Vetas y de que la producción y las operaciones se supervisaran exhaustivamente antes y durante la explotación del pozo 104. Por otro lado, el coste disminuyó a 372.393,60 dólares utilizando el nuevo método. Por otra parte, el coste se redujo a 372.393,60 dólares utilizando el nuevo enfoque. Esto demuestra que el uso de subniveles con barrenos largos disminuyó en gran medida los gastos de operación, apoyando la teoría de que este enfoque reduce los costos de operación en la Zona Vetas de la Mina Alpayana S.A.

#### 4.3.1.1. Contraste de resultados

##### Antes:

Al iniciar la investigación se obtuvo datos de la situación en la que estaba el costo operativo, se tomó datos de los costos, a este grupo de datos se le llamara Grupo de Control (GC).

**Tabla 17**

*Grupo control - observación.*

Observacion	GC-1	GC-2	GC-3	GC-4	GC-5
Costo (\$/ ton)	27.44	28.15	27.57	26.88	27.85

##### Después:

**Tabla 18**

*Grupo experimental – prueba.*

Prueba	GP-01	GP-02	GP-03	GP-04	GP-05
Costo (\$/ ton)	14.45	15.55	14.65	15.32	15.25

#### 4.3.1.2. Análisis de la estadística

Se tienen dos tipos de muestras, uno antes de aplicar la investigación y el otro luego de aplicar la investigación para lo cual se ordenará los datos y se calculará las variables estadísticas.

GRUPO CONTROL (GC):

**Tabla 19**

*Grupo control - pre prueba.*

Datos Pre-Prueba	1	2	3	4	5
Costo (\$/ ton)	27.44	26.88	27.57	27.85	28.15

N°de Muestras	$n_1$	5
Promedio	$X_1$	27.58
Rango	$R_1$	0.71
Desviacion Estandar	$\sigma_1$	0.48
Varianza	$\sigma^2_1$	0.22687

GRUPO EXPERIMENTAL (GE):

**Tabla 20**

*Grupo experimental - datos post prueba*

Datos Post-Prueba	1	2	3	4	5
Costo (\$/ ton)	14.45	14.65	15.25	15.32	15.55

N°de Muestras	$n_2$	5
Promedio	$X_2$	15.04
Rango	$R_2$	1.10
Desviacion Estandar	$\sigma_2$	0.47
Varianza	$\sigma^2_2$	0.22068

La **Hipótesis nula** de la investigación es:

Sin la aplicación de subniveles con taladros, se optimizar el costo de minado de la zona vetas de la Unidad Minera Americana-2024

## Comprobación con el t de Student

En esta prueba estadística, que se utiliza para evaluar dos grupos estadísticos, se compara una variable dependiente. Si hay diferentes variables, se realizan múltiples pruebas «t», una para cada variable. La siguiente fórmula proporciona el valor «t»:

### Ecuación 1

Valor de «t».

$$t = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

- X1 y X2: medias del grupo 1 y 2.
- S1 y S2: desviación estándar del grupo 1 y 2.
- n1 y n2: tamaño.

El grado de libertad se determina mediante la siguiente fórmula, seleccionando un nivel de significación de 0,05:

### Ecuación 2

Grados de libertad.

$$gl = (n_1 + n_2) - 2$$

La hipótesis de investigación se acepta si el valor de «t» adquirido es superior al valor de la tabla en un determinado grado de confianza; en caso contrario, se acepta la hipótesis nula.

Tanto la hipótesis nula como la alternativa deben ser ciertas para identificar la mejora:  $u_2 > u_1$ , lo que da  $u_2 - u_1 > 0$ , que es el resultado de la optimización de los costes de minería.

$$H_0: u_1 - u_2 \leq 0$$

$$H_1: u_1 - u_2 > 0$$

**H0** = Con la aplicación de subniveles con taladros largos, no se podrá optimizar el costo de minado de la zona vetas de la U.M. Americana-2024

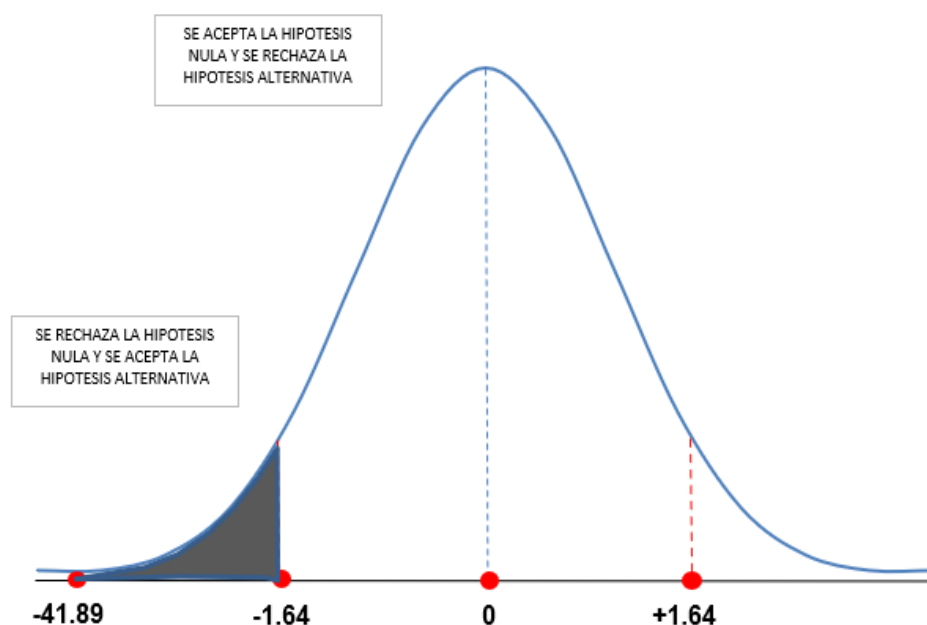
**H1** = Con la aplicación de subniveles con taladros largos, se podrá optimizar el costo de minado de la zona vetas de la U.M. Americana-2024

El valor de "t" de la prueba es:

$$tp = \frac{15.04 - 27.58}{\sqrt{\frac{(0.48)^2}{5} + \frac{(0.47)^2}{5}}}$$

$$tp = -41.89$$

$$gl = (5 + 5) - 2 = 8$$



**Decisión:** El valor calculado de “t” es – 41.89 y resulta superior al valor de la tabla en un nivel de significancia 0.05 ( $-41.89 > -1.64$ ). Por ello se toma la decisión de rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y acepta la hipótesis de la alternativa ( $H_1$ ).

**Conclusión:** Con la aplicación de subniveles con taladros largos, se podrá optimizar el costo de minado de la zona vetas de la Unidad Minera Americana-2024.

### 4.3.2. Hipótesis específica

#### 4.3.2.1. Estudio económica - cálculo de \$/tonelada

Evidentemente luego de aplicar subniveles con taladros largos se ha logrado mejorar la producción y por ende se ha logrado reducir el costo por tonelada en la zona vetas.

**Tabla 21**

*Comparación de producción.*

Método de Explotación	Programado(Ton)		Ejecutado		Promedio
CORTE Y RELLENO	ENERO	1,500.00	1,220.00	ANTES	1258.20 TMMES
	FEBRERO	1,500.00	1,150.00		
	MARZO	1,500.00	1,324.00		
	ABRIL	1,500.00	1,342.00		
	MAYO	1,500.00	1,255.00		
SUBNIVELES CON TALADROS LARGOS	JUNIO	4,500.00	4,220.00	DESPUES	4285.00 TMMES
	JULIO	4,500.00	4,280.00		
	AGOSTO	4,500.00	4,355.00		
	SETIEMBRE	4,500.00	4,250.00		
	OCTUBRE	4,500.00	4,320.00		
TOTAL		30,000.00	27,716.00		

*Fuente: Elaboración Propia*

Después de implementar taladros largos en la zona vetas, se puede realizar el cálculo del costo operativo en ambos escenarios y comparar los más optimo y rentable para nuestra actividad minera.

**Tabla 22**

*Comparación de dólares por tonelada.*

	U\$	Toneladas	\$ /ton
Antes de la Investigacion	682,335.20	24750.00	27.57
Despues de la Investigacion	372,393.60	24750.00	15.05

*Fuente: Elaboración Propia.*

“Fue posible determinar el costo por tonelada de la zona de vetas mediante la aplicación de subniveles con barrenos largos de la Unidad Minera Americana-2024”, se puede inferir del cuadro anterior, que también muestra cómo la aplicación de subniveles con barrenos largos disminuye el costo por tonelada.

#### **4.3.2.2. Análisis Geomecánico**

Con el fin de determinar el Factor de Seguridad adecuado y las condiciones de estabilidad de la excavación que garanticen la estabilidad de las labores y los tajos de explotación, se han evaluado datos de campo y ensayos de laboratorio para el análisis de la estabilidad de la explotación de la zona de vetas mediante el método de explotación Sub Level Stoping con barrenos largos. Los datos han sido procesados y llevados a análisis y simulación con elementos finitos utilizando el software (PHASES).

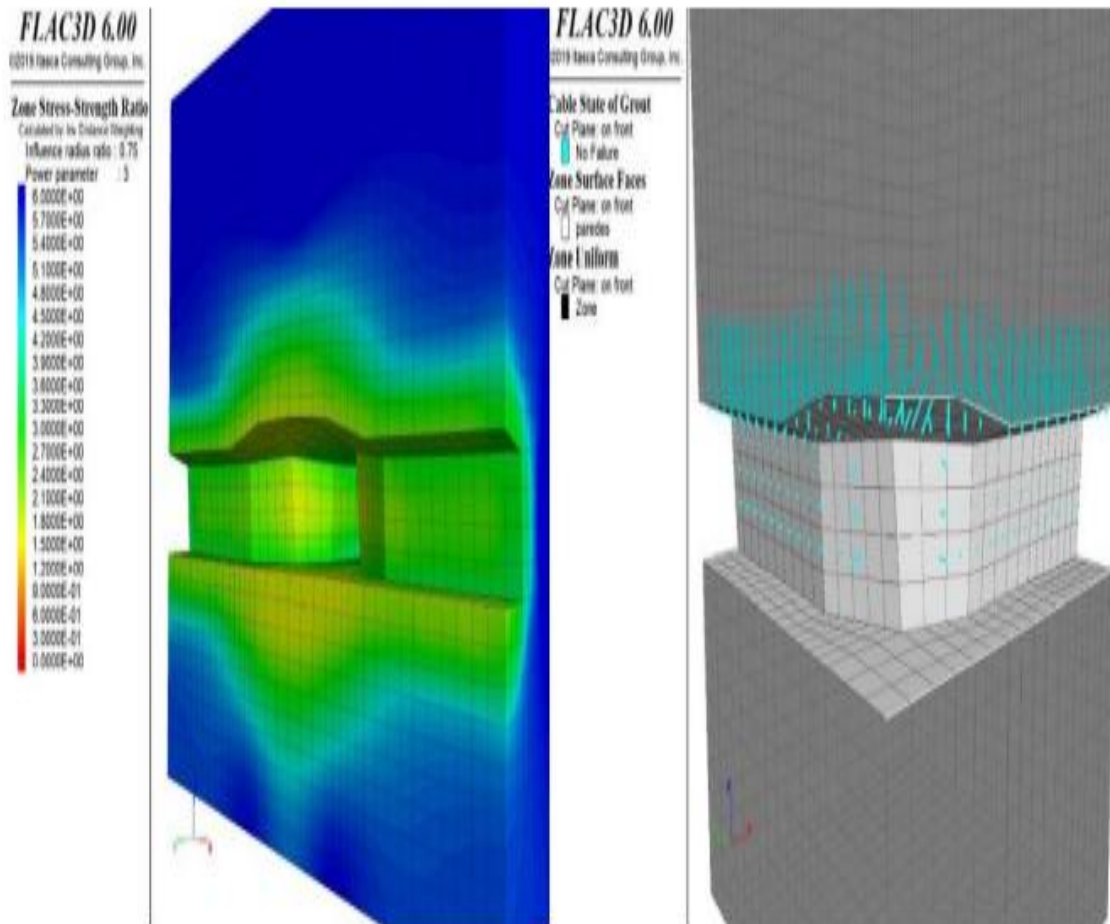
#### **Estabilidad de las labores.**

Mediante la evaluación geomecánica (software DIPS) se determinó que el uso de pernos helicoidales de 7 pies de longitud, espaciados a 1.50 x 1.50

mts sistemáticamente, son el más óptimo y favorable para mantener la estabilidad en el avance.

### Figura 23

*Estabilidad de labores de avances.*



Del gráfico anterior se puede concluir que el factor de resistencia se encuentra en F.S:1.60. Demostrando que el uso de pernos helicoidales de 7 pies nos brinda una seguridad en el sostenimiento.

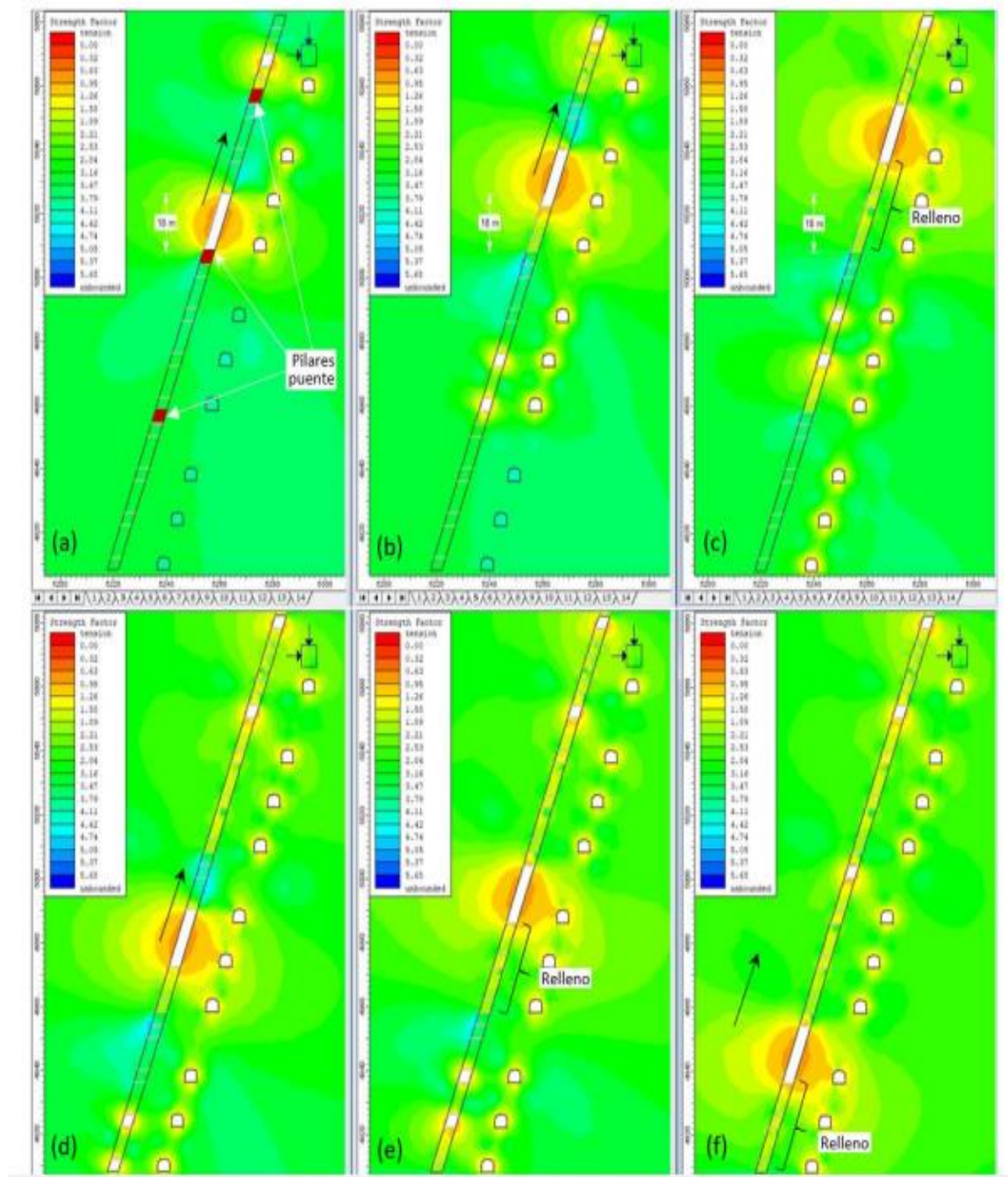
### **Análisis de estabilidad el tajo de explotación**

La estabilidad del tajo de explotación se determinó mediante el software Roc Data, obteniendo lo siguiente:

Se realizó una simulación del minado mostrando los factores de resistencia (FS) en el minado de veta Esperanza para tajos de 18 m de altura. La secuencia mostrada el avance del minado en distintos niveles limitados por los pilares puentes.

**Figura 24**

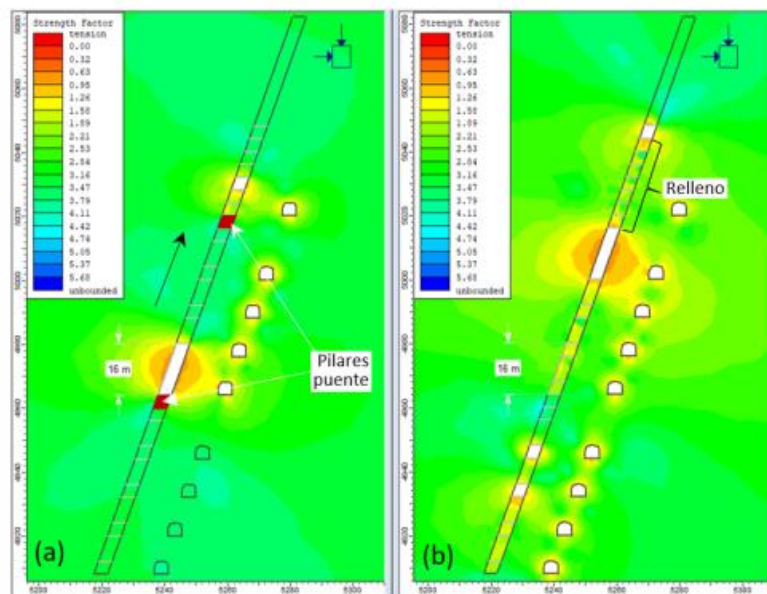
*Estabilidad de tajos de explotación.*



En la figura anterior, la simulación de tajos de 18 metros de altura nos brinda un factor de seguridad de F.S:1 – 1.1, siendo este el punto limite y no nos brinda una seguridad adecuada por lo tanto no se optará por este tipo de banqueo, realizando otra simulación de menor longitud.

### Figura 25

*Simulación de explotación estable.*



En esta segunda simulación del minado se obtuvieron valores de F.S: 1.25 en el minado en profundidad. Los tajeros en este caso tienen 16 m de altura. Los FS muestran valores aceptables para el desarrollo del minado.

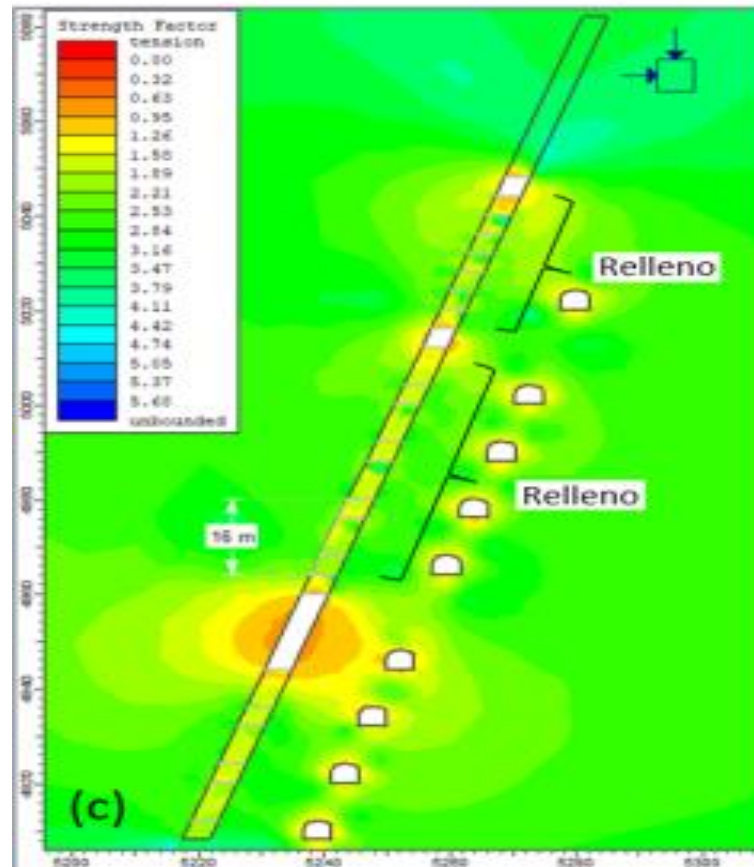
### Recolección de data mediante ROCK DATA

El relleno de la explotación por SLS al tajo 104 Nivel.20: Al finalizar la extracción de mineral de la voladura negativo se procede a rellenar el tajeo debido a que se tendrá un FS= 0.9 y al realizar el relleno oportuno se podrá obtener hasta un F.S: 1.6, notándose que en la caja techo persiste un factor de seguridad favorable sin embargo se confirma que no es posible tener

volcamiento y hundimiento por estar relleno en su totalidad. En el estado pseudoestático se conserva su estabilidad.

### Figura 26

*Valores aceptables de minado con taladros largos.*



Después de lo mencionado se puede señalar que: “Las condiciones geomecánicas y geológicas de la Zona Vetas influyen directamente en la aplicación de subniveles con taladros largos de la Unidad Minera Americana-2024

#### 4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos indican que la implementación de taladros largos en la explotación de tajos en vetas ha generado una reducción significativa en los costos operativos, de 27.57 \$/ton a 15.05 \$/ton. Esta mejora se debe a la mayor eficiencia

del método, que permite realizar perforaciones más precisas y profundas, optimizando los tiempos de perforación y voladura. Además, la tecnología empleada contribuye a una mejor recuperación del mineral, reduce los costos de mantenimiento de equipos y mejora la productividad, lo que, en conjunto, genera un impacto positivo en la rentabilidad de la operación minera.

Así mismo se tiene una alza en la producción de mineral en la Zona Vetas de 1258.20 ton/mes a 4285 ton/mes.

#### **4.5. Aporte de la investigación**

La contribución de este trabajo de investigación radica en que, mediante una mayor preparación y voladura controlada de la sección, se podría reducir el costo de acarreo y transporte de los recortes provocados por la rotura excesiva. Asimismo, al considerar las condiciones geomecánicas de la roca, es posible disminuir los elevados costos asociados a la perforación y la distribución de equipos, implementando un adecuado mantenimiento preventivo y oportuno de los mismos. Estas acciones contribuirían a una mayor eficiencia en los procesos mineros y a una reducción significativa de los costos operativos.

## CONCLUSIONES

1. Al aplicar taladros largos en el tajo 104 de la zona vetas se logró reducir el costo operativo de 27.57 \$/ton a 15.05 \$/ton. Por ello, la perforación de pozos largos resulta más económica que la técnica de corte y relleno.
2. Aplicando el método de explotación en estudio en la zona vetas se logró incrementar de 1258.20 ton/mes a 4285 ton/mes la producción.
3. La utilización de perforadoras largas depende directamente de las características geomecánicas de la veta; se insertaron cables de sujeción en la caja del techo para evitar el derrumbe o el vuelco de la caja.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar implementando el uso de taladros largos en otras zonas de la mina, ya que se ha demostrado que esta técnica reduce significativamente el costo operativo. Asimismo, se debe evaluar la posibilidad de expandir su uso a otros tajos con características geomecánicas similares para maximizar la rentabilidad de la operación minera.
2. Para mantener el crecimiento de la producción alcanzado con la aplicación del método de perforación de taladros largos, se sugiere la implementación de un plan de capacitación continua para los operadores de perforadoras, así como la mejora de los procesos logísticos y de mantenimiento, con el fin de asegurar la eficiencia y estabilidad en los niveles de producción a largo plazo.
3. Dado que la eficacia de la perforación con taladros largos depende de las características geomecánicas de la veta, se recomienda realizar un monitoreo continuo de las condiciones geológicas y geomecánicas en la mina. Esto permitirá ajustar la estrategia de perforación y adoptar medidas preventivas, como el uso de cables de sujeción, para garantizar la seguridad y minimizar el riesgo de colapsos o fallas en la infraestructura de los tajos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avalos, J., & Juro, J. (2018). *Aplicación del Método de Explotación por Subniveles con Taladros Largos en Vetas Angostas, para Mejorar la productividad en la Unidad Minera Yauliyacu*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). *Perforación y Voladura de Rocas en Minería, Madrid 2013*. Madrid.
- Brown, A., & Richards, T. (2017). *Application of Long-Hole Stopping in Narrow Veins to Optimize Mining Costs in the Gold Mines of Western Australia*. *Journal of Mining Engineering*.
- Cáceres, L., & Morales, G. (2020). *Optimización de costos de minado en vetas estrechas mediante el uso de subniveles y taladros largos en la Unidad Minera Antapite*. *Revista Minera del Perú*.
- ENAE S.A. (s.f.). *Manual de Tronadura*. Santiago de Chile, Chile.
- EXSA. (2021). *Manual práctico de voladura*. Lima, Perú: 5ta Edición.
- FAMESA. (2023). *FAMESA EXPLOSIVOS Emulnor*. . Ficha Técnica. Recuperado el 13 de 05 de 2024, de <https://www.famesaexplosivos.com/wp-content/uploads/2024/01/FT-EMULNOR.pdf>
- González, P. (2021). *Evaluación de métodos de explotación en vetas de altura baja en la Mina Pierina. Tesis de licenciatura*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Hernández Sampieri, R., & Fernández, C. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Sexta Edición.
- Johnson, P., Smith, R., & Taylor, M. (2019). *Cost Optimization through Long-Hole Mining in Narrow Veins. A Case Study in Canada*. *Canadian Mining Review*.

- Li, H., & Zhang, X. (2021). *Long-Hole Open Stopping for Cost Reduction in Chinese Lead-Zinc Mines*. International Journal of Mining and Mineral Engineering.
- López, J. (1991). *Manual de Perforación y Voladura*. Madrid, España: ITGE. Ministerio de Industria y Energía de España.
- Müller, K., & Schwarz, H. (2020). *Economic Efficiency of Sublevel Stopping in Narrow Ore Bodies*. Case Study in Central Europe. Mining Science and Technology Journal.
- Sánchez, M. (2019). *Mejora de la productividad en la Mina San Rafael mediante el uso de taladros largos en vetas angostas*. Lima, Perú: Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Toribio, C. (2018). *Minado por sub Level Stopping en vetas angostas para optimizar la rentabilidad del TJ 882 en la Compañía Minera Kolpa S.A*. Huancavelica, Perú.
- Vargas, F. (2002). *Aplicación de taladros largos en mina el Porvenir, Empresa Minera Milpo S.A*. Cerro de Pasco, Perú.

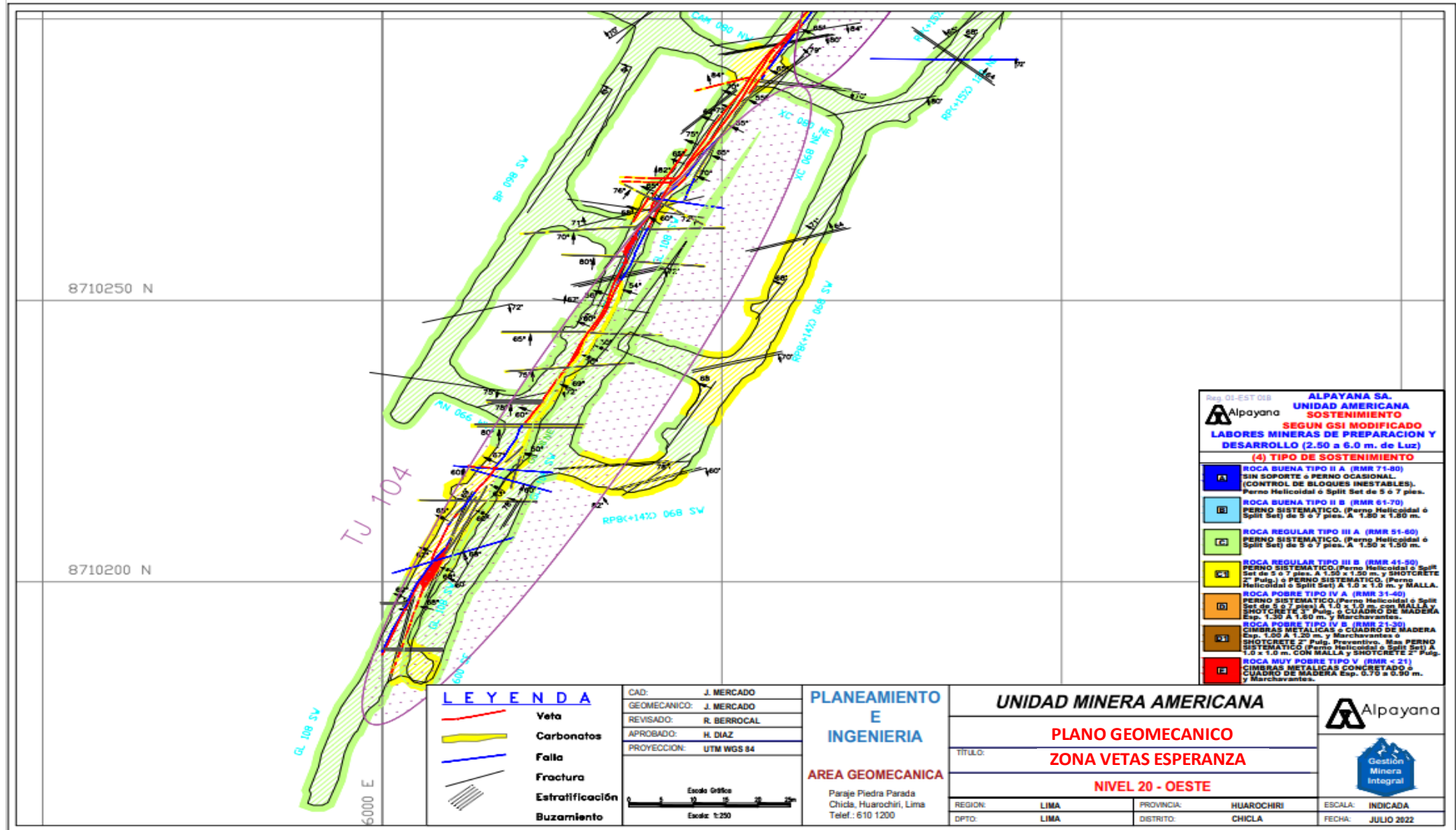
**ANEXOS**

**Anexo N°1:** Cuadro de consistencia.

“OPTIMIZACION DEL COSTO DE MINADO MEDIANTE LA APLICACION DE SUBNIVELES CON TALADROS LARGOS EN VETAS DE LA UNIDAD MINERA AMERICANA-2024”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN
¿En cuánto se optimizará el costo de minado, mediante la aplicación de subniveles con taladros largos en Vetas de la Unidad Minera Americana-2024?	Determinar en cuanto se optimizará el costo de minado de la zona vetas, mediante la aplicación de subniveles con taladros largos de la Unidad Minera Americana-2024	El costo de minado se optimizó mediante la aplicación de subniveles con taladros largos en Vetas de la Unidad Minera Americana-2024		<p><b>TIPO:</b> Aplicada</p> <p><b>NIVEL:</b> Descriptivo y explicativo</p> <p><b>MÉTODO:</b> Científico</p> <p><b>DISEÑO:</b> Analítica-Interpretativa</p> <p><b>Población Y Muestra:</b></p>
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	<p><b>Variable independiente:</b> Optimización de costo de minado.</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Aplicación de Subniveles con taladros largos.</p>	<p>La población será la Zona Veta Esperanza Nv 20 los 5 tajos de explotación TJ 108, TJ 098, TJ 088, TJ 106 y TJ 104.</p> <p>La muestra es no probabilística se escoge el TJ 104, por los resultados obtenidos en forma aleatoria.</p> <p><b>Técnica de procesamiento y análisis de datos</b></p> <p>Microsoft Office Excel, Word y Power Point</p>
<p>a) ¿Cuánto es el costo de minado en la Zona Vetas, mediante la aplicación de subniveles con taladros de la Unidad Minera Americana-2024</p> <p>b) ¿Cómo influye las condiciones geomecánicas y geológicas de la Zona Vetas en la aplicación de subniveles con taladros largos?</p>	<p>c) Determinar cuánto es el costo de minado en la zona vetas, mediante la aplicación de subniveles con taladros largos de la Unidad Minera Americana-2024</p> <p>d) Determinar cómo influye las condiciones geomecánicas y geológicas de la zona vetas en la aplicación de subniveles con taladros largos.</p>	<p>e) Se logro determinar el costo de minado de la Zona Vetas mediante la aplicación de subniveles con taladros largos de la Unidad Minera Americana-2024</p> <p>f) Las condiciones geomecánicas y geológicas de la Zona Vetas influyen directamente en la aplicación de subniveles con taladros largos de la Unidad Minera Americana-2024</p>		

Anexo N°2: Plano Geomecánico Nv 20 Tajo 104.



Plan 01-EST 008

**ALPAYANA SA.**  
**UNIDAD AMERICANA**  
**SOSTENIMIENTO**

**LABORES MINERAS DE PREPARACION Y DESARROLLO (2.50 a 6.0 m. de Luz)**

**(4) TIPO DE SOSTENIMIENTO**

<b>F1</b>	<b>ROCA BUENA TIPO II A (RMR 71-80)</b> SIN SOPORTE o PERNO OCASIONAL (CONTROL DE BLOQUES INESTABLES). Perno Helicoidal o Split Set de 5 o 7 pines.
<b>F2</b>	<b>ROCA BUENA TIPO II B (RMR 61-70)</b> PERNO SISTEMÁTICO. (Perno Helicoidal o Split Set) de 5 o 7 pines. A 1.50 x 1.50 m.
<b>F3</b>	<b>ROCA REGULAR TIPO III A (RMR 51-60)</b> PERNO SISTEMÁTICO. (Perno Helicoidal o Split Set) de 5 o 7 pines. A 1.50 x 1.50 m.
<b>F4</b>	<b>ROCA REGULAR TIPO III B (RMR 41-50)</b> PERNO SISTEMÁTICO. (Perno Helicoidal o Split Set de 5 o 7 pines. A 1.50 x 1.50 m. y SHOTCRETE 2" Pulg.) o PERNO SISTEMÁTICO. (Perno Helicoidal o Split Set). A 1.0 x 1.0 m. y MALLA.
<b>F5</b>	<b>ROCA POBRE TIPO IV A (RMR 31-40)</b> PERNO SISTEMÁTICO. (Perno Helicoidal o Split Set de 5 o 7 pines) A 1.0 x 1.0 m. con MALLA y SHOTCRETE 2" Pulg. o CUADRO DE MADERA Esp. 1.30 a 1.50 m. y Marchavantes.
<b>F6</b>	<b>ROCA POBRE TIPO IV B (RMR 21-30)</b> CIMBRAS METÁLICAS o CUADRO DE MADERA Esp. 1.00 a 1.20 m. y Marchavantes o SHOTCRETE 2" Pulg. Preventivo. Mas PERNO SISTEMÁTICO. (Perno Helicoidal o Split Set) A 1.0 x 1.0 m. con MALLA y SHOTCRETE 2" Pulg.
<b>F7</b>	<b>ROCA MUY POBRE TIPO V (RMR &lt; 21)</b> CIMBRAS METÁLICAS CONCRETADO o CUADRO DE MADERA Esp. 0.70 a 0.90 m. y Marchavantes.

**LEYENDA**

- Veta
- Carbonatos
- Falla
- Fractura
- Estratificación
- Buzamiento

CAD:	J. MERCADO
GEOMECANICO:	J. MERCADO
REVISADO:	R. BERROCAL
APROBADO:	H. DIAZ
PROYECCION:	UTM WGS 84

Escala Gráfica  
 Escala: 1:250

**PLANEAMIENTO E INGENIERIA**

**AREA GEOMECANICA**

Paraje Piedra Parada  
 Chicla, Huarochiri, Lima  
 Telef.: 610 1200

**UNIDAD MINERA AMERICANA**

**PLANO GEOMECANICO**  
**ZONA VETAS ESPERANZA**  
**NIVEL 20 - OESTE**

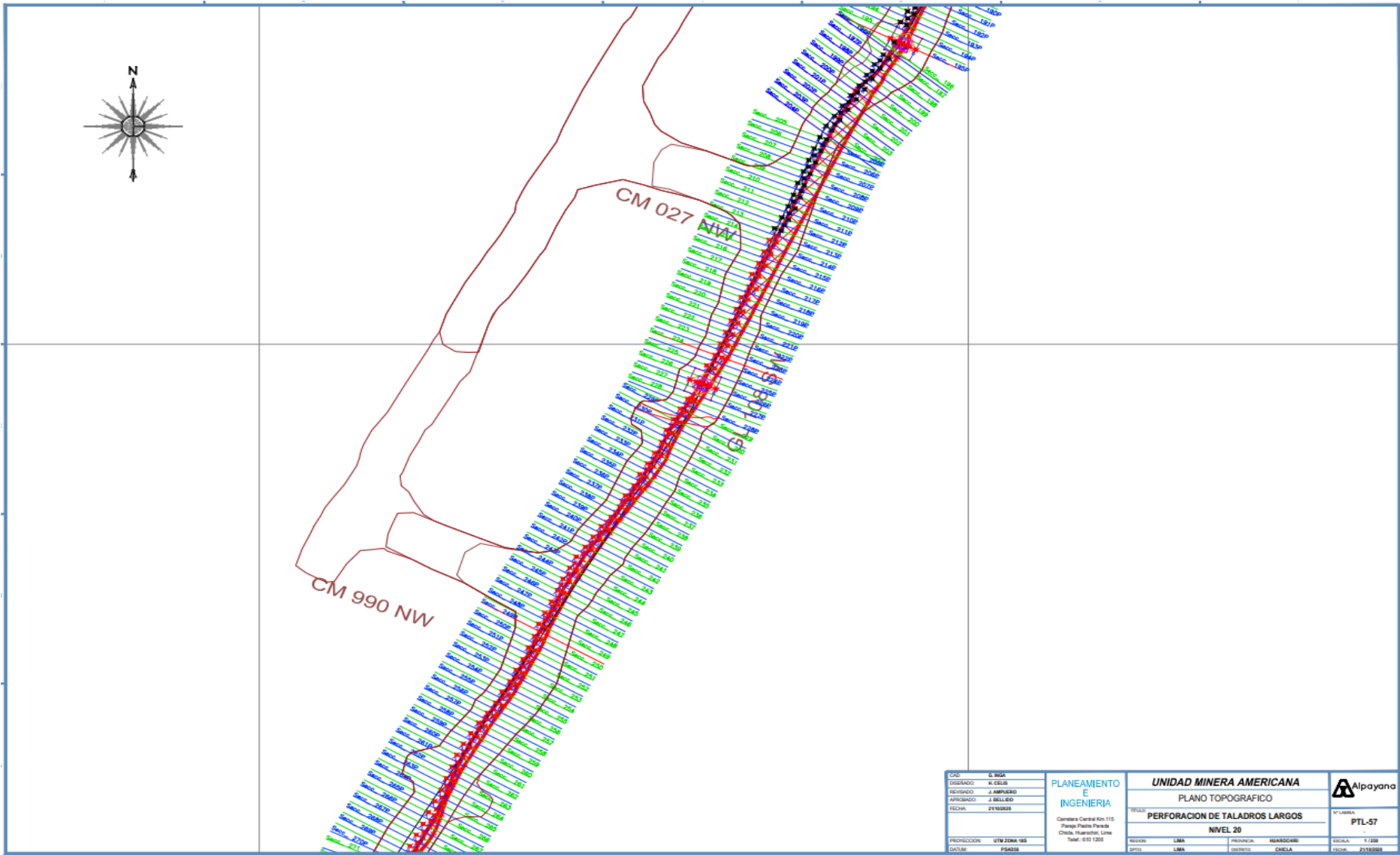
REGION:	LIMA	PROVINCIA:	HUARAOCHIRI
DPTO:	LIMA	DISTRITO:	CHICLA

**Alpayana**

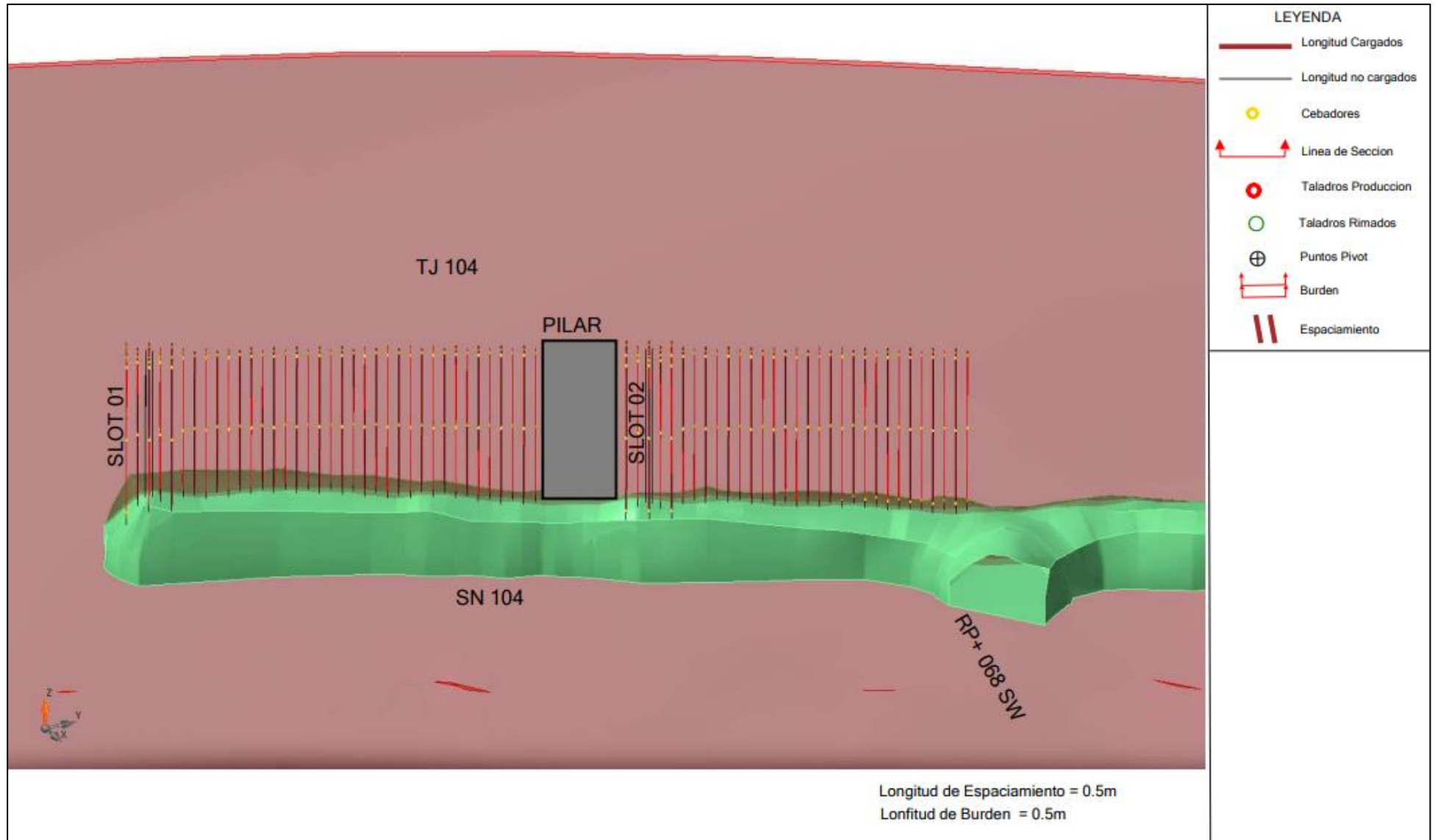
Gestión Minera Integral

ESCALA: INDICADA  
 FECHA: JULIO 2022

Anexo N°3: Perforación Taladros largos Nv 20 Zona Veta Esperanza.



Anexo N°4: Diseño De Taladros largos Nv 20 Zona Veta Esperanza Tajo 104.



**Anexo N°5:** Perforación y voladura Taladros largos en Vetas.

