



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



## SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE NICHOLAS PARA LA VETA NELLY DE LA EMPRESA MINERA LA ESPAÑOLA S.A.

TESIS

PRESENTADA POR:

**Bach. ALEX WILLY MAMANI HUANCA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

*Este trabajo de investigación se los dedico en especial para mi querido padre Mario Mamani Huanca y a mi madre Feliciano Huanca Colquehuanca que me brindaron el apoyo constante para ser un profesional que preste servicio a la sociedad como Ingeniero de Minas.*

*Así mismo dedico a mi esposa Mariluz Alejo Calle quien me motiva día a día a cumplir con mis objetivos brindándome amor y comprensión en cada momento.*

*Alex Willy.*



## AGRADECIMIENTO

*Un agradecimiento especial a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno por haberme permitido estudiar y culminar mis estudios de Ingeniería de Minas, para ser un profesional al servicio de la sociedad con las competencias básicas que debe tener un Ingeniero de Minas.*

*Así mismo el agradecimiento para mi Facultad de Ingeniería de Minas y a todos los docentes que compartieron sus conocimientos y experiencias con la única finalidad de que adquiriera las habilidades para desenvolverme sin problemas en la industria minera.*

*Alex Willy.*



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ANEXOS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 11**

**ABSTRACT..... 12**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 13**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 13**

1.2.1. Pregunta general ..... 13

1.2.2. Preguntas específicas ..... 14

**1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS ..... 14**

1.3.1. Hipótesis general ..... 14

1.3.2. Hipótesis específicas ..... 14

**1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ..... 15**

**1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 16**

1.5.1. Objetivo general ..... 16

1.5.2. Objetivos específicos ..... 16

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES..... 17**



<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.2.1. Explotación de minas .....	22
2.2.2. Clasificación de los métodos de explotación.....	22
2.2.3. Criterios para la selección del método de explotación .....	23
2.2.4. Método de explotación subterráneo.....	25
2.2.5. Geometría del yacimiento y distribución de leyes .....	35
2.2.6. Características geomecánicas del yacimiento .....	37
2.2.7. Método de Nicholas.....	37
<b>2.3. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>41</b>
2.3.1. Yacimiento de mineral .....	41
2.3.2. Veta.....	41
2.3.3. Método de explotación .....	41
2.3.4. Extracción de mineral.....	42
2.3.5. Mineral .....	42
2.3.6. Perforación .....	42
2.3.7. Voladura .....	42
2.3.8. Ventilación en mina.....	42
2.3.9. Limpieza de mineral .....	42

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>43</b>
3.1.1 Accesibilidad .....	43
3.1.2. Periodo de duración del estudio .....	44
3.1.3. Procedencia del material utilizado.....	44
<b>3.2. TIPO DE ESTUDIO .....</b>	<b>44</b>
3.2.1. Tipo de investigación .....	44
3.2.2. Alcance de la investigación .....	45



<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>45</b>
3.3.1. Población .....	45
3.3.2. Muestra .....	45
3.3.3. Muestreo .....	46
<b>3.4. MATERIALES.....</b>	<b>46</b>
<b>3.5. MÉTODO O PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>46</b>
<b>3.6. VARIABLES .....</b>	<b>47</b>
3.6.1. Variable independiente .....	47
3.6.2. Variable dependiente .....	47
<b>3.7. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>47</b>
<b>3.8. ANÁLISIS DE DATOS .....</b>	<b>47</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
4.1.1. Resultados para el primer objetivo específico:.....	48
4.1.2. Resultados para el segundo objetivo específico: .....	51
4.1.3. Resultados para el tercer objetivo específico: .....	55
4.1.4. Resultado para el objetivo general: .....	57
<b>4.2. DISCUSIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>71</b>

**ÁREA:** Ingeniería de Minas

**TEMA:** Métodos de extracción de yacimientos minerales metálicos y no metálicos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 04 de octubre de 2022



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Clasificación y comparación de métodos de explotación en subterránea.....	26
<b>Tabla 2</b>	Geometría y distribución de leyes del yacimiento.....	39
<b>Tabla 3</b>	Características geomecánicas zona mineralizada .....	39
<b>Tabla 4</b>	Características geomecánicas zona de caja techo .....	40
<b>Tabla 5</b>	Características geomecánicas zona de caja piso .....	40
<b>Tabla 6</b>	Puntaje por método según su aplicabilidad.....	41
<b>Tabla 7</b>	Ubicación de la zona de estudio empresa minera la Española .....	43
<b>Tabla 8</b>	Acceso a la empresa minera la Española S.A. ....	44
<b>Tabla 9</b>	Buzamiento de la veta en chimeneas .....	48
<b>Tabla 10</b>	Distribución de frecuencias del buzamiento de la veta en chimeneas .....	49
<b>Tabla 11</b>	Potencia de la veta Nelly .....	50
<b>Tabla 12</b>	Resultados de las características geométricas y distribución de leyes.....	51
<b>Tabla 13</b>	Resistencia del material .....	51
<b>Tabla 14</b>	Número de fracturas por metro en la estructura .....	52
<b>Tabla 15</b>	Número de fracturas por metro en la caja techo .....	53
<b>Tabla 16</b>	Número de fracturas por metro en la caja piso .....	54
<b>Tabla 17</b>	Características geomecánicas en el tajeo en la veta Nelly .....	55
<b>Tabla 18</b>	Cálculo de la ley promedio del tajeo en la veta Nelly .....	56
<b>Tabla 19</b>	Cálculo para la geometría y distribución de leyes de la veta Nelly .....	57
<b>Tabla 20</b>	Característica geomecánica de la zona mineralizada.....	58
<b>Tabla 21</b>	Característica geomecánica de la caja techo.....	59
<b>Tabla 22</b>	Característica geomecánica de la caja piso.....	60
<b>Tabla 23</b>	Resumen de la selección del método de explotación según Nicholas .....	61
<b>Tabla 24</b>	Aplicación del peso de los factores.....	62
<b>Tabla 25</b>	Selección del método de explotación subterránea .....	63



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema del tajeo en la Veta Nelly .....	49
<b>Figura 2.</b> Método según su característica geomecánica de la estructura .....	59
<b>Figura 3.</b> Método según sus características geomecánicas de la caja techo .....	60
<b>Figura 4.</b> Método según sus características geomecánicas de la caja piso .....	61
<b>Figura 5.</b> Métodos de explotación después de aplicar los pesos de los factores .....	63



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Operacionalización de variables .....	71
<b>Anexo 2.</b> Características geomecánicas y geométrica de la eta Nelly.....	72
<b>Anexo 3.</b> Modelo geológico estructural .....	75
<b>Anexo 4.</b> Geomecánica de la Galería 174 eta Nelly.....	76
<b>Anexo 5.</b> Explotación de la veta Nelly .....	77



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>S.A.C.</b>	: Sociedad Anónima Cerrada
<b>S.A.</b>	: Sociedad Anónima
<b>NW</b>	: <i>northwest</i>
<b>NE</b>	: <i>northe</i>
<b>SW</b>	: <i>southwest</i>
<b>RQD</b>	: <i>Rock Quality Designation</i>
<b>RMR</b>	: <i>Rock Mass Rating</i>
<b>MPa</b>	: mega pascales
<b>t</b>	: toneladas
<b>m</b>	: metro



## RESUMEN

El problema de una selección inadecuada de los métodos de explotación subterránea genera problemas como en el sobre costo de la explotación, problemas de ventilación, problemas de seguridad, una baja utilidad para la empresa y así mismo se refleja en las utilidades anuales para los trabajadores. Motivo por el cual se propuso como objetivo principal seleccionar el método de explotación subterránea para la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A. mediante la metodología de Nicholas. La metodología que se utilizó en el trabajo de investigación fue de un enfoque cuantitativo, tipo no experimental con un corte longitudinal por que se recolectaron los datos durante un mes y no existió ninguna manipulación de variables ya que se tomaron datos de las características geométricas, geomecánicas y distribución de leyes para poder seleccionar el método de explotación subterránea más adecuado para la veta Nelly. Logrando un resultado en la veta Nelly una potencia estrecha  $< a 10m$ , buzamiento de  $79,15^\circ$ , ley de  $5,36 \text{ g/TM}$  y un volumen total de  $335 \text{ m}^3$ , logrando seleccionar el método de explotación corte y relleno como primera opción con un valor de 36 puntos y el shirinkage como segunda opción con un valor de 31 puntos, el resto de los métodos fueron descartados ya que técnicamente no pueden ser adaptables al yacimiento. Concluyendo que el método numérico si permitió realizar la selección del método de explotación subterránea para el tajeo de la veta Nelly según la metodología de Nicholas.

**Palabras clave:** Explotación, geomecánica, leyes, método, minería, subterránea.



## ABSTRACT

The problem of an inadequate selection of subway mining methods generates problems such as exploitation cost overruns, ventilation problems, safety problems, low profitability for the company and is reflected in the annual profits for the workers. For this reason, the main objective was to select the subway mining method for the Nelly vein of the mining company La Española S.A. using the Nicholas methodology. The methodology used in the research work was of a quantitative approach, non-experimental type with a longitudinal cut because the data were collected during one month and there was no manipulation of variables since data were taken from the geometric, geomechanical and grade distribution characteristics in order to select the most appropriate subway mining method for the Nelly vein. Achieving a result in the Nelly vein a narrow power < to 10m, dip of  $79.15^\circ$ , grade of 5.36 g/TM and a total volume of  $335 \text{ m}^3$ , managing to select the cut and fill mining method as first option with a value of 36 points and the shirinkage as second option with a value of 31 points, the rest of the methods were discarded since technically they cannot be adaptable to the deposit. Concluding that the numerical method did allow the selection of the subway exploitation method for the Nelly vein pit according to Nicholas' methodology.

**Keywords:** Geomechanics, grades, method, mining, mining, subway.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad se encuentra muchos problemas en el diseño y selección del método más adecuado para la explotación de un yacimiento minero, problemas como en el sobre costo de la explotación, problemas de ventilación, incremento en el índice de accidentabilidad, una baja utilidad para la empresa mineras y así mismo se refleja en las utilidades anuales para los trabajadores.

Por otra parte, en la empresa minera la Española S.A. se está explorando mediante galerías en nivel superior e inferior, así mismo en la veta Nelly tiene aproximadamente 280 m de avance, donde se encuentra en varios tramos terrenos fracturados y con una potencia de 05 cm hasta 14 cm de mineral oro, así mismo la empresa desea una selección de un método más adecuado para poder aplicar y diseñar la explotación durante el 2022.

El problema actual es que no se tiene la selección adecuada del método de explotación para la veta Nelly, motivo por el cual nace la necesidad de conocer las características geométricas, geomecánicas del yacimiento.

### 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es el método de explotación subterránea más adecuado mediante la metodología de Nicholas para la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.?



### **1.2.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuáles son las características geométricas y distribución de leyes mediante la metodología de Nicholas en la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.?
- ¿Cuáles son las características geomecánicas mediante la metodología de Nicholas en la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.?
- ¿Cómo son las condiciones económicas para la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.?

## **1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.3.1. Hipótesis general**

El método de explotación subterránea más adecuado es un método auto soportado para la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.

### **1.3.2. Hipótesis específicas**

- Las características geométricas y distribución de leyes son apropiadas para un método auto soportado en la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.
- Las características geomecánicas son apropiadas para un método auto soportado en la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.
- Las condiciones económicas son apropiadas para un método auto soportado para la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.



## 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Según el desarrollo de las galerías en el nivel superior e inferior, se puede apreciar que nuestro yacimiento presenta una estructura angosta que varía la potencia de la veta desde 5 cm hasta 14 cm, en algunos tramos es de tipo rosario y respecto al buzamiento de la veta está entre  $75^\circ$  llegando en tramos hasta  $83^\circ$ .

Una vez ya conocido la reserva y sus características del yacimiento, es necesario la selección del método de explotación más adecuado, para su respectiva explotación de la veta mineralizada evitando todo tipo de pérdidas para la empresa minera.

Este trabajo de investigación se realiza porque la empresa minera La Española S.A. está deseando preparar la explotación de la veta Nelly y necesita tener una sugerencia de algún método de explotación según a las características que se presenta en el yacimiento.

Este trabajo de investigación sobre selección del método de explotación subterránea tiene como finalidad demostrar toda la secuencia que se debe seguir para la selección más adecuado del método de explotación subterránea en vetas angostas.

La selección del método de explotación subterránea servirá como alternativa para poder aplicar en yacimientos con similares características, así mismo será un ejemplo de caso práctico en la selección del método de explotación subterránea aplicando el método numérico de Nicholas (1981).



## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

Seleccionar el método de explotación subterránea mediante la metodología de Nicholas para la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características geométricas y distribución mediante la metodología de Nicholas de leyes en la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.
- Identificar las características geomecánicas mediante la metodología de Nicholas en la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.
- Analizar las condiciones económicas para la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

Javanshirgiv & Safari (2017) concluyen que uno de los pasos más críticos y complicados en el diseño de una mina es la selección del mejor método de extracción. El proceso de selección se ocupa de algunos factores que afectan al enfoque de selección. Como los problemas acogidos de las decisiones en el ambiente de la ingeniería minera suelen ser inciertos, los métodos de decisión emplean la teoría difusa. Por lo tanto, la teoría difusa se utiliza para la selección del método de explotación en minería en la mina de flúor de Kamar Mahdi. A este respecto, se consideran 14 criterios. Sobre la base de las características técnicas de este cuerpo mineralizado, como el espesor, la pendiente, la forma, la resistencia del mineral y el macizo rocoso, se pueden ejecutar cuatro métodos de extracción (alternativos), entre ellos el de corte y relleno (A1), el de subnivel (A2), el de conjunto cuadrado (A3) y el de contracción (A4). Las alternativas se evalúan con arreglo a los respectivos criterios basados en las experiencias técnicas y experimentales, así como en las opiniones de los encargados de adoptar decisiones y los expertos. Por último, las alternativas se clasifican por el método de TOPSIS difuso, lo que lleva a la selección de la detención de la contracción como el mejor método de extracción.

Muruaga (2016) concluye que debido a que hay incertidumbre en la selección del método de explotación para las condiciones presentadas anteriormente, se debe utilizar la herramienta de evaluación. De esta forma, la selección está determinada mediante un resultado económico. El hecho de encontrar condiciones de aplicación similares para los métodos *Sublevel Stoping* y *Sublevel Caving* en vetas angostas, contradice en parte el



modelo de selección de Nicholas, que descarta por completo la utilización del método *Sublevel Caving* en vetas angostas, debido a que no considera la variante longitudinal.

Lopez (2012) concluye que este método de Corte y Relleno Ascendente convencional, requiere un eficiente trabajo de ingeniería como se ha demostrado en el trabajo, exigiendo contar con una excelente toma de decisiones en lo concerniente a planeamiento, implementación, verificación y control de las operaciones de minado.

Crespo & Peña (2009) señalan que, en base a la condición geológica de la mina se realizan comparaciones con los diferentes sistemas disponibles y se puede determinar que los dos sistemas operativos pueden combinarse para obtener el mayor beneficio económico, además de respetar las normas de seguridad del trabajo en el negocio minero. El sistema utilizado es de cámaras y piques combinado con corte y empaque, debido a las ventajas tanto de la minería de bloques como del empaque.

Por otra parte Nuñez (2019) manifiesta en su investigación que el método de explotación corte y relleno semi mecanizado ascendente es económicamente rentable en el proyecto minero Cory Collur donde sus costo fue 22,72 \$/TM.

Velásquez (2019) señala que, mediante la utilización de la técnica numérica de Nicholas para la selección del método de explotación, radica en establecer de acuerdo con cada particularidad encontrar una apreciación concerniente que modifica en rigor de acuerdo con la predilección u optación de la técnica, los discernimientos de elección, que son: Geometría del depósito, distribución de leyes y factores geomecánicos de mineral y las cajas. Utilizando el programa de computador concerniente con estos razonamientos de escogimiento se estableció que el método.

Paz (2019) seleccionó el método de corte y relleno ascendente, mediante el método numérico de Nicholas con una puntuación de 27,49 ya que este método se



caracteriza por presentar una baja dilución (menor al 10%) y una alta recuperación del mineral (mayor al 90%) al mismo tiempo es adaptable su aplicación en yacimientos irregulares, además se tendrá un ambiente de trabajo seguro, este método es de costo relativamente alto a comparación de otros métodos pero también presenta una alta selectividad, lo que significa que se puede trabajar sectores de alta ley y dejar zonas de baja ley como relleno. Obteniendo así leyes elevadas y por consiguiente mejor rentabilidad económica.

Quispe (2019) señaló que el método de extracción para la veta Esperanza se selecciona en función de la elección del método de extracción de UBC. Finalmente, tenemos dos alternativas que tienen en cuenta la geometría, la distribución del mineral y las características geomorfológicas presentes en la zona de mineralización y el subsuelo. Opción 1 (cortar la forma gradualmente) y Opción 2 (muros y columnas). Por lo tanto; El método de minado utilizado en las operaciones de la mina Aguada es el método adicional de corte y empaque ya que el círculo Esperanza tiene una profundidad de fondo combinada con el método de pared y columna; Cuando tienes un cambio de inclinación.

Córdova (2019) afirma que en el método de explotación corte relleno ascendente semi-mecanizado se debe considerar los resultados del análisis geomecánicos para el yacimiento, tomar en nota siempre la dilución, para no generar las paradas imprevistas por seguridad de las actividades mineras, debido a las grandes áreas generadas que son resultados de una voladura masiva, por otra parte el botadero de desmonte tendrá mayor vida útil, porque el material se quedará en labores de explotación como relleno, evitando la evacuación hacia superficie.

Prado (2017) señaló que el método de explotación corte y relleno ascendente es más selectivo respecto al método *Long-Wall* porque este método tiene menos costo en 5.4% sin embargo la dilución genera perjuicios en la recuperación metalúrgica, causando



un consumo alto en la utilización de reactivos y reduciendo la vida útil de las pozas de lixiviación.

Mendiola (2017) afirma que los factores son más importantes en la primera etapa de selección del método de explotación, son los relativos a la distribución de leyes y geometría del yacimiento, así mismo las propiedades geomecánicas de la estructura mineralizada, caja techo y piso. En la segunda etapa se procede a la evaluación económica, basada sobre un esquema general de explotación, así como al estudio complementario del ritmo de producción y de la ley de corte, necesidades de personal, impactos ambientales y procedimientos de restauración y otras consideraciones específicas.

Celedonio (2015) concluye que la aplicación del método de explotación de corte y relleno ascendente es el más adecuado en vetas angostas, el promedio es de 2,8m y un buzamiento de 60°. Además, es más seguro y selectivo. Se debe realizar el cálculo del % de dilución para cada método de explotación que se emplea en la mina y no tomar un valor de determinado para generalizarlo en todas las zonas de explotación de la mina.

García (2015) manifestó que, de la evaluación económica de los métodos de extracción de la veta Dalina utilizando los criterios “VAN” y “TIR”, se concluyó que el método “*Cut and buffer*” es el método óptimo para la extracción de la veta Dalina en Catalina. La Mina Huanca, que ofrece una ventaja económica de 430,707.00 \$ sobre la segunda alternativa, será el método “Tajeo por Subniveles”

Ricón (2014) concluyó que, el método de extracción se elige mediante análisis numérico del proceso. Seleccione el método de corte y relleno. Y como segunda opción, extracto con imágenes. La determinación de las características geomorfológicas del macizo rocoso es  $RQD = 49\%$ , lo que significa que el índice de calidad del macizo rocoso



es pobre, pudiendo clasificarse como rocas de mala calidad, requieren apoyos y en algunos casos tienen tornillos. De acuerdo con las evaluaciones realizadas,  $RMR = 41$ , que corresponde a la calidad de rocas ordinarias grado III. Este valor de RMR debe corregirse para tener en cuenta las interrupciones cuando se realiza la extracción.

Bogdanovic et al. (2012) concluye en su investigación que la selección del método de minería es la decisión más importante que se toma en un proyecto de mina. La selección adecuada de un método de explotación subterráneo para un yacimiento de minerales requiere la consideración de numerosos criterios, como los factores geológicos de la explotación, los factores económicos y los factores técnicos de la minería.

Minaya (2007) manifiesta que la metodología numérica de Nicholas (1981) para selección de los métodos de explotación toma en cuenta características geológicas y geomecánicas del yacimiento en evaluación. Para su valoración considera factores de peso y designa un valor numérico a las condiciones geomecánicas y geológicas. En la primera etapa se tienen las alternativas que son viables desde el punto de vista técnico. De dicha etapa se obtiene un orden de selección para los métodos de explotación evaluados.

Campos (1996) concluye que para poder utilizar esta matriz se deben de tener en consideración los parámetros de geomecánica, geología, entre otras, las cuales son importantes para poder elegir el método apropiado de explotación ya sea subterránea o a cielo abierto de un yacimiento ferroso o no ferroso.

Torres (2019) concluyó que para seleccionar el método de explotación se debe tener en cuenta las reservas de mineral, teniendo en cuenta los aspectos geotécnicos, económicos y la geometría del cuerpo mineralizado.



Incacutipa (2019) concluyó que según las valoraciones geomecánicas efectuadas y su corrección se tiene un  $RMR = 32$ , corresponde a una masa rocosa de Clase IV de calidad mala. Entonces de acuerdo al análisis geomecánico realizado se ha determinado que las cajas no son recomendables e inseguras para un *Shrinkage* convencional, el mismo estudio demuestra las nuevas condiciones y probablemente los nuevos parámetros a asumir para el método corte y relleno ascendente.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Explotación de minas

Se denomina al conjunto de actividades mineras que es imprescindible realizar para extraer los minerales desde su estado natural y transportarlos hasta las plantas concentradoras para el procesamiento. Consiste, por lo tanto, en la ejecución secuencial de dos operaciones básicas: el arranque y el manejo de materiales (Ortiz C., 2000).

### 2.2.2. Clasificación de los métodos de explotación

Según López (1994) afirma que las condiciones que determinan el método de explotación más óptimo mucho depende de las características y rasgos de los depósitos de mineral, desde el punto de vista geológico, estructural y entre las características más importantes para una correcta selección de método de explotación tenemos los siguientes:

- La morfología y el tamaño del cuerpo de mineral.
- La profundidad del yacimiento respecto a la superficie.
- La ubicación, rumbo, grado de inclinación del mineral.
- Las propiedades de su resistencia y físicas del mineral.
- Las propiedades geomecánicas de las rocas encajonantes.
- La ausencia o presencia de aguas en el subsuelo.



- Factores económicos respecto a la operación
- El tipo de mineral y ley
- Costo comparativo de la explotación
- Ritmo de la producción
- Factores ecológicos y ambientales

### **2.2.3. Criterios para la selección del método de explotación**

Ortiz (2011) manifiesta que tomando en cuenta las características, factores y consideraciones se tomará la decisión respecto a la explotación de un yacimiento ya sea subterráneo o superficial. Las características geométricas y la resistencia de la roca son muy importantes en la selección de un método para la explotación de un yacimiento.

#### **a) Características Espaciales**

Superficial vs subterránea alteran en la cantidad de su producción, forma de administrar el mineral, diseño de labores en la mina en el yacimiento.

- La dimensión (potencia, altura)
- La forma (irregular, masivo, lenticular, tabular)
- La disposición (manteo, inclinado)
- La profundidad (la sobrecarga, extremos, media)

#### **b) Condiciones hidrológicas y geológicas**

Así como de mineral y de la roca encajonante como la caja techo o piso. Interfiere en la decisión de utilizar los métodos seleccionados y no seleccionados.

- La necesidad de bombeo, drenaje, tato sea superficial o subterránea.
- La formación mineralógica es necesario considerar para procesos.



- La petrografía y mineralogía (Sulfuros vs óxidos).
- La formación química.
- La estructura del yacimiento (fallas, pliegues, intrusiones, discontinuidades).
- Los planos de debilidad (fracturas, clivaje, grietas).
- La alteración, uniformidad, meteorización (límites, zonas)
- La hidrología y las aguas subterráneas (ocurrencia, nivel freático, flujo)

### **c) Consideraciones de características geotécnicas**

La selección del método de explotación

- La hundibilidad.
- Las propiedades elásticas.
- El comportamiento viscoelástico o plástico.
- El estado de los esfuerzos generados por la excavación
- La compactación, consolidación, competencia.
- Otras propiedades físicas (porosidad, gravedad específica, permeabilidad, poros).

### **d) Consideraciones de características económicas**

Definen el éxito de un proyecto minero afectan la inversión, periodo de retorno, flujos de caja beneficio.

- Las reservas (tonelaje y ley)
- La tasa de la producción
- La vida del proyecto minero (desarrollo y explotación)
- La productividad y el costo de mina de los posibles métodos a aplicar



#### **e) Factores tecnológicos**

Se explora la mejor forma de combinar entre las condiciones de forma natural respecto al método seleccionado.

- El % de la recuperación
- El % de la dilución
- La adaptabilidad a cambios en las condiciones
- El proceso selectivo durante la explotación
- La concentración o separación de frentes de trabajo
- La mano de obra, el capital y la mecanización

#### **f) Factores medioambientales**

Se refiere a lo físico, económico y político social.

- El control de la explotación, excavaciones para evitar posibles derrumbes (seguridad).
- El hundimiento
- Efectos superficiales.
- El control ambiental (calidad de aire, ventilación, humedad, calor)
- La fuerza laboral (contratos, seguridad y salud, capacitación, calidad de vida, condiciones de comunidad).

#### **2.2.4. Método de explotación subterráneo**

Según López (1994) señala que, en la selección del método de explotación subterránea se debe tener en cuenta la influencia de muchos factores y el análisis final, reducir o minimizar los que no tienen importancia y no influyen en la selección, lo más importante pueden ser organizadas como sigue:

- Resistencia de la estructura
- Resistencia de las rocas encajonantes

- Tamaño, ángulo de inclinación
- Forma del yacimiento y profundidad del yacimiento
- Continuidad de la mineralización dentro de los límites del cuerpo en influencia de la geología en la estructura de las rocas
- Posición de depósito con relación a instalaciones superficiales

**Tabla 1**

*Clasificación y comparación de métodos de explotación en subterránea*

<b>Métodos auto soportados</b>	<b>Métodos soportados</b>	<b>Método por hundimiento</b>
- Cámaras y pilares	- Corte y relleno ascendente	- Hundimiento por
- Tajeos por subniveles	- Corte y relleno descendente	subniveles
- Cráteres verticales en retroceso	- Almacenamiento provisional	- Hundimiento por bloques
- Son de dilución media	- Entibación con cuadros	
- Mala recuperación si los pilares no pueden extraerse.	- Tajeos largos	
	- Altos costos de minado	- Bajo costo por tonelada
	- Alta recuperación y baja dilución	- Baja recuperación y fuerte dilución.

Fuente. Datos tomados del libro de Llanque et al. (1999).

#### **a) Room and Pillar**

Ortiz (2011) manifiesta que consiste en lo esencial en excavar lo más posible el cuerpo mineralizado dejando pilares de mineral que permiten sostener el techo de material estéril.

Las dimensiones de las labores y de los pilares son dependientes de la mayor o menor de la roca sobrepuesta (estabilidad del techo) y del mismo modo del mineral (estabilidad de los pilares), igualmente del espesor del manto y de las presiones que existen.



Generalmente los pilares se distribuyen de una forma sistemática en el yacimiento, y pueden tener diferente sección como circular, cuadrada o rectangular. Las labores abiertas tienen forma cuadrada o rectangular.

Al finalizar la explotación de un cuerpo mineralizado existe la posibilidad de recuperar, algunos pilares, todo depende del tipo de mineral, leyes respectivas y su valor económico del mineral.

El control de leyes es importante (más que ventilación y el diseño de explotación): resulta en un diseño irregular, con pilares de leyes bajas que no se recuperan.

Se puede explotar frente completo o por cámaras.

- Frente completo: de 8 m a 10 m de ancho
- Cámaras: más de 10 m de ancho.

Las características más importantes son las siguientes:

- Método muy económico, facilidades de mecanizar, productivo y fácil de diseñar.
- Se aplica en yacimientos horizontales o sub - horizontales (hasta 30°) con potencia de 2 m a 6 m en carbón, roca razonablemente competente, sal, calizas, potasio. En algunos casos se pueden tomar en cuenta mantos de gran potencia.
- Las consideraciones de construcción: o resistencia de la caja techo o soporte de los pilares o potencia del yacimiento.
- El objetivo: extraer la máxima cantidad de mineral aceptable en condiciones seguras y profundidad de la mina en explotación.



- Los pilares pueden extraerse: en retirada en yacimientos de carbón, permitiendo el hundimiento del techo.

#### **b) *Shrinkage Stopping***

Ortiz (2011) afirma que consiste en excavar el mineral por tajadas horizontales en una secuencia ascendente (realce) partiendo de la base del caserón.

Una cantidad del mineral roto, equivalente al incremento del esponjamiento (30 a 40 %), es posible extraer permanentemente por las tolvas. El resto del mineral queda acumulado en el tajeo, de modo de que servirá como plataforma de trabajo para la actividad de explotación por otra parte servirán como soporte de las rocas encajonantes.

Cuando la etapa de explotación alcanza el límite pre - establecido superior del tajeo, paralizan las operaciones de perforación y voladura, y se inicia la extracción de mineral del tajeo evacuando todo el mineral acumulado.

Los pilares o puentes de mineral que soportan las rocas encajonantes generalmente se recuperan al final.

#### **- Parámetros**

- Las características del mineral: mineral de buena competencia, inoxidable, ni comestible, bajo en material arcilloso.
- Las propiedades de la roca encajonante: competente a un estado moderadamente competente.
- La estructura del yacimiento: preferiblemente vertical, homogeneidad en su buzamiento y contactos.
- Tamaño:



- Buzamiento > 45°, ojalá > 60°
- Corto a moderado potencia (de 1 m a 30 m)
- Ley: recomendable moderada a alta
- Largo: 15 m en adelante
- **Ventajas**
  - Las cantidades de producción de mínimo a regular.
  - Vaciado del tajeo por caída libre.
  - Un método fácil para pequeña minería.
  - Requiere un capital mínimo y si es necesario una mecanización.
  - La resistencia de mineral y cajas es mínima.
  - Desarrollos regulares.
  - Presenta una recuperación del (75 a 100%).
  - Existe una mínima dilución del (10 a 25%).
  - Alta selectividad.
- **Desventajas**
  - Su productividad baja a moderado entre (3-10 t/hombre-turno)
  - El costo de operación está en moderado a alto
  - Existe alta manipulación de mano de obra
  - Su mecanización es limitada
  - Las condiciones es un trabajo de alto riesgo
  - Aproximadamente 60% del mineral “permanece” dentro del tajeo hasta el final
  - Pérdida del tajeo en la extracción si no se hace con cuidado



### c) *Sublevel Stopping*

Ortiz (2011) afirma que el *sublevel stopping* es un método en el cual se excava el mineral por tajadas verticales dejando el caserón vacío, por lo general de grandes dimensiones, particularmente en el sentido vertical.

El material roto se acumula en embudos o buzones en el nivel inferior del tajeo, lugar donde se evacua de diferente manera.

El término “*sublevel*” se refiere a los subniveles y galerías que son punto de partida para realizar la actividad de explotación del mineral.

#### - **Características**

- Presenta una alta producción de mineral.
- Es posible aplicar a cuerpos largos, preferiblemente verticales, así mismo regulares en la estructura mineralizada y de cajas de buena resistencia.
- Tiene una productividad de 15 a 40 t/hombre turno.
- Cada tajeo tiene una tasa de producción más de 25000 t/mes.
- Varias labores en desarrollos, pero todos realizados en zona mineralizada.
- El método no es tan selectivo, se necesitan que los cuerpos deben ser regulares.
- Es uno de los métodos que presenta un bajo costo de explotación.

#### - **Ventajas**

- Muy fácil para su mecanización
- Altamente eficiente
- Su tasa de producción es de moderada a alta (25000 t/mes)
- Puede llegar hasta 110 t/hombre turno



- El método es seguro y fácil de ventilar.
- Su recuperación esta sobre los 90%.
- Existe una baja dilución: < 20%.
- La acumulación de taladros puede ser adelantada.
- En explotaciones de mayor volumen, voladuras semanales son frecuentes -> turnos entrenados y eficientes
- El mineral se encuentra disponible de inmediato al iniciarse la voladura de producción
- **Desventajas**
  - Intensivo en capital-> bastantes desarrollos antes de iniciar la producción
  - No selectivo
  - Ineficiente a bajas inclinaciones
  - Tronadura secundaria puede generar gases que vuelven al caserón

#### **d) *Cut and Fill Stopping***

Ortiz (2011) manifiesta que consiste en excavar el mineral por tajadas horizontales en una secuencia ascendente (realce) partiendo de la base del caserón. Todo el mineral roto es extraído del tajeo.

Cuando se ha explotado un corte completo, el área vacía es rellenado con material de otro lugar que permite sostener las rocas encajonantes al mismo tiempo sirve como plataforma de trabajo para la perforación, voladura y extracción del siguiente corte.

El mineral se saca a través de buzones artificiales construidas en relleno, que se van construyendo en forma ascendente según el avance de la explotación.



Como rellenos se utilizan materiales estériles provenientes de procesos de cultivo subterráneos o de superficie, así como desechos o gravas de plantas de procesamiento, así como mezclas de partículas y concreto de mala calidad para darle mayor densidad.

- **Condiciones de su aplicación**

Se aplica en lo general a cuerpos que presentan una forma tabular verticales o subverticales, de un espesor que varía desde unos pocos metros hasta 15m o 20 m en algunos casos.

Es preferible otras alternativas cuando las rocas encajonantes (paredes) presentan una resistencia baja de estabilidad (incompetente). En cambio, la estructura mineralizada debe ser competente y estable, especialmente si se trata de cuerpos de gran espesor. El mineral que se extrae debe tener un valor económico alto, para que así pueda recompensar el tiempo y los gastos generados durante la explotación del método.

**e) *Sublevel Caving***

Ortiz (2011) señala que en general el concepto de método por hundimiento implica que el material estéril superpuesto se derrumba y rellena el vacío que va dejando la extracción del cuerpo mineralizado. Este proceso se debe propagar hasta llegar a la superficie, generando así una cavidad o cráter.

Consiste en separar el cuerpo mineralizado en subniveles separados verticalmente entre 10m a 20m. En cada subnivel se desarrolla una red de galerías paralelas que cruzan transversalmente el cuerpo, a distancias del orden de 10 m a 15 m.



Las galerías de un subnivel dado están ubicadas entre y equidistantes de las galerías de subniveles adyacentes. De esta forma, toda la mineralización está cubierta por una red de túneles dispuestos en forma de rombo.

- **Condiciones de aplicación**

- Se prefiere el método SLC para particiones verticales o estructurales, pequeños y grandes, tanto en espesor como en extensión longitudinal. También se aplica a grandes depósitos.
- Solo las rocas minerales deben tener las condiciones competitivas suficientes para que las estructuras en su interior se mantengan estables con elementos de refuerzo mínimos.
- Las rocas a su alrededor, o, más precisamente, las rocas sobre él, deben ser tan débiles que pueden desmoronarse fácilmente en el vacío dejado por la extracción de rocas minerales.
- Es deseable que las rocas minerales y los materiales de desecho superpuestos se distingan y separen fácilmente, es decir, se reduce su mezcla y, por lo tanto, la mineralización de los minerales.

**f) Block Caving**

Ortiz (2011) afirma que, en lo esencial, este método consiste en inducir el hundimiento de una columna mineralizada, socavándola mediante la excavación de un corte basal, proceso que se realiza aplicando las técnicas convencionales de perforación y tronadura.

Las fuerzas internas preexistentes en la masa de las rocas (fuerzas gravitatorias y tectónicas), así como las resultantes de un cambio en sus condiciones de equilibrio debido a la fuerza cortante subyacente, producen



una pérdida estable en columnas o losas de alto grado de forma inmediata. Este colapsa parcialmente, llenando el vacío creado, y el equilibrio tiende a restablecerse.

El mineral triturado se extrae de la base a través de una tolva o canal de agua previamente excavado, creando así nuevas condiciones de inestabilidad. Este fenómeno continúa y luego el colapso o hundimiento del pozo se extiende a la superficie, proceso que la terminología minera denomina asentamiento.

El proceso finaliza cuando se extrae toda la columna de mineralización. La sustancia estéril superpuesta también disminuye, ocupando el espacio restante, y se puede observar la aparición de un cráter en la superficie.

Dependiendo de su expansión longitudinal, el cuerpo mineral puede ser golpeado por uno o más planos de cultivo, que luego colapsan en una secuencia descendente. La altura de las columnas entre los principiantes puede oscilar entre 40 m y 300 m. En la práctica, hay dos formas de aplicar este método:

- *Block Caving* en sí, donde cada nivel se divide en bloques virtuales con un área básica de  $3600 \text{ m}^2$  (60 mx60 m) a  $10,000 \text{ m}^2$  (100 mx100 m), que luego se sumergen en una cadena suelta hecha jirones.
- *Panel Caving*, que incluye el hundimiento continuo de áreas o unidades mineras más pequeñas.



#### - **Condiciones de aplicación**

- El método de exploración por bloques se aplica, casi sin excepción, a yacimientos masivos de gran tamaño, como los yacimientos minerales dispersos conocidos como porfirias, que están presentes y son de gran importancia económica en nuestro país. También se puede utilizar en cuerpos trezados muy gruesos.
- Las mejores condiciones de aplicación se dan en rocas relativamente poco mineralizadas, con altas tasas de fractura, que se hunden fácilmente en pequeños fragmentos. Sin embargo, la tecnología actual permite su aplicación incluso en formaciones rocosas con alta resistencia a la friabilidad.
- Es muy deseable o casi necesario que los límites de los depósitos sean regulares y las distribuciones uniformes. Este método no permite la extracción selectiva o marginal de pequeñas fracciones y, por el contrario, no es posible separar ni siquiera las fracciones de baja calidad contenidas en la masa mineral.

#### **2.2.5. Geometría del yacimiento y distribución de leyes**

La geometría de un yacimiento se define mediante su forma general, inclinación, potencia y profundidad, por otra parte, la distribución de leyes se establece como errático, uniforme, diseminado y gradual.

Para poder seleccionar un método de explotación subterránea es recomendable disponer de los planos geológicos, donde se indican las características del yacimiento como tiempo de rocas, zonas de alteración, fallas, estructura principal, estratos y ejes de pliegues.



**a) Forma**

- Masivo: todas las medidas son homogéneas en toda dirección.
- Tabular: dos de las medidas son mucho mayor que la tercera.
- Irregular: Las medidas varían a distancias muy pequeñas.

**b) Potencia de la estructura mineralizada**

- Estrecho : < a 10 m
- Intermedia : 10 – 30 m
- Potente : 30 – 100 m
- Muy potente : > a 100 m

**c) Buzamiento**

- Echado : < a 20°
- Intermedia : 20° - 55°
- Inclinado : > a 55°

**d) Profundidad del yacimiento desde la superficie**

- Pequeña : < a 150 m
- Intermedia : 150 – 600 m
- Alta : > a 600 m

**e) Distribución de leyes**

- Uniforme: El nivel de los minerales es prácticamente constante en cualquier punto del cuerpo mineralizado.
- Diseminado: Las leyes presentan una distribución geográfica que determina cambios graduales de un punto a otro.
- Errático: No hay relación espacial entre las reglas, porque difieren completamente de un punto a otro en distancias muy pequeñas.



## 2.2.6. Características geomecánicas del yacimiento

El comportamiento geomecánico depende de la resistencia del macizo rocoso, resistencia de las discontinuidades y el grado de fracturación del macizo rocoso. La resistencia de la roca es la relación entre la resistencia de la roca a la compresión simple, el espaciamiento entre fracturas puede definirse en la cantidad de fracturas por metro o mediante el RQD. El RQD es el porcentaje de trozos de testigos con una longitud superior a 10cm por metro de longitud del taladro mencionados por Llanque et al. (1999).

### a) Resistencia de la matriz rocosa

Resistencia a la compresión simple (MPa)/presión del recubrimiento (MPa)

- Pequeña : < a 8
- Media : 8 – 15
- Alta : > a 15

### b) Espaciamiento entre fracturas

- Muy pequeño : > 16 fracturas/m 0 – 20 % RQD
- Pequeño : 10 – 16 20 – 40 % RQD
- Grande : 3 – 10 40 – 70 % RQD
- Muy grande : 3 70 – 100 % RQD

### c) Resistencia de las discontinuidades

- Pequeña: discontinuidades limpias con una superficie suave o con material de relleno blando.
- Media: discontinuidades limpias con una superficie rugosa.
- Grande: discontinuidades con un relleno de material de igual resistencia o mayor que la roca intacta.



### 2.2.7. Método de Nicholas

Según DELPHOS (2010) el procedimiento propuesto por Nicholas (1981), consiste en determinar el método de explotación más apropiado para un proyecto minero, por medio de un ranking numérico cuantitativo basado en un conjunto de tabulaciones con puntuación establecidas por sus estudios. Para ello se utilizan 4 tablas para considerar los factores del tipo de mina, la condición geotécnica de los minerales; El estado geotécnico del muro suspendido y el estado geotécnico del muro inclinado.

Cada una de estas tablas contiene una serie de columnas con puntajes específicos, que se correlacionan con diferentes características del factor que se evalúa. Sobre esta base, se cree que los valores 1 y 2 indican una propiedad que podría ser adecuada para el método, los valores 3 y 4 indican la propiedad preferida del método de extracción y el valor 0 indica que la propiedad es adecuada. adecuado para el método de extracción. Se desaconseja el uso de este método de minería y un valor de -49 indica que no se considerará este método de minería.

Para cada propiedad especificada, se realiza una suma lineal del resultado tabulado en cada columna, y luego cada uno de estos valores se multiplica por el factor de ponderación especificado correspondiente. Finalmente, en la columna resultante se encuentra el valor numérico más alto y se determina el método de minado más adecuado para el yacimiento mencionado.

**Tabla 2**  
*Geometría y distribución de leyes del yacimiento*

Métodos de explotación	Forma del Yacimiento			Potencia del Mineral				Inclinación			Distribución de Leyes		
	Masivo	Tabular	Irregular	Estrecho	Intermedio	Potente	Muy Potente	Tumbado	Intermedio	Inclinado	Uniforme	Diseminado	Errático
Cielo Abierto	3	2	3	2	4	4	4	3	3	4	3	3	3
Hundimiento por bloques	4	2	0	-49	0	2	4	3	2	4	4	2	0
Cámaras por Subniveles	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	3	1
Hundimiento por Subniveles	3	4	1	-49	0	4	4	1	1	4	4	2	0
Tajeo Largo	-49	0	-49	4	0	-49	-49	4	0	-49	4	2	0
Cámaras y Pilares	0	4	2	4	2	-49	-49	4	1	0	3	3	3
Cámaras Almacén	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1
Corte y Relleno	0	4	2	4	4	0	0	0	3	4	3	3	3
Entibación con Marcos	0	2	4	4	4	1	1	2	3	3	3	3	3

Fuente. Datos tomados del libro de Llanque et al. (1999).

**Tabla 3**  
*Características geomecánicas zona mineralizada*

Método de explotación	Resistencia de las Rocas			Espaciamiento entre Fracturas				Resistencia de las Discontinuidades		
	Baja	Media	Alta	Muy Cerca	Poco Espaciado	Espaciado	Muy Espaciado	Baja	Media	Alta
Cielo Abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Hundimiento por bloques	4	1	1	4	4	3	0	4	3	0
Cámaras por Subniveles	-49	3	4	0	0	1	4	0	2	4
Hundimiento por Subniveles	0	3	3	0	2	4	4	0	2	2
Tajeo Largo	4	1	0	4	4	0	0	4	3	0
Cámaras y Pilares	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Cámaras Almacén	1	3	4	0	1	3	4	0	2	4
Corte y Relleno	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2
Entibación con Marcos	4	1	1	4	4	2	1	4	3	2

Fuente. Datos tomados del libro de Llanque et al. (1999).

**Tabla 4**  
*Características geomecánicas zona de caja techo*

Método de explotación	Resistencia de las Rocas			Espaciamiento entre Fracturas			Resistencia de las Discontinuidades			
	Baja	Media	Alta	Muy Cerca	Poco Espaciado	Espaciado	Muy Espaciado.	Baja	Media	Alta
Cielo Abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Hundimiento por bloques	4	2	1	3	4	3	0	4	2	0
Cámaras por Subniveles	-49	3	4	-49	0	1	4	0	2	4
Hundimiento por Subniveles	3	2	1	3	4	3	1	4	2	0
Tajeo Largo	4	2	0	4	4	3	0	4	2	0
Cámaras y Pilares	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Cámaras Almacén	4	2	1	4	4	3	0	4	2	0
Corte y Relleno	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2
Entibación con Marcos	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2

Fuente. Datos tomados del libro de Llanque et al. (1999).

**Tabla 5**  
*Características geomecánicas zona de caja piso*

Método de explotación	Resistencia de las Rocas			Espaciamiento entre Fracturas			Resistencia de las Discontinuidades			
	Baja	Media	Alta	Muy Cerca	Poco Espaciado	Espaciado	Muy Espaciado	Baja	Media	Alta
Cielo Abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Hundimiento por bloques	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Cámaras por Subniveles	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4
Hundimiento por Subniveles	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4
Tajeo Largo	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3
Cámaras y Pilares	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3
Cámaras Almacén	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Corte y Relleno	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2
Entibación con Marcos	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2

Fuente. Datos tomados del libro de Llanque et al. (1999).

**Tabla 6**  
*Puntaje por método según su aplicabilidad*

<b>Clasificación</b>	<b>Valor</b>
Preferido	3 – 4
Probable	1 – 2
Improbable	0
Desechado	-49

Fuente. Datos tomados del libro de Llanque et al. (1999).

**a) Peso de los factores**

- Geometría del yacimiento	1
- Condiciones geomecánicas del mineral	0,75
- Condiciones geomecánicas de la caja techo	0,6
- Condiciones geomecánicas de la caja techo	0,38

## **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.3.1. Yacimiento de mineral**

Es una concentración de varios minerales que se presenta en diferente forma en el su suelo de la corteza terrestre en el cual tiene diferente ley.

### **2.3.2. Veta**

La veta de mineral es una concentración de varios minerales en esencial predomina un determinado mineral y presenta un buzamiento mayor a 45° con una potencia regular.

### **2.3.3. Método de explotación**

Es la técnica, métodos y procedimientos que se utiliza para poder extraer el mineral del yacimiento minero, en el cual se considera la geometría y distribución del mineral, las propiedades geomecánicas del yacimiento y rocas encajonantes.



#### **2.3.4. Extracción de mineral**

Conjunto de actividades que tienen la finalidad de romper el mineral que se encuentra en el yacimiento minero, para así trasladar hacia la planta concentradora.

#### **2.3.5. Mineral**

Es un conjunto de elementos químicos que fue formado por una serie de procesos inorgánicos de manera natural que se encuentran en las rocas de la corteza terrestre.

#### **2.3.6. Perforación**

Es el proceso en el cual se genera un agujero mediante la aplicación de una fuerza mecánica para depositar la carga explosiva.

#### **2.3.7. Voladura**

Es el proceso de liberación de los gases generados después de la detonación de la carga explosiva.

#### **2.3.8. Ventilación en mina**

Es un proceso dinámico en el cual se inyecta aire fresco hacia una labor minera donde las condiciones ambientales no se encuentren aptas para las personas.

#### **2.3.9. Limpieza de mineral**

La limpieza de mineral consiste en levantar el mineral y depositarlo en un equipo para así acarrearlo o trasladarlo hacia un punto determinado como puede ser la cancha de mineral o un *ore pass*.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica en la empresa minera la Española S.A. la cual está ubicada en el distrito de Cháparra, provincia de Caravelí, región de Arequipa. La cual geográficamente se encuentra limitada hacia el norte por la quebrada Huaccyaco y el Cerro Palo Plantado; hacia el oeste limita con el cerro Torrecillas y al sur con el cerro Reyes, su altitud media es de 2220m.s.n.m. alcanzando una altitud máxima de 2500m.s.n.m.

**Tabla 7**

*Ubicación de la zona de estudio empresa minera la Española*

Vértices	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
1	8244000	646000
2	8244000	641000
3	8244000	641000
4	8244000	646000

#### 3.1.1 Accesibilidad

Para acceder a la empresa minera la Española S.A., desde la ciudad de Arequipa, se sigue la siguiente ruta:

**Tabla 8**

*Acceso a la empresa minera la Española S.A.*

<b>Tramo</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tipo de vía</b>
Arequipa – desvío Cháparra	425	Asfaltada
Desvío Cháparra – desvío la española	04	Asfaltada
Desvío la española – Mina la española	31	Afirmada
<b>Total</b>	<b>460</b>	

### **3.1.2. Periodo de duración del estudio**

El tiempo de la duración del estudio de investigación fue durante los meses enero, febrero y marzo del 2021.

### **3.1.3. Procedencia del material utilizado**

Los materiales que fueron utilizados en la presente investigación fue de la empresa minera la Española, específicamente de la veta Nelly.

## **3.2. TIPO DE ESTUDIO**

### **3.2.1. Tipo de investigación**

El trabajo de investigación es de tipo cuantitativo no experimental de corte longitudinal por que se tomarán los datos durante un mes y no se manipularán ningún tipo de variable ya que se trata de tomar datos de las características geométricas, geomecánicas y distribución de leyes para poder seleccionar el método de explotación subterránea más adecuado para la veta Nelly. Del mismo modo Hernández (2014) define al diseño no experimentales como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Esto quiere decir, que se trata de



investigaciones en los que no se manipula intencionalmente las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables.

### **3.2.2. Alcance de la investigación**

El alcance de la investigación es descriptivo porque se describe las características geométricas, distribución de leyes y características geomecánicas en la veta Nelly de la empresa minera la Española S.A. Según Hernández (2014), manifiesta que el objetivo del investigar consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan. Los estudios descriptivos buscan identificar los rasgos, características y perfiles de una persona, grupo, comunidad, proceso, objeto u otro fenómeno que el sujeto analiza. En otras palabras, sólo tiene por objeto medir o recopilar información de forma independiente o colectiva sobre los conceptos o variables con los que se relaciona.

## **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.3.1. Población**

La población considerada para la investigación está conformada por 06 vetas como son: veta Nelly, Principal, Ely, Katy, Vanesa y Sonia. Así mismo Hernández (2014) define a la población como un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.

### **3.3.2. Muestra**

Para el trabajo de investigación se tomó como muestra a la veta Nelly. Por otra parte, Hernández (2014) define que la muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población.



### **3.3.3. Muestreo**

El tipo de muestra para el trabajo de investigación es el tipo de muestra no probabilística o dirigida según al propósito del investigador. Hernández (2014) define a la muestra no probabilística a un subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación.

### **3.4. MATERIALES**

Los materiales que se utilizaron en la presente investigación fueron los siguientes:

- Útiles de escritorio
- Tabla geomecánica
- Reportes del área de geomecánica
- Planos de las labores
- Picota de geólogo
- Brújula
- Flexómetro
- Laptop
- Internet
- Calculadora
- Cámara fotográfica
- Equipo de Protección Personal

### **3.5. MÉTODO O PROCEDIMIENTO**

El trabajo de investigación seguirá la siguiente secuencia:



- Revisión bibliográfica sobre la selección del método de explotación subterránea modelo numérico de Nicholas (1981).
- Aplicar la técnica de la observación directa en interior mina.
- Identificar las características geométricas y distribución de leyes
- Determinar las características geomecánicas de la veta Nelly
- Aplicar el método numérico de Nicholas (1981)
- Analizar las condiciones económico para la veta Nelly

### **3.6. VARIABLES**

#### **3.6.1. Variable independiente**

Veta Nelly.

#### **3.6.2. Variable dependiente**

Selección del método de explotación subterránea.

La operacionalización de las variables podemos visualizar en el anexo 1.

### **3.7. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La técnica utilizada para la recolección de datos fue la observación directa in situ, de manera no estructurada utilizando el diario de campo, cámaras fotográficas para las evidencias.

### **3.8. ANÁLISIS DE DATOS**

Respecto al análisis de datos se realizó utilizando una base de datos en Excel y aplicando un análisis mediante la estadística descriptiva.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

##### 4.1.1. Resultados para el primer objetivo específico:

- Determinar las características geométricas y distribución de leyes en la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A. mediante la metodología de Nicholas.

Según a la observación en el lugar se pudo determinar que la veta tiene la forma *tabular* y su distribución de leyes es de forma *uniforme*.

Respecto al buzamiento se tomó los datos en toda la longitud de la Chimenea 250 y chimenea 350 a cada 5 m.

**Tabla 9**  
*Buzamiento de la veta en chimeneas*

Muestra	Ch – 250 (°)	Ch – 350 (°)	Promedio (°)
1	76	77	76,5
2	75	77	76
3	75	78	76,5
4	76	80	78
5	78	80	79
6	80	79	79,5
7	81	81	81
8	83	80	81,5
9	82	82	82
10	80	83	81,5
<b>Promedio</b>	<b>78,6</b>	<b>79,7</b>	<b>79,15</b>

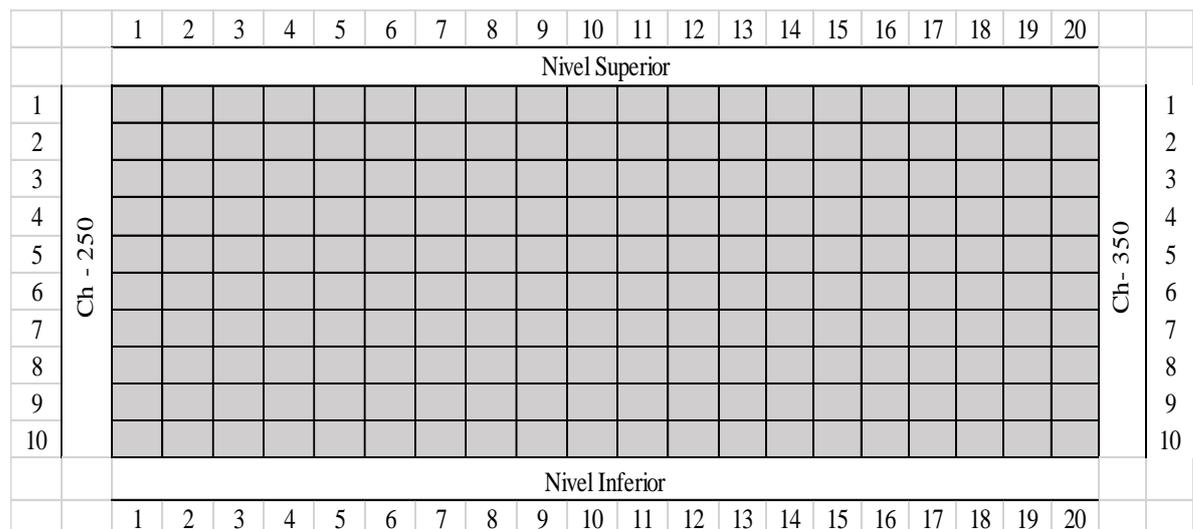
En la tabla 9 podemos observar el promedio del buzamiento que tiene la veta Nelly, donde se concluye que el promedio del buzamiento es  $79,15^\circ$  presenta un buzamiento *inclinado*  $>$  a  $50^\circ$ , así como se muestra en el anexo 2 en la imagen E y F la medición del buzamiento en la galería de la veta Nelly.

**Tabla 10**

*Distribución de frecuencias del buzamiento de la veta en chimeneas*

CH 250					CH350				
Xi	fi	fr(hi)	%	F	Xi	fi	fr(hi)	%	F
75	2	0.2	20	2	77	2	0.2	20	2
76	2	0.2	20	4	78	1	0.1	10	3
78	1	0.1	10	5	79	1	0.1	10	4
80	2	0.2	20	7	80	3	0.3	30	7
81	1	0.1	10	8	81	1	0.1	10	8
82	1	0.1	10	9	82	1	0.1	10	9
83	1	0.1	10	10	83	1	0.1	10	10
Total	10	1	100		Total	10	1	100	

La tabla 10 muestra la repetición de los buzamientos que se presentan en las chimeneas 250 y 350, donde  $75^\circ$ ,  $76^\circ$  y  $80^\circ$  se repiten en la chimenea 250, por otra parte, en la chimenea 350 se repite en 3 oportunidades el ángulo de  $80^\circ$ .



**Figura 1.** Esquema del tajeo en la Veta Nelly

La figura 1 muestra el esquema del tajeo en la veta Nelly y los puntos de muestreo que se realizó, en el nivel superior, inferior así mismo en las chimeneas a cada 5 m.



**Tabla 11**  
*Potencia de la veta Nelly*

<b>Muestra</b>	<b>Nv - Sup. (cm)</b>	<b>Nv - Inf. (cm)</b>	<b>Ch – 250 (cm)</b>	<b>Ch – 350 (cm)</b>
1	7	11	7	8
2	7	10	6	7
3	6	13	4	5
4	5	7	5	6
5	7	14	6	6
6	8	7	5	7
7	3	9	4	4
8	9	7	3	3
9	4	8	3	8
10	4	5	4	10
11	3	14		
12	6	12		
13	5	12		
14	4	14		
15	5	13		
16	6	5		
17	8	5		
18	5	8		
19	9	10		
20	8	11		
Promedio (cm)	5,95	9,75	4,7	6,4
Promedio (pies)	0,195	0,32	0,154	0,21

En la tabla 11 se evidencia el promedio de la potencia de la veta en el nivel superior es 5,95 cm, nivel inferior es 9,75 cm, en la chimenea 250 es 4,7 cm y en la chimenea 350 es 6,4 cm siendo una veta angosta el cual no supera 0,10 m. en ninguna labor, en este sentido se considera la potencia del mineral como *estrecho* < a 10 m.

**Tabla 12***Resultados de las características geométricas y distribución de leyes*

<b>Características</b>	<b>Forma</b>	<b>Potencia de mineral</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>Distribución de leyes</b>
Resultados	Tabular	Estrecho < a10 cm	Inclinado 79,15°	errático

La tabla 12 muestra las características geométricas y su distribución de leyes que presenta la veta Nelly, así mismo la medición de potencia de la veta Nelly podemos visualizar en el anexo 2 en la imagen C y D donde existe variación en el ancho de la veta

#### **4.1.2. Resultados para el segundo objetivo específico:**

- Identificar las características geomecánicas en la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A. mediante la metodología de Nicholas.

Respeto a la resistencia del mineral y las cajas encajonantes se recurre a los resultados del área de geomecánica de la compañía, según los reportes tiene una resistencia alta. Ya que la estructura tiene contenido de cuarzo y oro dichos datos se presentan en la tabla 13.

**Tabla 13***Resistencia del material*

<b>Resistencia</b>	<b>RQD</b>	<b>MPa</b>
Mineral	90 - 100%	>15 MPa
Caja techo	75 – 90%	4-10 MPa
Caja piso	75 – 90%	4-10 MPa



Para el evaluar el espaciamiento entre fracturas se tuvo que hacer las evaluaciones en el nivel superior, inferior así mismo se evaluó las chimeneas 250 y 350, utilizando el flexómetro y contado el número de fracturas que existe en un metro lineal.

**Tabla 14**  
*Número de fracturas por metro en la estructura*

Muestra	Lugar de muestreo en estructura			
	Nv - Sup.	Nv - Inf.	Ch - 250	Ch - 350
1	2	1	2	3
2	3	3	3	1
3	3	2	4	2
4	4	2	3	2
5	3	1	2	3
6	5	0	3	3
7	3	3	2	4
8	3	2	2	3
9	2	2	1	2
10	4	3	2	1
11	3	3		
12	3	4		
13	4	3		
14	4	3		
15	5	2		
16	6	5		
17	5	4		
18	4	2		
19	3	1		
20	2	2		
Promedio	3,55	2,4	2,4	2,4
Promedio		2,69		

En la tabla 14 tenemos el promedio total de número de fracturas/m en todo el tajeo de la veta Nelly siendo 2,69 fracturas/m el promedio a nivel general, ya que existe muy pocas fracturas en la estructura porque se encuentran espaciadas las fracturas.

**Tabla 15**  
*Número de fracturas por metro en la caja techo*

Muestra	Lugar de muestreo en caja techo			
	Nv - Sup.	Nv - Inf.	Ch - 250	Ch - 350
1	3	4	3	5
2	5	2	4	4
3	6	5	5	4
4	5	3	4	5
5	4	4	5	4
6	6	5	4	4
7	4	4	3	5
8	5	3	3	4
9	3	4	4	3
10	5	5	4	3
11	4	5		
12	4	6		
13	3	5		
14	3	4		
15	4	4		
16	5	6		
17	3	5		
18	5	3		
19	4	3		
20	5	4		
Promedio	4,3	4,2	3,9	4,1
Promedio		4,13		

La tabla 15 presenta los valores del muestreo que se realizó cada 5 m ya sea en los niveles superior e inferior, así mismo se tomó los datos en las chimeneas, donde se tiene un promedio de 4,23 fracturas/m en la veta Nelly que corresponden a la caja techo así mismo podemos visualizar la evidencia en el anexo 2 imagen G.

**Tabla 16***Número de fracturas por metro en la caja piso*

Muestra	Lugar de muestreo en la caja piso			
	Nv - Sup.	Nv - Inf.	Ch - 250	Ch - 350
1	4	3	5	4
2	3	5	6	4
3	5	6	7	5
4	5	6	7	3
5	6	7	5	4
6	5	5	4	4
7	4	6	5	5
8	5	4	6	4
9	3	5	5	4
10	4	6	4	5
11	5	5		
12	5	5		
13	6	4		
14	5	6		
15	4	7		
16	5	5		
17	6	6		
18	5	6		
19	5	5		
20	4	4		
Promedio	4,7	5,3	5,4	4,2
Promedio		4,90		

La tabla 16 muestra el promedio de las fracturas/m en la caja piso, llegando a un promedio de 4,7 en el nivel superior, 5,3 en el nivel inferior, 5,4 en la chimenea 250 y 4,2 en la chimenea 350, teniendo un promedio general de 4,9 fracturas/m en la caja piso del tajeo en la veta Nelly de igual manera la evidencia se puede visualizar en el anexo 2 en la imagen H.

Según las mediciones de las cantidades de fracturas/m se puede determinar que la caja piso tiene más fracturas que la caja techo ya que es afectada por la perforación y voladura generado para mantener el ancho de minado y así ingresen los equipos con normalidad.

Respecto a las discontinuidades, se realizó la evaluación in situ llegando a determinar que la estructura y la caja piso presentan discontinuidades limpias con superficies rugosas, respecto a la caja techo las discontinuidades presentan relleno con material de igual resistencia.

**Tabla 17**

*Características geomecánicas en el tajeo en la veta Nelly*

<b>Descripción</b>	<b>Resistencia del material</b>	<b>del Espaciamiento entre fracturas</b>	<b>entre Resistencia de las discontinuidades</b>
Estructura	>15 MPa Alta: >a 15 MPa	Muy poco fracturado: <3 ff/m (Muy espaciadas)	Media: discontinuidades limpias con superficies rugosas
Caja techo	4 - 10 MPa Media: 8 – 15 MPa	Poco fracturado: 3-10 ff/m (Espaciadas)	Alta: discontinuidades rellenas con material de igual resistencia.
Caja piso	4 - 10 MPa Media: 8 – 15 MPa	Poco fracturado: 3-10 ff/m (Espaciadas)	Media: discontinuidades limpias con superficies rugosas

La tabla 17 muestra un resumen sobre las características geomecánicas del tajeo en la veta Nelly, donde la estructura presenta una resistencia alta, respecto a la caja techo y piso presenta una resistencia media.

#### **4.1.3. Resultados para el tercer objetivo específico:**

- Analizar las condiciones económicas para la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A.



**Tabla 18**  
*Cálculo de la ley promedio del tajeo en la veta Nelly*

Labor	Influencia (m)	Influencia (pies)	Potencia (pies)	Área (pies <sup>2</sup> )	Ley de oro (g/t)	Ley *área
Nv. Sup.	100	328	0,195	63,96	4,5	287,82
Nv. -Inf.	100	328	0,32	104,96	6	629,76
Ch 250	50	164	0,154	25,256	5,25	132,59
Ch 300	50	164	0,21	34,44	5,1	175,64
			0,22	228,62		1225,82
Ley promedio de oro en el tajeo =				5,36	g de Au/t	

La tabla 18 muestra el cálculo de la ley promedio de oro en el tajeo de la veta Nelly es de 5,36 g de Au/t. Respecto al volumen del tajeo en la veta Nelly se consideran lo siguiente:

Longitud en nivel superior e inferior = a 100 m

Altura de las chimeneas 250 y 350 = 50 m

Promedio de la potencia de mineral 0,22 pies = 0,067 m

Volumen = Logitud del Nivel \* Altura de la chimenea \* Potecia del mineral

$$\text{Volumen} = 100 \text{ m} * 50 \text{ m} * 0,067 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 335 \text{ m}^3$$

Determinando la cantidad de oro en el tajeo de la veta Nelly tenemos lo siguiente:

Cantidad de oro = Volumen \* densidad

$$\text{Cantidad de oro} = 335 \text{ m}^3 * 2,66 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Cantidad de oro = 891,1 Kg

El precio en el mercado internacional de la bolsa de metales preciosos Londres es 1 gramo de oro = 59,548 \$, multiplicado por la cantidad de oro en la veta Nelly se tiene aproximadamente 53 063 222,8 \$.

#### 4.1.4. Resultado para el objetivo general:

- Seleccionar el método de explotación subterránea para la veta Nelly de la empresa minera La Española S.A. mediante la metodología de Nicholas.

Para lograr este objetivo se aplicó el método numérico de Nicholas considerando la geometría y distribución de leyes en el tajeo de la veta Nelly, así mismo se toma en cuenta las características geomecánicas de la estructura mineralizada, características geomecánicas de la caja techo y caja piso, finalmente se tuvo que realizar el descarte por el criterio técnico.

**Tabla 19**

*Cálculo para la geometría y distribución de leyes de la veta Nelly*

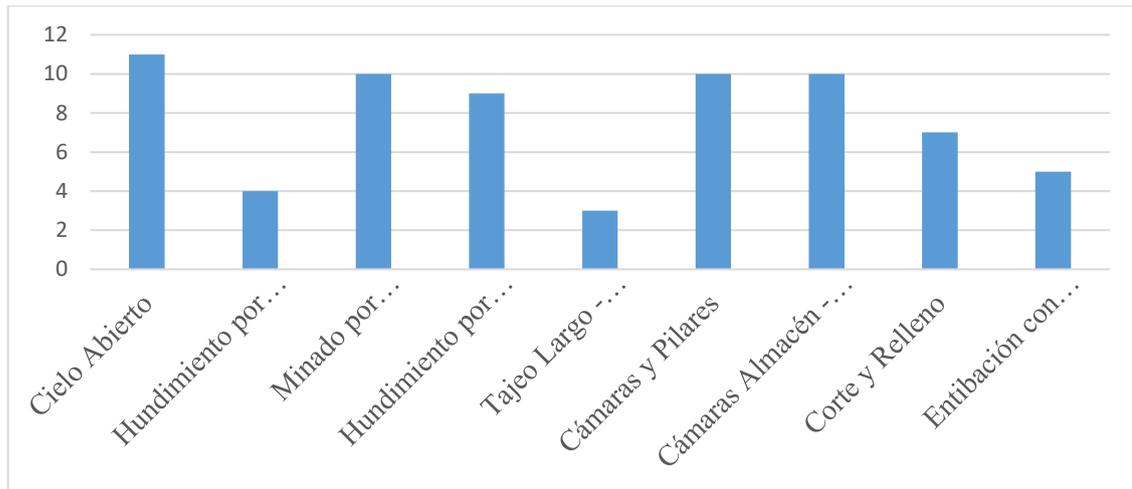
Métodos de explotación	Forma del Yacimiento			Potencia del Mineral				Inclinación			Distribución de Leyes			Total
	M	T	I	E	IT	P	MP	T	IT	IN	U	D	ER	
	Cielo Abierto	3	2	3	2	3	4	4	3	3	4	3	3	
Hundimiento por bloques	4	2	0	-49	0	2	4	3	2	4	4	2	0	<b>-43</b>
Minado por Subniveles	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	3	1	<b>8</b>
Hundimiento por Subniveles	3	4	1	-49	0	4	4	1	1	4	4	2	0	<b>-41</b>
Tajeo Largo - <i>LongWall</i>	-49	0	-49	4	0	-49	-49	4	0	-49	4	2	0	<b>-45</b>
Cámaras y Pilares	0	4	2	4	2	-49	-49	4	1	0	3	3	3	<b>11</b>
Cámaras Almacén - <i>Shrinkage</i>	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1	<b>8</b>
Corte y Relleno	0	4	2	4	4	0	0	0	3	4	3	3	3	<b>15</b>
Entibación con Marcos	0	2	4	4	4	1	1	2	3	3	3	3	3	<b>12</b>

La tabla 19 muestra los cálculos para la geometría y distribución de leyes en la veta Nelly donde resalta el método corte y relleno con una valoración de 15.

**Tabla 20**  
*Característica geomecánica de la zona mineralizada*

Método de explotación	Resistencia de las Rocas			Espaciamiento entre Fracturas			Resistencia de las Discontinuidades			Total	
	Baja	Media	Alta	Muy Cerca	Poco Espaciado	Espaciado	Muy Espaciado	Baja	Media		Alta
Cielo Abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4	<b>11</b>
Hundimiento por bloques	4	1	1	4	4	3	0	4	3	0	<b>4</b>
Minado por Subniveles	-49	3	4	0	0	1	4	0	2	4	<b>10</b>
Hundimiento por Subniveles	0	3	3	0	2	4	4	0	2	2	<b>9</b>
Tajeo Largo - <i>longWall</i>	4	1	0	4	4	0	0	4	3	0	<b>3</b>
Cámaras y Pilares	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4	<b>10</b>
Cámaras Almacén - <i>Shrinkage</i>	1	3	4	0	1	3	4	0	2	4	<b>10</b>
Corte y Relleno	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	<b>7</b>
Entibación con Marcos	4	1	1	4	4	2	1	4	3	2	<b>5</b>

La tabla 20 muestra el cálculo para la característica geomecánica, donde resalta con un valor de 11 mayor puntaje el método a cielo abierto, seguida de los métodos subterráneos como minado por subniveles, cámaras y pilares y *Shirikage* con valores de 10.



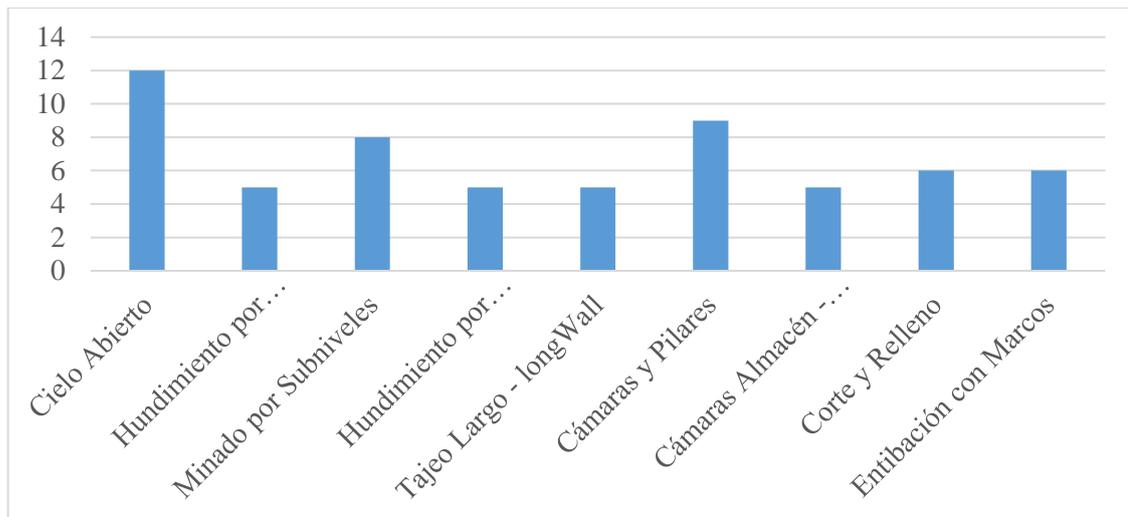
**Figura 2.** Método según su característica geomecánica de la estructura

**Tabla 21**

*Característica geomecánica de la caja techo*

Método de explotación	Resistencia de las Rocas			Espaciamiento entre Fracturas			Resistencia de las Discontinuidades			Total	
	Baja	Media	Alta	Muy Cerca	Poco Espaciado	Espaciado	Muy Espaciado	Baja	Media		Alta
Cielo Abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4	12
Hundimiento por bloques	4	2	1	3	4	3	0	4	2	0	5
Minado por Subniveles	4	3	4	4	0	1	4	0	2	4	8
Hundimiento por Subniveles	3	2	1	3	4	3	1	4	2	0	5
Tajeo Largo - longWall	4	2	0	4	4	3	0	4	2	0	5
Cámaras y Pilares	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4	9
Cámaras Almacén - Shrinkage	4	2	1	4	4	3	0	4	2	0	5
Corte y Relleno	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2	6
Entibación con Marcos	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2	6

La tabla 21 evidencia el cálculo de las características geomecánicas para la caja techo en el cual resalta el método a cielo abierto con un valor de 12, seguido de cámaras y pilares con un valor de 9. Por otra parte, se evaluó las características geomecánicas de la caja piso donde se muestra en la tabla 21.



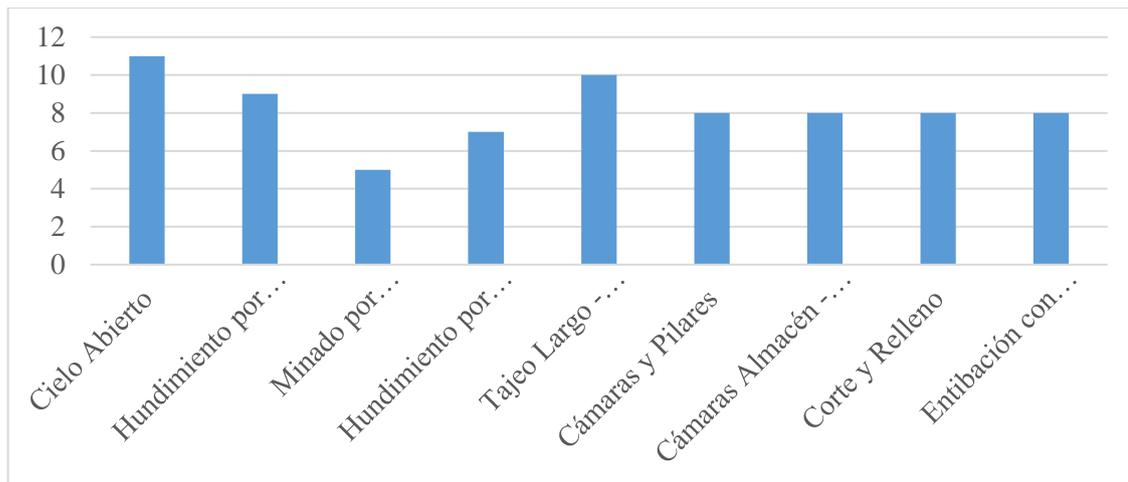
**Figura 3.** Método según sus características geomecánicas de la caja techo

**Tabla 22**

*Característica geomecánica de la caja piso*

Método de explotación	Resistencia de las Rocas			Espaciamiento entre Fracturas			Resistencia de las Discontinuidades			Total	
	Baja	Media	Alta	Muy Cerca	Poco Espaciado	Espaciado	Muy Espaciado	Baja	Media		Alta
Cielo Abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4	<b>11</b>
Hundimiento por bloques	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3	<b>9</b>
Minado por Subniveles	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4	<b>5</b>
Hundimiento por Subniveles	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4	<b>7</b>
Tajero Largo - longWall	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3	<b>10</b>
Cámaras y Pilares	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3	<b>8</b>
Cámaras Almacén - Shrinkage	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3	<b>8</b>
Corte y Relleno	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2	<b>8</b>
Entibación con Marcos	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2	<b>8</b>

La tabla 22 se evidencia las características geomecánicas respecto a la caja piso donde se tiene el valor más resaltante para el método a cielo abierto con un puntaje de 11, seguido del método tajeos largos 10.



**Figura 4.** Método según sus características geomecánicas de la caja piso

**Tabla 23**

*Resumen de la selección del método de explotación según Nicholas*

Método de explotación	Tabla 19	Tabla 20	Tabla 21	Tabla 22	Total
	Distribución de leyes	Mineral	Caja techo	Caja piso	
Cielo Abierto	11	11	12	11	<b>45</b>
Hundimiento por bloques	-43	4	5	9	<b>-25</b>
Minado por Subniveles	8	10	8	5	<b>31</b>
Hundimiento por Subniveles	-41	9	5	7	<b>-20</b>
Tajeo Largo - LongWall	-45	3	5	10	<b>-27</b>
Cámaras y Pilares	11	10	9	8	<b>38</b>
Cámaras Almacén - Shrinkage	8	10	5	8	<b>31</b>
Corte y Relleno	15	7	6	8	<b>36</b>
Entibación con Marcos	12	5	6	8	<b>31</b>

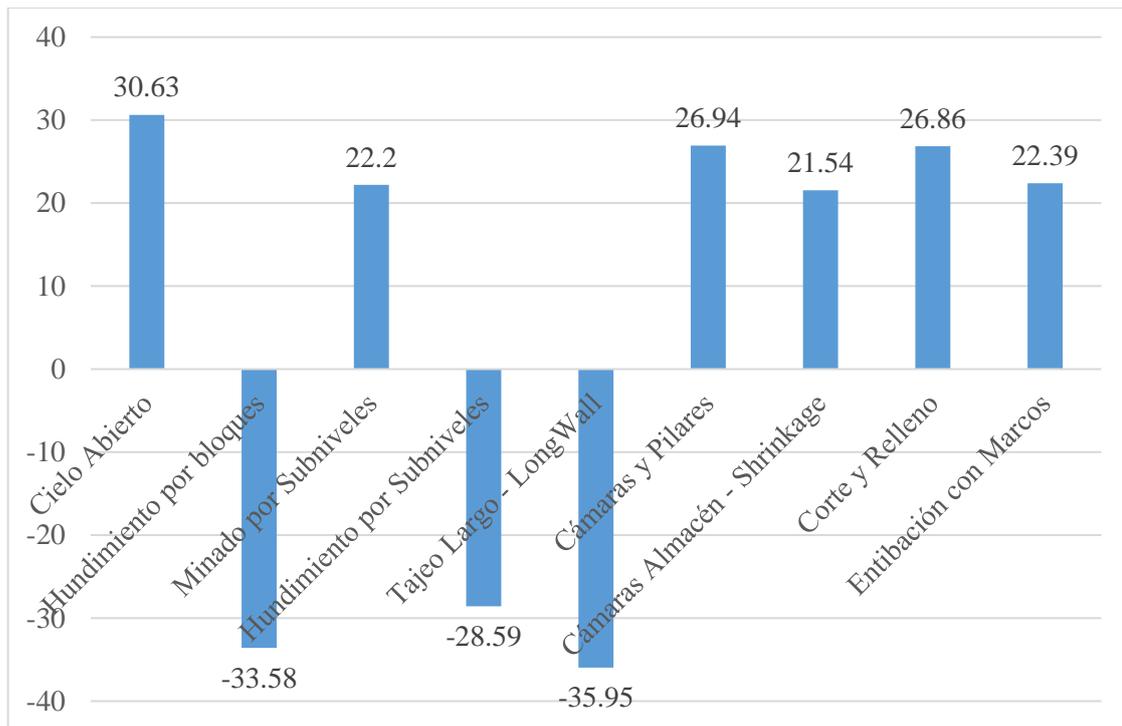
Mediante la tabla 23 se muestra el resumen sobre la selección del método de explotación sumando la distribución geométrica, distribución de leyes, características geomecánicas del mineral, caja techo y caja piso, donde se tiene el mayor puntaje en el método a cielo abierto con un valor de 45, seguidamente por el método de cámaras y pilares con valor de 38 y tercera opción el método corte y relleno. Teniendo los resultados de la tabla 22 seguimos con el procedimiento de multiplicar el peso de los factores según al método de Nicholas modificado.

**Tabla 24**  
*Aplicación del peso de los factores*

Método de explotación	Tabla 19	Tabla 20	Tabla 21	Tabla 22	Total
	Distribución de leyes (1)	Mineral (0,75)	Caja techo (0,6)	Caja piso (0,38)	
Cielo Abierto	11	8,25	7,2	4,18	<b>30,63</b>
Hundimiento por bloques	-43	3	3	3,42	<b>-33,58</b>
Minado por Subniveles	8	7,5	4,8	1,9	<b>22,2</b>
Hundimiento por Subniveles	-41	6,75	3	2,66	<b>-28,59</b>
Tajeo Largo - <i>LongWall</i>	-45	2,25	3	3,8	<b>-35,95</b>
Cámaras y Pilares	11	7,5	5,4	3,04	<b>26,94</b>
Cámaras Almacén - <i>Shrinkage</i>	8	7,5	3	3,04	<b>21,54</b>
Corte y Relleno	15	5,25	3,6	3,04	<b>26,86</b>
Entibación con Marcos	12	3,75	3,6	3,04	<b>22,39</b>

La tabla 24 muestra los resultados después de aplicar el peso de los factores ya sea a la distribución de leyes, zona mineralizada, caja techo y caja piso, en los cuáles tres métodos son imposibles de aplicar ya que tienen valores negativos.

Posteriormente se tuvo que eliminar algunos métodos aplicando un criterio técnico ya que serían muy costoso y no muy rentable la explotación del yacimiento, los descartes se presentan en la tabla 24.



**Figura 5.** Métodos de explotación después de aplicar los pesos de los factores

La figura 5 muestra los resultados una vez que se aplicó el peso de los factores, quedando 6 métodos de explotación, seguidamente se pasa a un descarte técnico respecto a su profundidad, características geométricas del yacimiento y características geomecánicas del mineral como las cajas encajonantes.

**Tabla 25**

*Selección del método de explotación subterránea*

Método de explotación	Rankin Según Nicholas	Descarte del método según criterio técnico	
Cielo Abierto	1	No por la profundidad, exceso para desbroce	no
Hundimiento por bloques	0	Imposible	no
Minado por Subniveles	5	No, porque es una veta menor a 10 cm	no
Hundimiento por Subniveles	0	Imposible	no
Tajeos Largos	0	Imposible	no
Cámaras y Pilares	2	No, porque es una veta buzamiento alto	no
Cámaras Almacén	6	Si puede ser como segunda opción	2
Corte y Relleno	3	Si puede ser como primera opción	1
Entibación con Marcos	4	No, porque tiene alta resistencia geomecánica	no



La tabla 25 presenta la selección del método de explotación previo al descarte técnico de algunos métodos tomando en cuenta la distribución geométrica, característica geomecánica del mineral, caja techo y caja piso, donde solo se tiene 2 métodos seleccionados, en primera opción el método corte y relleno y como segunda opción el método *Shrinkage* el resto de los métodos son descartados.

## 4.2. DISCUSIÓN

Los resultados muestran referente a su característica geométrica y distribución de leyes que el yacimiento presenta una forma tabular, la potencia del mineral se considera estrecho < a 10 m, con un buzamiento inclinado  $79,15^\circ$  y respecto a su distribución de leyes se determinó que es errático. Muy similar a las consideraciones de Torres (2019) donde señala que en una selección del método de explotación se debe tomar en cuenta la geometría del yacimiento aspectos económicos y geotécnicos. De igual manera Mendiola (2017) considera que como primera etapa se debe tener en cuenta la geometría y su distribución de leyes del cuerpo mineralizado.

Respecto a las características geomecánicas del yacimiento en la veta Nelly se pudo determinar que la estructura tiene una resistencia alta, muy poco fracturado y con discontinuidades limpias con superficies rugosas, respecto a la caja techo y piso presenta la resistencia media, poco fracturado y discontinuidades rellenas con material de igual resistencia. Ratificados por Campos (1966) ya que considera que los parámetros geológicos, geomecánicas entre otros son necesarios para una adecuada selección del método de explotación. Por otra parte, Córdova (2019) afirma que se debe considerar los análisis geomecánicos de la zona para evitar la dilución y generar mayor volumen de desmonte.



Las condiciones económicas para el yacimiento en la veta Nelly se logró determinar que tiene una ley promedio de oro de 5,36 g/Tn, un volumen aproximado de 335 m<sup>3</sup> de mineral en el tajeo y 891,1 Kg de oro, valorizado en total 53 063 222,8 \$. Tal como menciona Bogdanovic, Nikolic, & Ivana (2012) donde afirma que en la selección de un método de explotación es muy complejo considerando varios criterios como factores económicos, técnicos y geológicos. Del mismo modo Paz (2019) indica que el método de corte relleno presenta una baja dilución, alta selectividad, generalmente se trabaja en zonas de alta ley o de alto valor económico por consiguiente tiene una rentabilidad económica positiva.

A nivel general se logró la selección del método de explotación subterránea mediante el método numérico de Nicholas como primera opción el método corte y relleno con un valor de 36 puntos y como segunda opción el método *shrinkage* con un valor de 31 puntos, ya que el yacimiento es una veta angosta descartando al resto de los métodos porque no son adaptables según sus características geomecánicas, profundidad y tipo de mineral. Resultados que son similares a Prado (2017) & Celedonio (2015) ya que mencionan que el método de corte y relleno es más selectivo y adecuado para vetas angostas. Por otra parte, son ratificados por Minaya (2007) ya que señala que el método numérico de Nicholas considera las características geomecánicas, geológicas del yacimiento asignando un valor numérico.



## V. CONCLUSIONES

A nivel general si se logró realizar la selección del método de explotación subterránea para el tajeo en la veta Nelly, donde el método más adecuado es corte y relleno como primera opción con 36 puntos y el *shrinkage* como segunda opción con 31 puntos, el resto de los métodos fueron descartados ya que técnicamente no pueden ser adaptables al yacimiento.

Según la distribución geométrica y distribución de leyes se logró determinar que el yacimiento presenta una forma tabular, potencia del mineral menor a 10 cm, buzamiento  $75,15^\circ$  considerado inclinado y distribución de mineral errático.

Se logró analizar las características geomecánicas del yacimiento encontrado de que la resistencia del mineral es alta, resistencia media presenta la caja techo y piso, respecto a las fracturas el mineral es muy poco fracturado, la caja techo y piso son poco fracturado y respecto a la resistencia de las discontinuidades el mineral presenta una resistencia media, caja techo una resistencia alta finalmente la caja piso una resistencia media.

El análisis económico para el tajeo en la veta Nelly se logró determinar la ley promedio de oro es 5,36 g/t, volumen aproximado  $335 \text{ m}^3$ , aproximadamente 891,1 kg de oro con un valor económico de 53 063 222,8 \$ por el tajeo.



## VI. RECOMENDACIONES

Hacer una comparación de la selección del método de explotación utilizado un diferente método al de Nicholas, considerando las diferentes características.

Recurrir al área de geología, planeamiento para la obtención de los datos necesarios para realizar una adecuada selección del método de explotación así mismo tomar en cuenta la forma geométrica del yacimiento como su distribución de leyes.

Considerar de manera obligatoria las características geomecánicas, geológicas, económicas y técnicas para una adecuada selección del método de explotación

Tomar los datos sobre la resistencia del material, los resultados de un laboratorio con varias repeticiones, con la finalidad de que los datos sean más confiables.

Conocer la cotización actual en el mercado internacional sobre el mineral, para considerar e la selección del método de explotación subterránea.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bogdanovic, D., Nikolic, D., & Ivana, I. (2012). Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 84(1), 219–233. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000013>
- Campos-Arzapalo, E. (1996). *Concepto sistémico en la elección de métodos de explotación minera en los andes peruanos*. 1–13.
- Celedonio, C. S. (2015). *Control de dilución optimizando los procesos unitarios de perforación y voladura y acarreo: caso práctico; una mina subterránea del Norte* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6472>
- Córdova-Mondragón, M. L. (2019). Análisis del método de Corte y relleno ascendente semimecanizado, frente al método Long wall en la producción de mineral del tajo 6520, Nv 2760, Compañía Minera Poderosa S.A. [Universidad Nacional de Piura]. In *Tesis*. <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1899/MIN-COR-MON-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Crespo, J., & Peña, E. (2009). *Elección del Sistema de explotación del bloque R Norte de la Veta Santa Ana distrito minero Zaruma-Portovelo*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6101>
- DELPHOS, M. P. L. (2010). *Métodos de explotación*. <https://delphoslab.cl/index.php/54-dec/pde-2/281-metodos-de-explotacion>
- García Tovar, E. U. (2015). *Universidad Nacional Del Centro Del Peru* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Hernández-Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. In I. editores S. A. de C.V. (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (6ta ed., Vol. 53, Issue 9).
- Inacutipá-Mamani, Y. W. (2019). Cambio de método de minado a corte y relleno ascendente convencional de la farallón en mina SMRL las bravas N° 2 de Ica [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Tesis*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12373>
- Javanshirgiv, M., & Safari, M. (2017). The selection of an underground mining method



- using the fuzzy topsis method: A case study in the Kamar Mahdi II fluorine mine. *Mining Science*, 24, 161–181. <https://doi.org/10.5277/msc172410>
- Llanque, O. E., Navarro, V. F., Durant, J. G., Coila, Y. A., Calderon, R. G., Tapia, H. A., Cuentas, M. S., & Camac, E. A. (1999). *Explotación Subterránea, Métodos y Casos Prácticos*. <https://pdfcoffee.com/explotacion-subterranea-metodos-y-casos-practicos-oscar-llanque-maquera-c-2-pdf-free.html>
- Lopez-Arancibia, Y. B. (2012). *Optimización del método de explotación corte y relleno ascendente para incrementar la producción en la compañía minera Cobre Nazca Unidad Santa - Ana*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- López Aburto, V. M. (1994). *Manual para la selección de métodos de explotación de minas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/1769>
- Mendiola Ochante, V. J. (2017). Criterios de diseño para la toma de decisiones en la evaluación de alternativas de minado en Empresas Mineras de la Región Central del Perú. *Prospectiva Universitaria*, 9(1), 55. <https://doi.org/10.26490/uncp.1990-7044.2012.1.293>
- Minaya-Villareal, J. A. (2007). Evaluación de condiciones geomecánicas y viabilidad técnica según metodología numérica D. Nicholas para selección del método de explotación en veta Delia, mina Colquirrumi. In *Tesis* (Vol. 4, Issue None). Universidad Nacional de Trujillo.
- Muruaga-Rojas, S. I. (2016). Selección de métodos de explotación para vetas angostas [Universidad de Chile]. In *Tesis* (Issue May). <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139743/Seleccion-de-metodos-de-explotacion-para-vetas-angostas.pdf?sequence=1>
- Núñez Alvarado, J. F. (2019). *Elección e implementación del método corte y relleno ascendente para la explotación del proyecto minero Cory Collur año 2019* (Vol. 4, Issue 1) [Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4464>
- Ortiz C., J. (2000). CURSO DE EXPLOTACIÓN DE MINAS. In *Facultad de ciencias Físicas y Matemáticas departamento de Ingeniería de Minas* (p. 338). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de



- Minas. [https://www.ucursos.cl/ingenieria/2015/1/ME5703/1/foro/r/Apuntes\\_de\\_Curso\\_de\\_Explotacion\\_de\\_Minas\\_-\\_Julian\\_Ortiz.pdf](https://www.ucursos.cl/ingenieria/2015/1/ME5703/1/foro/r/Apuntes_de_Curso_de_Explotacion_de_Minas_-_Julian_Ortiz.pdf)
- Ortiz, C. J. (2011). Métodos de explotación - Selección de método. In *Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería en Minas*.
- Paz-Zevallos, C. Z. (2019). “Selección y aplicación del método de explotación por corte y relleno ascendente, para optimizar costos en la veta gino I – Empresa Minera Minas Icas S.A.C. – ICA” [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6925/EDMcccacm.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Prado-Palomino, P. C. (2017). Evaluación del método de explotación y control de la altura de minado según las condiciones geomecánicas de la veta Daniela en la empresa especializada Comiluz SAC de Marsa. In *Tesis* (Vol. 4, Issue None). Universidad Nacional de Trujillo.
- Quispe Pilco, A. (2019). *Caracterización geológica para seleccionar el método de explotación de la eta esperanza en la mina Aguada - Carabayllo Lima* [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11777>
- Ricón Urfano, Z. A. (2014). Estudio para determinar e implementar el método de explotación en la mina Tastatasta. In *Tesis*. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Torres-Humpiri, C. V. (2019). Selección de métodos de explotación para vetas angostas. In *Tesis*. Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Velásquez Poma, D. O. (2019). *Elección del método de minado para la explotación de veta Leticia, Unidad Minera Americana - Compañía Minera Casapalca S.A.* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6368>

## ANEXOS

### Anexo 1. Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Variable Independiente:</b> Veta Nelly	a) Forma	Masivo Tabular Irregular
	b) Potencia del mineral	Estrecha < a 10m Intermedia 10 – 30m Potente 30 -100m Muy potente > a 100m
	c) Inclinación	Echado: < a 20° Intermedio: 20° - 50° Inclinado: > a 55°
	d) Profundidad desde la superficie	Pequeña: < a 150m Intermedia: 150 – 160m Alta: > a 600m
	e) Distribución de leyes	Uniforme Gradual o diseminado Errático
	f) Características geomecánicas	Resistencia de la matriz rocosa Espaciamiento entre fracturas Resistencia de las discontinuidades
<b>Variable Dependiente:</b> Selección del método de explotación subterránea	Métodos de explotación auto soportado	— Sublevel stoping — Open stoping — Cámaras y pilares
	Método de explotación soportado	— Corte y relleno — Almacenamiento provisional — Entibación con marcos
	Método de explotación mediante hundimiento.	— Hundimiento por bloques — Hundimiento por subniveles

## Anexo 2. Características geomecánicas y geométrica de la eta Nelly



Imagen (A) medición de caja techo



Imagen (B) ancho de la veta Nelly



Imagen (C) medición de la potencia



Imagen (D) medición de la potencia



Imagen (E) medición del buzamiento



Imagen (F) medición del buzamiento

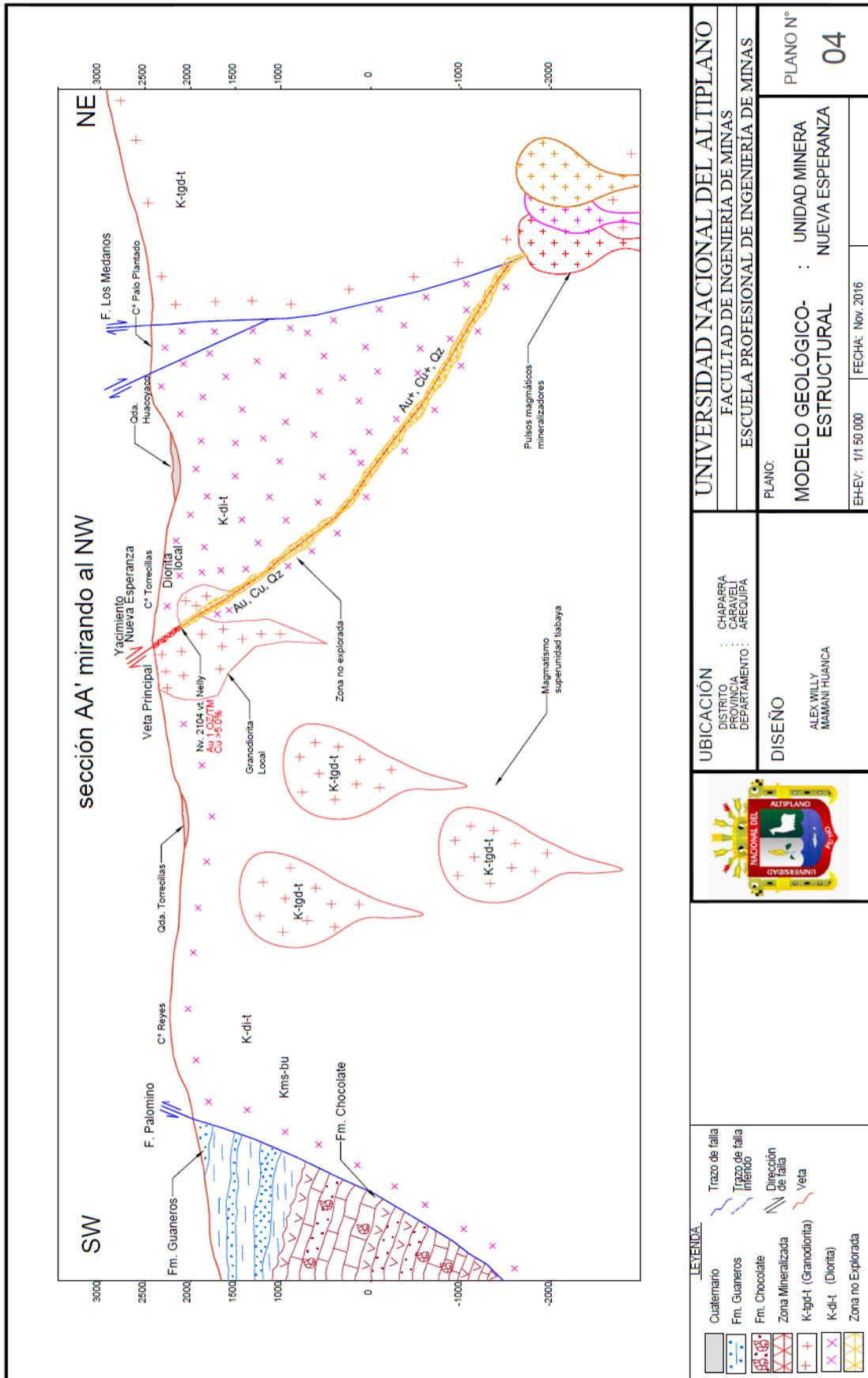


Imagen (G) medición de fracturas en la caja techo



Imagen (H) medición de fracturas en la caja piso

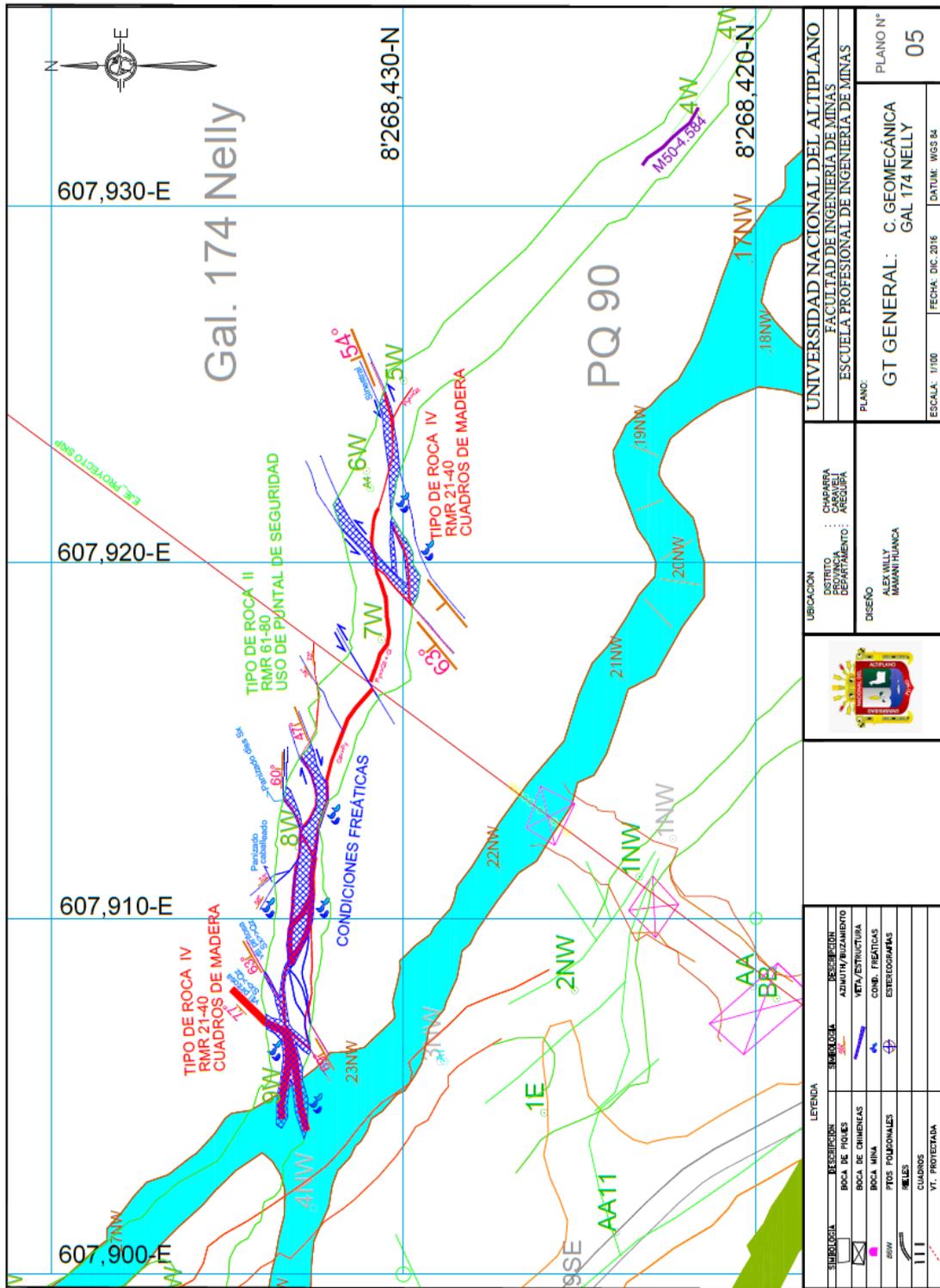
### Anexo 3. Modelo geológico estructural



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO		PLANO N°
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS		04
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS		
PLANO:		
MODELO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL		UNIDAD MINERA NUEVA ESPERANZA
EH-EV: 1/1 50 000		FECHA: Nov. 2016
UBICACIÓN		
DISTRITO : CHAPARRA		
PROVINCIA : CARAVELI		
DEPARTAMENTO : AREQUIPA		
DISEÑO		
ALEX WILLY		
MAMANI HUANCA		



Anexo 4. Geomecánica de la Galería 174 eta Nelly



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
PLANO:	
GT GENERAL: C. GEOMECÁNICA GAL 174 NELLY	PLANO N° 05
ESCALA: 1/100	FECHA: DIC. 2016 DATUM: WGS 84
UBICACIÓN: CHAPARRA, CARAVELI, AREQUIPA DISEÑO: ALEX WILLY, MARIN FUANCA	

### Anexo 5. Explotación de la veta Nelly

