



**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Ingeniería en Minas**

**Diseño y prefactibilidad de un pique en la concesión minera  
San Sebastián II, Camilo Ponce Enríquez – Azuay.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
INGENIERA EN MINAS**

**Autores:**

**Morelia Estefanía Mejía Rengel**

**Rosa Angélica Navarro Morocho**

**Tutor:**

**Carlos Federico Auquilla Terán**

**Cuenca – Ecuador**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Odalia Rengel y César Mejía, por apoyarme en cada paso y decisión que he tomado en el transcurso de mi vida, por ser los pilares fundamentales y estar siempre a mi lado, al entregarme su amor incondicional y sus palabras de aliento, las cuales me permitieron salir adelante y nunca desfallecer.

A mi hermana Odalia Mejía que siempre estuvo conmigo y me apoyó en todos los momentos de mi vida, brindándome sus mejores consejos, siempre confiando en mí y motivándome a ser mejor cada día.

A Jessica Gómez, Christian Soliz y Amanda Yunga mis mejores amigos, los cuales estuvieron siempre a mi lado, compartiendo los mejores momentos, incluso en los más complicados donde el cariño siempre perduró y la amistad se fortaleció.

A Andrés, al amor de mi vida, con la que toda ocasión vivida ha sido inolvidable y que aún en los momentos más difíciles estuvo a mi lado apoyándome y motivándome a seguir siempre adelante.

**Morelia Estefanía Mejía Rengel**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de tesis va dedicado al dador de vida, Rey de Reyes y Señor de Señores a mi Dios padre, ya que sin el nada de esto podría ser posible, él es la luz en mi vida, me ha acompañada cada segundo, me ha dado un amor incondicional y me permitió llegar a este momento.

Dios me presto una hermosa familia: mi madre Elsa, mi padre Carlos, mi hermana Erika, mi sobrina Ariana y mi cuñado Diego que han sido un pilar fundamental en este proceso universitario, ellos con su amor, sabiduría, paciencia y dedicación me han enseñado a conseguir toda meta planteada y me han impulsado a terminar este proceso.

**Rosa Angélica Navarro Morocho**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por habernos bendecido y guiado a lo largo de nuestras vidas, por estar con nosotros en cada etapa, ser nuestra luz y apoyo en momentos de fragilidad y permitirnos culminar nuestra vida universitaria.

A la Empresa Minervilla Cía. Ltda., al Sr. Joffre Chévez Chacón y a todos los ingenieros y trabajadores que conforman la empresa, por abrirnos sus puertas y permitirnos realizar esta investigación.

Al Ing. Federico Auquilla, por guiarnos y transmitir su conocimiento en el transcurso de este trabajo de titulación, que a pesar de los momentos duros que se atravesó este año el estuvo firme en su deber de tutor apoyándonos, acompañándonos y enseñándonos de la manera mas generosa y cordial.

A la escuela de Ingeniería en Minas por habernos abierto las puertas dándonos las mejores experiencias junto con excelentes profesionales que guiaron nuestra formación académica como son: Ing. Leonardo Núñez, Ing. Patricio Feijoo, Ing. Fernando Valencia, Ing. Gil Álvarez, Dr. Juan Calderón y a la Ing. Julia Martínez.

A todos nuestros compañeros y amigos que estuvieron presentes en esta etapa universitaria, dándonos buenos momentos, aventuras y aprendizajes que perduraran por toda la vida y en especial a Christian Solíz y Danny Campoverde quienes colaboraron en este trabajo.

**Estefanía Mejía – Angélica Navarro**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>3</b>
<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>3</b>
1.1 Ubicación y acceso .....	3
1.1.1 Ubicación Política .....	3
1.1.2 Ubicación geográfica .....	3
1.1.3 Acceso.....	3
1.2 Características generales de la zona de estudio .....	5
1.2.1. Descripción de la zona de estudio.....	5
1.2.2. Relieve .....	6

1.2.3. Clima.....	6
1.2.4. Hidrografía.....	6
1.3 Marco Geológico .....	7
1.3.1 Geología regional.....	7
1.3.2 Geología local .....	11
1.5 Topografía.....	13
1.5.1 Topografía superficial .....	13
1.5.2 Topografía Subterránea.....	15
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>17</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 Minería Subterránea.....	17
2.1.1. Perforación.....	17
2.1.2. Voladura.....	17
2.1.3 Método para el cálculo de la malla de perforación y voladura .....	19
2.1.4. Carguío y transporte.....	25
2.2 Geomecánica y geotecnia .....	26
2.2.1 Geomecánica.....	26
2.2.2 Geotecnia .....	27
2.3 Labores mineras en interior mina .....	28
2.3.1 Labores mineras de acceso.....	29

2.3.2 Labores mineras de preparación .....	31
2.4 Piques.....	33
2.4.1 Principios básicos utilizados para el diseño.....	34
2.4.2 Procedimiento a seguir para el diseño de un pique.....	35
2.4.3 Elementos que intervienen en el diseño del pique.....	36
2.4.4 Factores a considerar para el diseño del pique.....	37
2.4.5 Formas de la sección transversal del pique y estructura .....	37
2.4.6 Determinación de zonas inestables .....	40
2.5 Fortificación.....	45
2.5.1 Método para la determinación de la fortificación del pique .....	45
2.5.2 Materiales para la fortificación de excavaciones subterráneas .....	47
2.6 Contabilidad de costos .....	54
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>57</b>
<b>3. DISEÑO DEL PIQUE .....</b>	<b>57</b>
3.1 Datos Geomecánicos.....	57
3.2 Ciclo de construcción del pique.....	57
3.2.1 Perforación y voladura.....	57
3.2.2 Ventilación.....	59
3.2.3 Limpieza .....	60
3.2.4 Sostenimiento.....	60

3.3 Diseño geométrico para el franqueo del pique .....	61
3.4 Diseño de los procesos de perforación y voladura.....	62
3.4.1 Malla de perforación y voladura .....	65
3.5 Fortificación y/o entibado del pique. ....	67
3.5.1 Índice de calidad de túneles (Q).....	67
3.5.2 Dimensión equivalente.....	68
3.6 Utilización del pique a construir .....	71
3.6.1 Circulación del personal .....	71
3.6.2 Evacuación del material.....	72
3.6.3 Combinado.....	72
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>73</b>
<b>4. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD .....</b>	<b>73</b>
4.1 Análisis general de costos.....	73
4.1.1 Costos de perforación y voladura .....	73
4.1.2 Costos de fortificación .....	76
4.2 Costos de explotación y fortificación del pique.....	81
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 . Acceso a la Empresa Minera Minervilla Cía. Ltda. por la vía Girón – Pasaje.....	4
Figura 1.2 Acceso a la Empresa Minera Minervilla Cía. Ltda. por la vía Molleturo – Naranjal ...	5
Figura 1.3 Mapa geológico regional del sector Camilo Ponce Enríquez.....	8
Figura 1.4 Mineralización asociada con zonas de subducción de margen continental, ilustrado dentro del contexto litoestratigráfico de la cordillera occidental del Ecuador.....	11
Figura 1.5 Mapa geológico, cuerpo Gaby.....	12
Figura 1.6 Sección interpretativa, cuerpo Gaby.....	13
Figura 1.7 Representación gráfica de pendientes. ....	15
Figura 1.8 Bocamina a la concesión a la concesión minera San Sebastián II .....	16
Figura 2.1 Zonas para el proceso de voladura. modelo de Langefors y Kihlström .....	19
Figura 2.2 Esquema para el cálculo de la presión de las rocas de acuerdo a la hipótesis del profesor M.M. Protodiakonov.....	42
Figura 2.3 Esquema para el cálculo de la presión de las rocas de acuerdo a la hipótesis del profesor P.M. Tsimbareivich .....	45
Figura 2.4 Fortificación con cuadros sobre apoyos. ....	49
Figura 2.5 Fortificación con cuadros continuos.....	49
Figura 2.6 Fortificación con cuadros suspendidos.....	50
Figura 2.7 Principios de sostenimiento de pernos (en orden: cuña, viga, columna, arco).....	50
Figura 2.8 Perno de anclaje expansivo .....	51
Figura 2.9 Pernos de acero cementados con resina o cemento .....	52
Figura 2.10 Perno Split Set .....	53

Figura 3.1 Sistema Alimak .....	58
Figura 3.2 Relación de sostenimiento entre el índice Q y la dimencion equivalente. ....	68
Figura 3.3 Q vs. SPAN/ESR.....	69
Figura 3.4 Materiales de fortificación.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ubicación geográfica de la Empresa Minera Minervilla Cía. Ltda. ....	3
Tabla 1.2 Pendientes de la Empresa Minera Minervilla. ....	14
Tabla 1.3 Coordenadas pique actual - Tabla 1.4 Coordenadas pique a construir .....	16
Tabla 2.1 Valores de ESR. ....	46
Tabla 3.1 Datos para el cálculo de la malla de perforación y voladura .....	62
Tabla 3.2. Datos generales .....	62
Tabla 3.3 Cálculos cuele Zona A, primer cuadro .....	63
Tabla 3.4 Cálculos arranque Zona A, segundo cuadro .....	63
Tabla 3.5 Cálculos ayudas Zona A, tercer cuadro .....	63
Tabla 3.6 Cálculos ayudas Zona A, cuarto cuadro .....	63
Tabla 3.7 Cálculos para la malla de perforación y voladura, Zona B.....	63
Tabla 3.8 Carga total de explosivos .....	64
Tabla 3.9 Valores específicos - Tabla 3.10 Límites del consumo específico teórico .....	64
Tabla 3.11 Valor de ESR. ....	67
Tabla 3.12 Tipos de fortificación según su categoría. ....	69
Tabla 3.13 Especificaciones a la tabla 9. ....	70
Tabla 4.1 Costo de mano de obra por metro de avance. ....	73
Tabla 4.2 Costo de perforación por metro de avance. ....	74
Tabla 4.3 Costo de voladura por metro de avance.....	74
Tabla 4.4 Coto de alquiler sistema Alimak por metro de avance. ....	75
Tabla 4.5 Costo total del metro de avance. ....	75
Tabla 4.6 Costo total de construcción del pique. ....	75

Tabla 4.7 Costo mano de obra por perno colocado. ....	76
Tabla 4.8 Costo alquiler sistema Alimak por perno colocado. ....	76
Tabla 4.9 Costo de perforación para instalación de perno Split Set .....	77
Tabla 4.10 Costo total de perno colocado.....	77
Tabla 4.11 Costo total de colocación de pernos Split Set.....	77
Tabla 4.12 Costo de malla electrosoldada por m <sup>2</sup> .....	78
Tabla 4.13 Costo total de instalación de malla electrosoldada. ....	78
Tabla 4.14 Costo de mano de obra de hormigón lanzado por m <sup>2</sup> de avance. ....	79
Tabla 4.15 Costo de maquinaria para colocación de hormigón lanzado por m <sup>2</sup> de avance.....	79
Tabla 4.16 Costo de materiales para hormigón lanzado por m <sup>2</sup> de avance. ....	80
Tabla 4.17 Costo total de colocación de hormigón lanzado. ....	80
Tabla 4.18 Costo total de fortificación del pique.....	81
Tabla 4.19 Costo total de explotación y fortificación del pique. ....	81

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Topografía Subterránea Vista Superior .....	88
Anexo 2 Topografía subternea vista frontal .....	89
Anexo 3 Tipo de fortificación según sus categorías .....	90
Anexo 4 Fotos .....	93

**DISEÑO Y PREFACTIBILIDAD DE UN PIQUE EN LA CONCESIÓN MINERA SAN  
SEBASTIÁN II, CAMILO PONCE ENRÍQUEZ – AZUAY**

**RESUMEN**

Este estudio abordó la planificación y diseño de un pique vertical que conecte los niveles cero y cinco de la concesión minera San Sebastián II, enfocándose en el estudio de su pre factibilidad y el diseño técnico- económico, presentando la posibilidad de una ampliación futura

Para el planteamiento del franqueo del pique se estudió la calidad de la roca, por lo que se proyectó ejecutar una perforación ascendente con la ayuda de la jaula trepadora Alimak, una malla de perforación y un sistema de voladura.

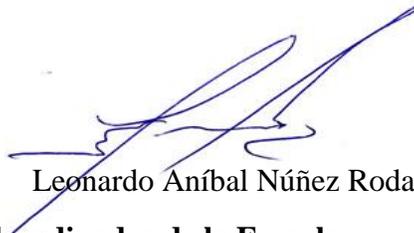
Sobre la base de la información obtenida y los datos calculados, se analizó las variables que intervinieron directamente en los costos de construcción del pique, entre ellos: mano de obra, maquinaria, perforación, voladura y fortificación; observando de esta manera que las propiedades geomecánicas del macizo rocoso y la evaluación económica para la construcción técnico - económico - teórico del pique, son viables.

**Palabras clave:** Fortificación, perforación, pique, prefactibilidad económica, voladura.



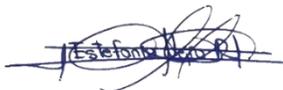
Carlos Federico Auquilla Terán

**Director del trabajo de Titulación**



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Coordinador de la Escuela**



Morelia Estefanía Mejía Rengel

**Autora**



Rosa Angélica Navarro Morocho

**Autora**

**DESIGN AND PRE-FEASIBILITY OF A SHAFT IN THE MINING CONCESSION SAN SEBASTIÁN II, CAMILO PONCE ENRÍQUEZ - AZUAY**

**ABSTRACT**

This study addressed the planning and design of a vertical shaft connecting levels zero and five of the San Sebastian II mining concession. It focused on the study of its pre-feasibility and technical-economic design, presenting the possibility of future expansion.

For the approach of the shaft franking, the quality of the rock was studied. So, it was planned to execute an upward drilling with the help of the Alimak climbing cage, a drilling mesh and a blasting system.

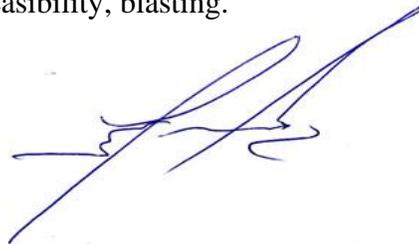
On the basis of the information obtained and the data calculated, the variables that directly intervened in the costs of construction of the shaft were analyzed, among them: labor, machinery, drilling, blasting and fortification. Observing in this way that the geomechanical properties of the rock mass and the economic evaluation for the technical - economic - theoretical construction of the shaft, were viable.

**Keywords:** Fortification, drilling, shaft, economic pre-feasibility, blasting.



Carlos Federico Auquilla Terán

**Thesis Director**



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Faculty Coordinator**



Morelia Estefanía Mejía Rengel

**Author**



Rosa Angélica Navarro Morocho

**Author**

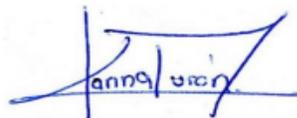
Translated by



Morelia Estefanía Mejía Rengel



Rosa Angélica Navarro Morocho



Morelia Estefanía Mejía Rengel

Rosa Angélica Navarro Morocho

Trabajo de Titulación

Ing. Carlos Federico Auquilla Terán

Enero, 2021

**DISEÑO Y PREFACTIBILIDAD DE UN PIQUE EN LA CONCESIÓN MINERA SAN  
SEBASTIÁN II, CAMILO PONCE ENRÍQUEZ – AZUAY**

**INTRODUCCIÓN**

La actividad minera a pequeña escala ha evolucionado paulatinamente, tanto a cielo abierto como la minería subterránea. Esto ha hecho que mejore en el aspecto técnico, económico, social y ambiental; lo que ha conllevado a adelantos económicos con el fin de renovar sus procesos para que estos sean más eficientes.

El presente trabajo está enfocado en analizar la pre factibilidad y diseño de construcción de un nuevo pique que pueda unir el nivel cero, cuya cota es 142.38 m s. n. m., hasta llegar al nivel cinco, cuya cota es -116.82 m s. n. m., en la concesión minera San Sebastián II, que actualmente se encuentra operada por la empresa Minervilla Cía. Ltda., la cual está ubicada en la provincia del Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez.

La concesión minera San Sebastián II, se encuentra expandiendo sus labores subterráneas por lo cual, brinda la oportunidad de realizar este estudio de campo; puesto que, el pique que se encuentra actualmente en funcionamiento en un futuro será obsoleto por la limitada capacidad de

profundización, debido a que las condiciones geo mecánicas y técnicas de la roca impiden llegar al nivel cinco y a futuros niveles que se planea avanzar.

De esta manera, el nuevo pique se ubicará en un lugar estratégico, el cual permitirá que sea más eficiente, optimizando así el tiempo, costos, transporte de mineral y circulación del personal, con base a un estudio técnico y económicamente rentable para la mina. Por lo tanto, con el resultado de ello se pudo analizar los costos unitarios de cada proceso que interviene en el franqueo del pique y así calcular el costo total de la construcción del mismo, que junto con datos geo mecánicos, geométricos y costos de fortificación dieron como resultado la factibilidad técnica y económica de su franqueo.

## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1 Ubicación y acceso

##### 1.1.1 Ubicación política

La concesión minera Sebastián II pertenece a la empresa minera MINERVILLA Cía. Ltda., se encuentra ubicada en el suroccidente de la provincia del Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez y parroquia del mismo nombre, localizada en el sector río Villa a 184 Km de la ciudad de Cuenca.

##### 1.1.2 Ubicación geográfica

El área minera se encuentra delimitada por los siguientes vértices en coordenadas UTM PSAD 56, como se puede observar en la Tabla 1.1 y la cual tiene una superficie de 37.26 Ha.

Tabla 1.1 Ubicación geográfica de la Empresa Minera Minervilla Cía. Ltda.

Punto	Coordenadas UTM DATUM PSAD 56	
	X	Y
<b>PP</b>	641000	9662350
<b>1</b>	641000	9662590
<b>2</b>	642000	9662590
<b>3</b>	642000	9662740
<b>4</b>	642340	9662740
<b>5</b>	642340	9662350

Fuente: (Informe de producción de la Empresa Minervilla, 2018)

##### 1.1.3 Acceso

Para acceder a la concesión minera, partiendo desde la ciudad de Cuenca existen dos alternativas:

La primera, mediante la vía Girón – Pasaje, hasta llegar a la “Y” de la ciudad de Machala, luego se toma la panamericana E25, que conduce a la Ciudad de Guayaquil. Esta vía se encuentra en

buen estado y con la señalización correspondiente. Se continúa por esta vía hasta llegar al parque central del Cantón, posterior a esto se toma un camino de segundo orden denominado General Villa, que pertenece al Barrio Buenos Aires, hasta llegar al sector Río Villa, en donde se encuentra la Empresa Minera.

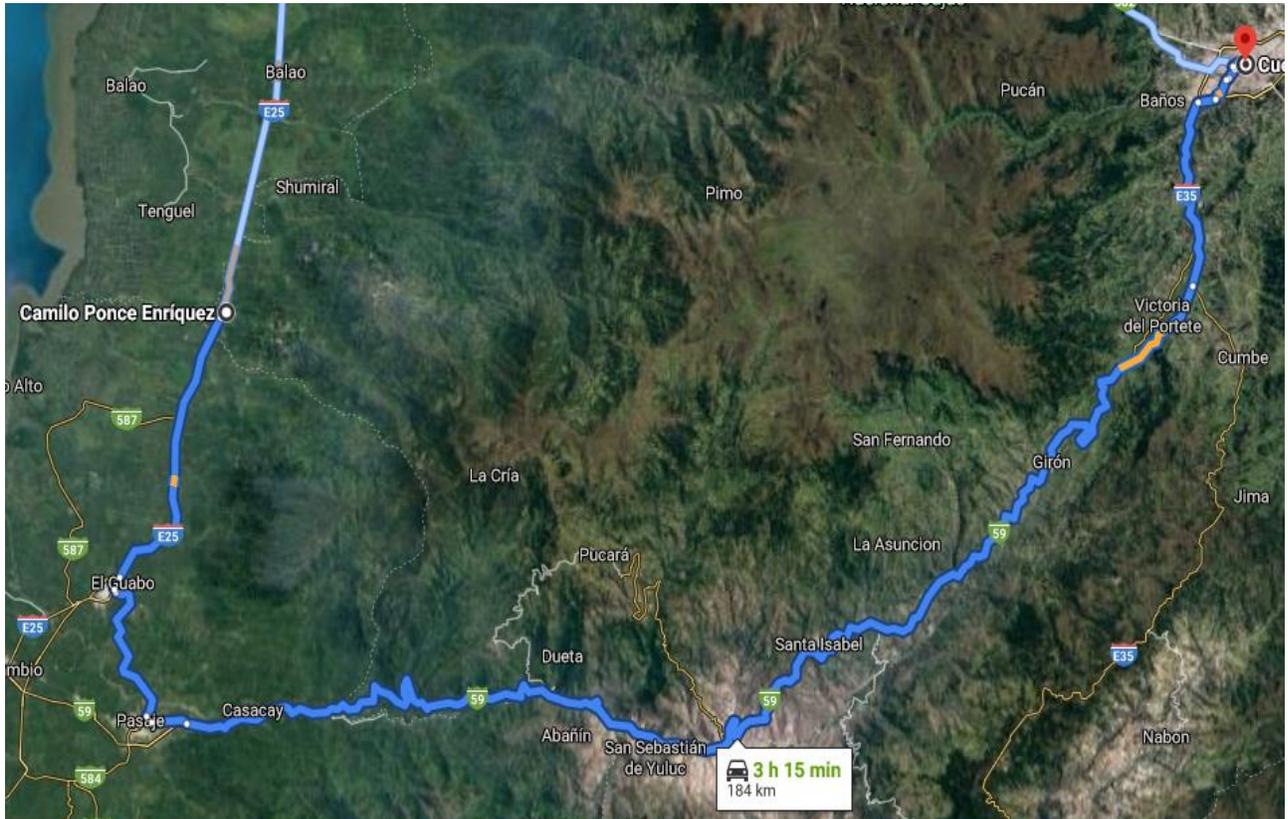


Figura 1.1 . Acceso a la Empresa Minera Minervilla Cía. Ltda. por la vía Girón – Pasaje.

Fuente: Autoría propia

La segunda, a través de la vía Molleturo – Naranjal, la cual se encuentra asfaltada y con la señalización correspondiente, luego se toma la Panamericana E25 que conduce a la ciudad de Machala, hasta llega a la calle Azuay que cruza el barrio Buenos Aires, del cantón Camilo Ponce Enríquez, seguidamente se toma la vía General Villa, hasta llegar al área minera.

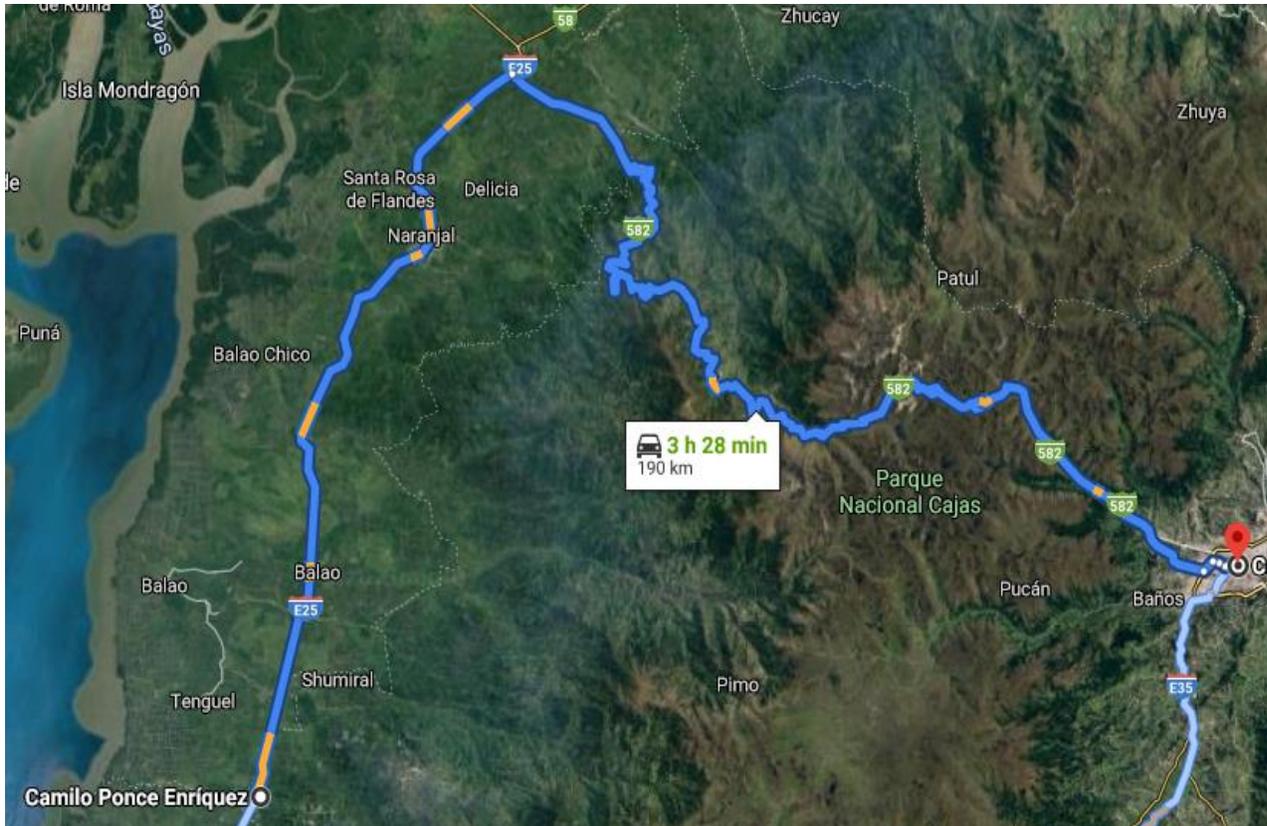


Figura 1.2 Acceso a la Empresa Minera Minervilla Cía. Ltda. por la vía Molleturo – Naranjal

Fuente: Autoría propia

## 1.2 Características generales de la zona de estudio

### 1.2.1. Descripción de la zona de estudio

Camilo Ponce Enríquez es un cantón azuayo con una alta tasa de actividad minera, la producción en esta zona se centra en extracción de oro, plata y cobre, lo que genera grandes ingresos para el país.

La concesión minera San Sebastián II, perteneciente a la empresa minera Minervilla Cía. Ltda., trabaja bajo el régimen de pequeña minería. Su actividad se centra principalmente en la explotación de oro por el método de corte y relleno, este método se usa debido a que las condiciones

morfológicas y geo mecánicas de la roca son favorables, por lo que es económica y ambientalmente rentable.

### **1.2.2. Relieve**

Según el informe de producción del año 2018 de la Empresa Minervilla Cía. Ltda. el relieve de la zona de estudio posee altitudes que van desde los 43 m s. n. m en la cabecera cantonal hasta los 3680 m s. n. m en la parte superior alta. El cantón cuenta con una topografía regular en la parte baja en donde se encuentra la mayor población del cantón y una topografía irregular con pendientes pronunciadas en donde se encuentran comunidades con gran atractivo turístico como: Bella Rica, San Gerardo y La Unión.

### **1.2.3. Clima**

De acuerdo al informe de producción del año 2018 de la Empresa Minervilla Cía. Ltda., Camilo Ponce Enríquez tiene un clima tropical, subtropical y húmedo. Durante el verano se cuenta con gran cantidad de lluvia, mientras que en el invierno las lluvias son muy escasas. La temperatura media anual se encuentra en un 25.1 °C y la precipitación promedio es de 877 mm.

### **1.2.4. Hidrografía**

El cantón Camilo Ponce Enríquez está ubicado dentro de 5 cuencas hidrográficas, estas se desprenden de la cordillera de Los Andes hasta desembocar en el Océano Pacífico y el Golfo de Guayaquil. Formando 3 ríos: el Río Jagua, Río Amarillo y Río Baboso. El más importante el Río Jagua, ya que en este se ubica aproximadamente la quinta parte del territorio de Ponce Enríquez (12660 ha).

### **1.3 Marco geológico**

Para el marco geológico se obtuvo la siguiente información basada en el informe de producción del año 2018 de la Empresa Minervilla Cía. Ltda.:

#### **1.3.1 Geología regional**

Las minas ubicadas en Camilo Ponce Enríquez están situadas en la Cordillera Occidental dentro del sub-distrito Machala –Naranjal en donde se desarrollan rocas de arco volcánico de composición basáltica, pertenecen a la Unidad Pallatanga. Generalmente en esta zona existen depósitos de Cobre (Cu), Oro (Au) y Molibdeno (Mo), brechas y “Stock Works” epitermales.

Las principales mineralizaciones de la zona de San Sebastián II ocurren en los ambientes de corteza oceánica Pallatanga la cual se acrecionó a la corteza continental a finales del Cretácico. Las rocas de Pallatanga son de color verde oscuro, muy duras y con escasos cristales bien desarrollados; es masiva y generalmente muy fracturada, excepto cuando se presenta en textura almohadillada. Estas rocas son ricas en minerales ferro-magnesianos y pobre en feldespatos potásicos.

El margen Oeste de la cordillera Occidental está controlado por la falla regional de tendencia NE y fallas transcurrentes NW, las mismas que controlan los principales sistemas de drenaje y constituyen ambientes favorables para la ocurrencia mineralizada, principalmente de tipo hidrotermal.



### **1.3.1.1 Litoestratigrafía**

Las características de las rocas que comprenden el área de estudio se describen a continuación:

La Unidad Pallatanga (KPa), aflora en la parte Noroeste de la Hoja Machala, dentro de la Cordillera Occidental. Cuenta con una secuencia de rocas máficas y ultrámáficas, rocas de composición basáltica que comprenden: areniscas volcánicas, las turbiditas de la Unidad Yunguilla y rocas volcánicas y volcano-clásticas del Grupo Saraguro constituidas por dioritas y granodioritas. Los campos mineros que están dentro de esta unidad son: Muyuyacu, San Sebastián II y San Salvador.

Según Kerr (2002), Hughes R y Pilatasig L (2002), citados por López (2017) mencionan que se ha indicado que la base de la Cordillera Occidental, está formada por rocas provenientes de una variedad de eventos tectónicos marinos que involucran a la corteza oceánica. Se Considera que la Unidad Pallatanga fue incorporada a la margen continental, durante un largo proceso de acreción desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno.

La Unidad Yunguilla (KY), esta zona aflora junto a la Unidad Natividad debido al contacto tectónico que tienen. Grandes afloramientos existen a lo largo de las vías de segundo y tercer orden que conforman esta unidad.

La Unidad Yunguilla cuenta con una secuencia plegada de limolitas negras finamente estratificadas, limolitas masivas gris oscuras, areniscas feldespáticas que contiene cuarzo deformado, lutitas físisles, cuarzo estriados de origen metamórfico. Aquí las rocas fragmentadas como evidencia de volcanismo contemporáneo. (Cárdenas & Gavilanes, 2018)

Según Jaillard et al., 1996, recuperado de Sarango (2017), la Unidad Celica aflora bajo la Unidad Sacapalca y del complejo metamórfico El Oro, no se encuentra dentro del área de estudio, pero es importante mencionarla debido a la cercanía y relación que tiene con la zona de interés.

La litología tiene una secuencia de tobas andesíticas y dacitas muy meteorizadas y lavas andesíticas a andesita-basálticas.

La Unidad Sacapalca aflora en el sinclinal de Chuquiribamba, al Norte de Catamayo, al igual que la Unidad Celica no pertenece a nuestra zona de estudio, sin embargo, es importante y está dentro de la lito estratigrafía de la zona. “La unidad comprende lavas andesíticas, brechas tobáceas, conglomerados, lutitas lacustres y tobas dacíticas esparcidas”. (Cárdenas & Gavilanes, 2018)

La Unidad Macuchi, esta área se encuentra como fallas del Grupo Angora, en donde predominan rocas volcanoclásticas. Las litologías dominantes son areniscas volcánicas, tobas basálticas y hialoclastitas primarias y re trabajadas, lavas basálticas y andesíticas. Las más abundantes son las tobas primarias con texturas vitroclásticas. El afloramiento de esta unidad comprende alrededor del 15 % de la Cordillera Occidental en donde la mayor parte de facies se dan como resultado de la actividad volcánica sub acuosa efusiva.

Grupo Angamarca, aflora al noroeste de la provincia del Azuay, se encuentra limitado por fallas de las unidades: Pallatanga y Macuchi. Su litología predominante son areniscas, siltitas y argilitas turbidíticas con intercalaciones de tobas intermedias.

Grupo Saraguro, comprende rocas de composición volcánica desde ácidas a intermedias, andesíticas a riolíticas y lavas con rocas sedimentarias. Dentro de este grupo se pueden identificar tres composiciones:

1. Tobas andesíticas verdes que contienen plagioclasas, anfíbol y cristales de augita.
2. Tobas dacíticas que contienen cristales de feldespato ( $\pm$  anfíboles), algunos cristales de cuarzo en una matriz verde clara, rosada o marrón.

3. Tobas riolíticas blancas, café claras o rosadas. Las más dominantes son las de textura vitroclástica.

### 1.3.2 Geología local

El Ministerio de Geología y Minas, citado por Vega (2013), menciona que, la parte sur occidental del distrito del Azuay, es conocido por sus depósitos de Cu, Au, Mo en pórfidos y en vetas, brechas y stockworks epi-mesotermales desarrollados dentro de las rocas de caja volcánica y que están especialmente relacionada con pórfidos.

La zona de estudio, en donde está ubicada la empresa minera, se observó, que está comprendida netamente de rocas ígneas, en donde predominan rocas volcánicas, las cuales se caracterizan por una composición basáltica, como se puede observar en la figura 1.4.

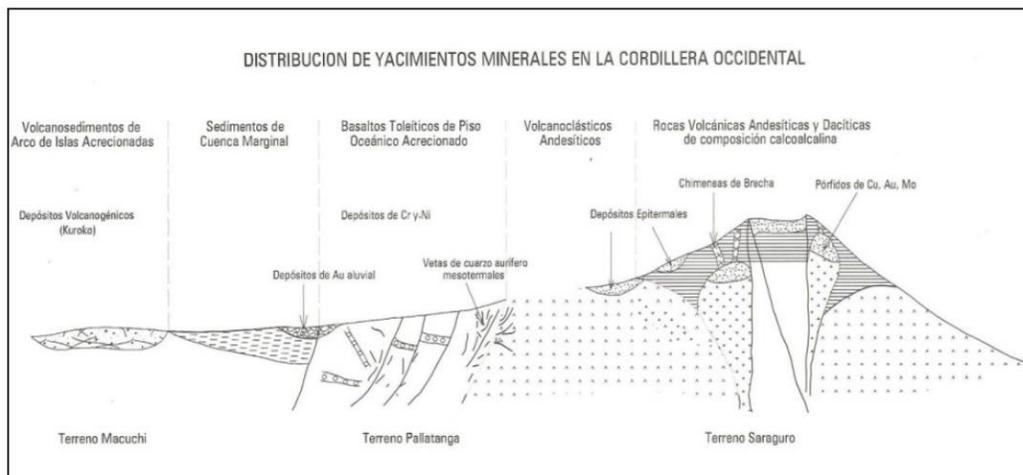


Figura 1.4 Mineralización asociada con zonas de subducción de margen continental, ilustrado dentro del contexto litoestratigráfico de la cordillera occidental del Ecuador.

Fuente: (Vega, 2013)

El informe de producción del año 2016 de la empresa Minervilla Cía. Ltda. Afirma que, Las rocas basálticas que afloran en el Rio Villa, presentan una ligera diseminación de pirita, la cual se intensifica al igual que su coloración que se torna más oscura. Las vetas y vetillas presentes en esta

litología, están constituidas principalmente de cuarzo aurífero y otras vetillas que pueden tratar de aplitas, que son asociadas igualmente con sulfuros, especialmente la pirita.

Como se muestra en la figura 1.5 la mineralización se emplaza en varios pulsos donde parece estar asociada principalmente a estructuras, litologías y alteraciones. Las vetas y vetillas que atraviesan las brechas, son ricas en mineralización especialmente de oro, aunque en algunos sectores se van empobreciendo paulatinamente. (Cárdenas & Gavilanes, 2018)

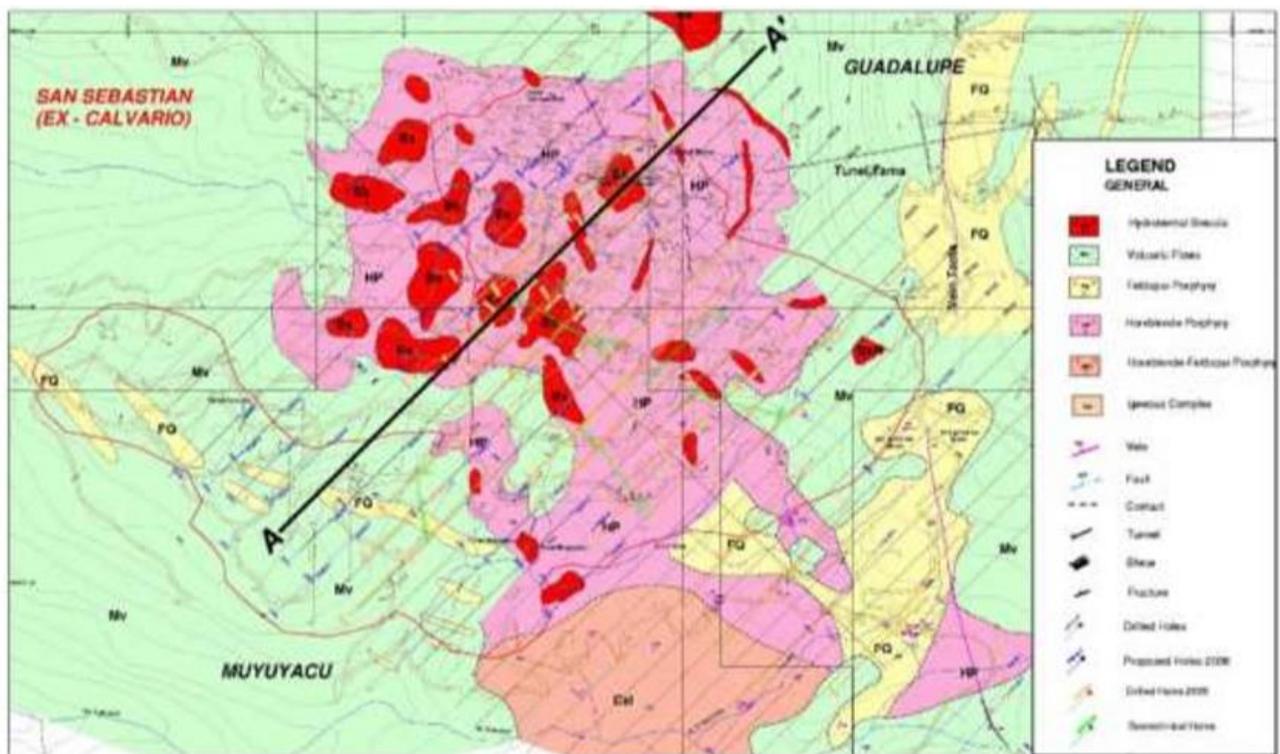


Figura 1.5 Mapa geológico, cuerpo Gaby

Fuente (Informe de producción de la Empresa Minervilla, 2018)

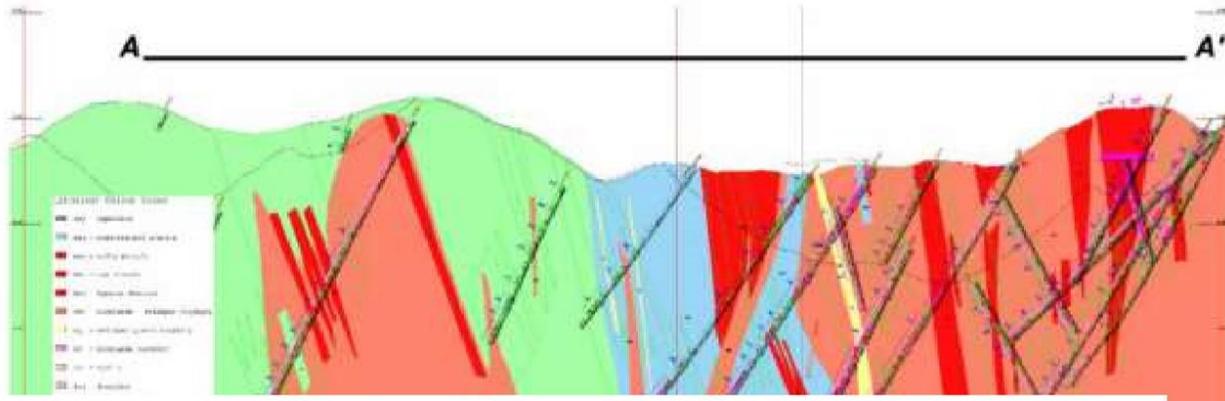


Figura 1.6 Sección interpretativa, cuerpo Gaby

Fuente: (Informe de producción de la Empresa Minervilla, 2018)

## 1.5 Topografía

### 1.5.1 Topografía superficial

La empresa minera Minervilla Cía. Ltda., está formada por numerosas concesiones entre ella la concesión de interés San Sebastián II en donde se desarrolla este estudio. Toda la empresa comprende 37.26 hectáreas contiguas, cuenta con una topografía irregular con cotas que van desde los 110 hasta los 422 m.s.n.m. Entre las principales características topográficas en la superficie del área se encuentra el Río Villa, mismo que pasa por la parte Noreste del área y tiene como afluentes a varias quebradas de bajo caudal tanto a la ribera izquierda, así como a la ribera derecha del río. (Sarango, 2017)

En la parte interior de la empresa encontramos la infraestructura, tomando como punto de referencia boca mina, en la parte izquierda encontramos el taller mecánico, casa de máquinas y la zona donde se colocan los desechos bio peligrosos, mientras que en la parte derecha encontramos la bodega, zona de reciclaje, las oficinas de producción, seguridad y medio ambiente, el centro médico, la cocina, en el pasillo que comprende las oficinas se encuentra el comedor y las canchas; en la parte trasera se encuentran los baños, las duchas y los dormitorios. En la parte baja

encontramos la escombrera y junto a esta se ubica la caseta en donde se preparan los explosivos y el polvorín. Para llegar a la empresa minera existe una sola vía interna de acceso y otra que se encuentra en el contorno de la mina y conecta con las minas cercanas a esta.

Las elevaciones más pronunciadas se manifiestan en la parte Sureste del área, sector en donde se evidencia la mayor cota la cual corresponde a 422 metros sobre el nivel del mar. (Sarango, 2017). Se ha utilizado la clasificación de Demek, 1972, para poder definir las pendientes de la zona de estudio que se encuentran en el siguiente cuadro:

Según los resultados se puede observar que la zona de estudio cuenta con pendientes planas y también verticales.

Las pendientes que representan una mayor área son las pendientes muy inclinadas con 60.36 %, ocupando 22.49 ha. Siguiendo a estas van las pendientes empinadas que ocupan 8.03 ha, representando un 21.56 % del área total. Después de estas tenemos las pendientes fuertemente inclinadas las cuales representan un 17.46 % de área, que abarcan 6.51 ha. Las pendientes que representan un área menor son las planas, ligeramente inclinadas y verticales dando un 0.62 % del área total.

Tabla 1.2 Pendientes de la Empresa Minera Minervilla.

<b>Rango (°)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>0 – 2</b>	Plano (planicie)	0.077	0.206
<b>2 – 5</b>	Ligeramente inclinado	0.05	0.133
<b>5 – 15</b>	Fuertemente inclinado	6.505	17.46
<b>15 – 35</b>	Muy in°clinado	22.491	60.363
<b>35 – 55</b>	Empinado	8.033	21.558
<b>55 – 67.78</b>	Vertical	0.104	0.279

Fuente: (Informe de producción de la Empresa Minervilla, 2018)

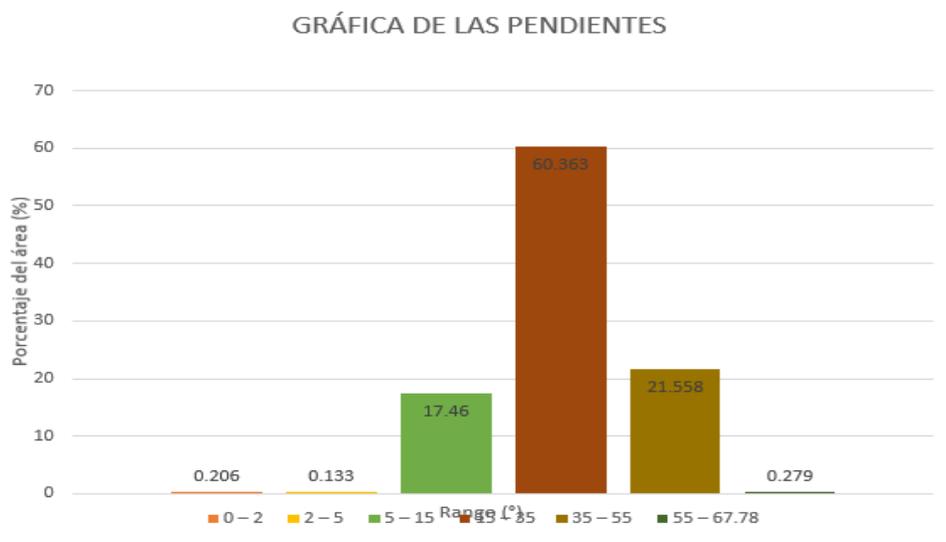


Figura 1.7 Representación gráfica de pendientes.

Fuente: (Informe de producción de la Empresa Minervilla, 2018)

### 1.5.2 Topografía subterránea

La bocamina de la empresa Minervilla se encuentra en las coordenadas UTM/PSAD 56: 641207.359 / 9662445.075 Z = 142.38 m., con las siguientes dimensiones: de altura, 2.40 m. y de ancho 1.65 m. (Ver figura 1.8). De acuerdo a la normativa vigente del Reglamento de Salud y Seguridad en el trabajo en el ámbito minero está fortificada con hormigón armado en sus primeros 17 metros y conforme se va avanzando se puede observar que existe fortificación en áreas que lo necesitan.



Figura 1.8 Bocamina a la concesión a la concesión minera San Sebastián II

Fuente: Autoría propia

Desde la bocamina hacia el inicio de la galería denominada Rosita Sur, existen 615.37 m. de distancia, de ahí se recorre 97.98 m., para llegar al punto en donde se va a realizar el franqueo del nuevo pique.

Como se pudo observar en la topografía (ver Anexo 1), el pique que actualmente se encuentra en funcionamiento está ubicado en el cruce Pique Milo, a una distancia de 49.30 m. de la galería principal, considerando que la distancia desde este punto hasta la boca mina es de 467.23 m.

Tabla 1.3 Coordenadas pique actual

<b>Coordenadas Pique Anterior</b>	
<b>UTM/PSAD 56</b>	
<b>X</b>	641796.055
<b>Y</b>	9662565.926
<b>Z</b>	142.38 m.

Fuente: (Informe de producción de la Empresa Minervilla, 2020)

Tabla 1.4 Coordenadas pique a construir

<b>Coordenadas Pique Nuevo</b>	
<b>UTM/PSAD 56</b>	
<b>X</b>	641701.284
<b>Y</b>	9662491.148
<b>Z</b>	142.38 m.

Fuente: (Informe de producción de la Empresa Minervilla, 2020)

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Minería subterránea**

La minería subterránea es la encargada de la explotación de los minerales que se encuentran por debajo de la tierra, dentro de esta, una labor importante es la construcción de piques mineros para facilitar el transporte del mineral (útil y estéril) de los diferentes frentes de trabajo hacia la superficie.

Dentro de la minería subterránea en la construcción ya sea de piques, chimeneas, galerías mineras intervienen las operaciones unitarias de perforación, voladura y carguío y transporte

##### **2.1.1. Perforación**

La función principal de la perforación radica en la fragmentación del material, generando espacios dentro de la roca que será removida para la colocación del explosivo. También la perforación ayuda en muchas ocasiones a conocer mejor las leyes y dureza del macizo rocoso.

Según el método mecánico la perforación se puede clasificar en: perforación rotopercutiva y perforación rotativa. En nuestro caso de estudio se realizará el análisis del tipo de roca para la elección del método de perforación.

##### **2.1.2. Voladura**

La voladura es una de las operaciones importante de la minería subterránea su función principal es romper la roca de una manera eficaz, eficiente y económica, esto dependerá al 100 % de su sistema de voladura. Se produce una onda de choque dentro de la roca para así poder romperla y disminuir su tamaño.

El proceso de voladura consiste en cargar con explosivos los pozos o huecos generados en la perforación, con el objetivo de fragmentar la roca a tamaños manejables por los equipos mineros. La fragmentación de rocas requiere de aplicación de energía, la cual se obtiene, en casi todos los casos, a partir de una reacción química resultante de hacer detonar cargas explosivas insertas en el macizo rocoso. El material tronado debe cumplir con una granulometría y una disposición espacial apta para los posteriores procesos asociados. (Rojas, 2009)

En esta operación es importante percatarse que el material que quede colgado este lo menos fragmentado posible para evitar caídas de rocas. Esta acción se realiza mediante el uso de explosivos.

Para establecer el sistema de voladura eficiente se consideran los siguientes parámetros:

1. Parámetros de la roca

Propiedades físicas como: densidad, dureza, porosidad, etc.

Propiedades elásticas o de resistencia

Condición geológica de roca.

2. Parámetro de los explosivos

Propiedades físicas o químicas como: densidad, velocidad de detonación, energía del explosivo, volumen de gases, etc.

3. Parámetro de carga

Dependen del diseño de la malla de perforación y voladura en donde se debe considerar: diámetro del taladro, longitud del barreno, confinamiento, acoplamiento, densidad y longitud de la carga, etc.

Burden y espaciamiento

### 2.1.3 Método para el cálculo de la malla de perforación y voladura

Para realizar la malla de perforación se utilizó el método de Langefors y Kilhström, el cual fue postulado en 1963. Este modelo matemático, es una propuesta y puede ser variable, hasta el punto de llegar a ser modificado y perfeccionado.

Este método consta de varios cuadros, como se puede observar en la ilustración

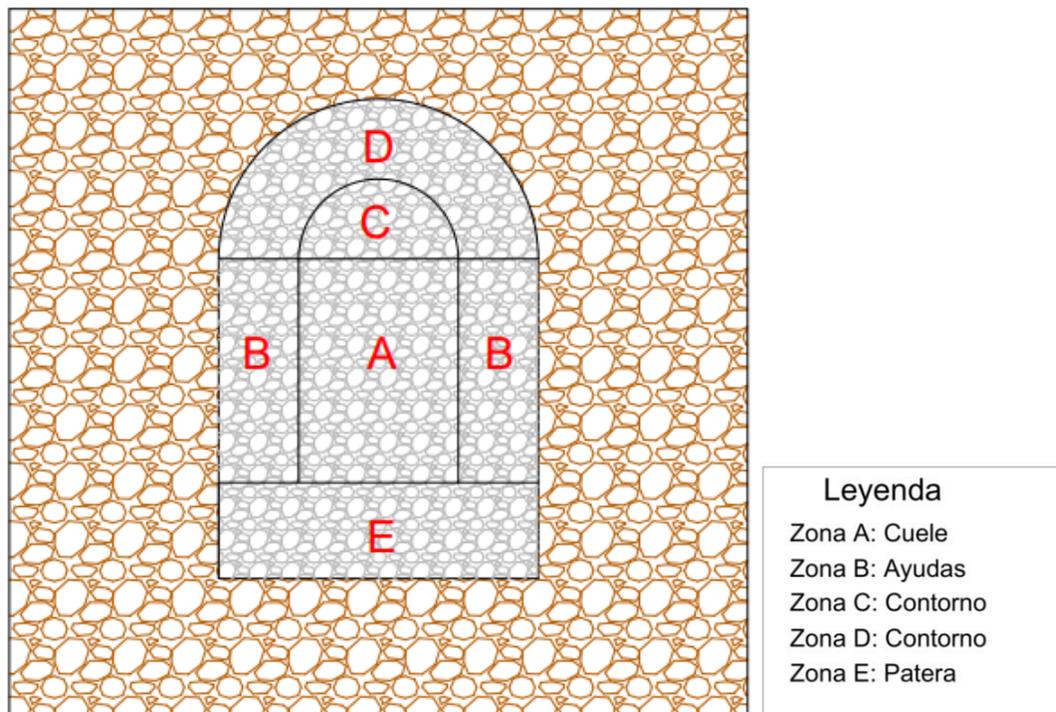


Figura 2.1 Zonas para el proceso de voladura. Modelo de Langefors y Kilhström

Fuente: Autoría propia

Para determinar, cada zona necesitamos establecer valores previos, como son:

$$\phi = \phi_o \sqrt{2}$$

$$L_{\text{máx}} = \frac{\pi x (\phi_o)^2}{4} x \delta$$

$$H_{m\acute{a}x} = 0.15 + 34.1 \phi - 39.1 \phi^2$$

$$H_{real} = 0.85 \times H_{m\acute{a}x}$$

$$s = \frac{\delta \times v \rightarrow Explosivo}{\delta \times v \rightarrow Dinamita}$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \Delta \times H_{real}$$

Donde:

$\phi$  = Diámetro de perforación (m).

$L_{m\acute{a}x}$  = Densidad lineal máxima  $\left(\frac{kg}{m}\right)$ .

→ Se debe calcular para carga de columna y carga de fondo

$H_{m\acute{a}x}$  = Avance máximo (m).

$H_{real}$  = Avance real (m).

$s$  = Factor fuerza del explosivo (adimensional).

$\delta$  = Densidad del explosivo y de la dinamita respectivamente  $kg/m^3$ .

$v$  = Velocidad de detonación del explosivo y dinamita respectivamente  $\left(\frac{m}{s}\right)$ .

$\Delta_{m\acute{a}x}$  = Desviación máxima  $\left(\frac{cm}{m}\right)$ .

### 2.1.3.1 Zona A

Para desarrollar la zona A, se calcularán cuatro cuadros con dos barrenos vacíos en el centro. Para esto se ocuparán las siguientes fórmulas, en donde el procedimiento es el mismo para cada cuadro perteneciente al cuadro A.

En donde:

$$V_n = \text{Piedra teórica (m)}.$$

$$l_n = \text{Longitud de perforación (m)}.$$

$$V_n'' = \text{Piedra real (m)}.$$

$$B_n = \text{Burden (m)}.$$

$$Q_n = \text{Carga} \left( \frac{\text{kg}}{\text{barreno}} \right).$$

### Primer cuadro o zona A

$$V_1 \leq 2\phi$$

$$l_1 = 55 \times d \times \left( \frac{V_1}{\phi} \right)^{1.5} \times \left( V_1 - \frac{\phi}{2} \right) \times \left( \frac{c}{0.4} \right) \times \left( \frac{1}{s} \right)$$

$$V_1'' = V_1 - \Delta_{\text{máx}}$$

$$B_1 = V_1'' \times \sqrt{2}$$

$$Q_1 = l_1 \times H_{\text{real}}$$

### Segundo cuadro o zona A

$$0.5 B_1 \leq V_2 \leq 2B_1$$

$$l_2 = \frac{32.3 \times d \times c \times V_2}{s \left\{ \sin \left[ \tan^{-1} \left( \frac{B_1}{2V_2} \right) \right] \right\}^{1.5}}$$

$$V_2'' = V_2 - \Delta_{\text{máx}}$$

$$B_2 = \left( V_2'' + \frac{B_1}{2} \right) x \sqrt{2}$$

$$Q_2 = l_2 x H_{real}$$

### Tercer cuadro o zona A

$$0.5 B_2 \leq V_3 \leq 2B_2$$

$$l_3 = \frac{32.3 x d x c x V_3}{s \left\{ \sin \left[ \tan^{-1} \left( \frac{B_2}{2V_3} \right) \right] \right\}^{1.5}}$$

$$V_3'' = V_3 - \Delta_{m\acute{a}x}$$

$$B_3 = \left( V_3'' + \frac{B_2}{2} \right) x \sqrt{2}$$

$$Q_3 = l_3 x H_{real}$$

### Cuarto cuadro o zona A

$$0.5 B_3 \leq V_4 \leq 2B_3$$

$$l_4 = \frac{32.3 x d x c x V_4}{s \left\{ \sin \left[ \tan^{-1} \left( \frac{B_3}{2V_4} \right) \right] \right\}^{1.5}}$$

$$V_4'' = V_4 - \Delta_{m\acute{a}x}$$

$$B_4 = \left( V_4'' + \frac{B_3}{2} \right) x \sqrt{2}$$

$$Q_4 = l_4 x H_{real}$$

### 2.1.3.2 Zona B o cuadradores

$$f = 1.45$$

$$\frac{E}{V} = 1.25 \text{ (Aconsejado)}$$

$$l_C = 0.5 l_F$$

$$c'' = c + 0.05 \quad \text{si } V \geq 1.4$$

$$c'' = c + \frac{0.07}{V} \quad \text{si } V < 1.4$$

$$l_F = \frac{f \times c'' \times \left(\frac{E}{V}\right) \times V^2}{0.81 \times s}$$

$$h_F = 1.3 V$$

$$h_C = H_{real} - 1.3 V - 10 d$$

$$Q_F = l_F \times h_F$$

$$Q_C = l_C \times h_C$$

$$Q_T = Q_F + Q_C$$

### 2.1.3.3 Zona C o Alza

$$f = 1.2$$

$$\frac{E}{V} = 1.25 \text{ (Aconsejado)}$$

$$l_C = 0.5 l_F$$

$$c'' = c + 0.05 \quad \text{si } V \geq 1.4$$

$$c'' = c + \frac{0.07}{V} \quad \text{si } V < 1.4$$

$$l_F = \frac{f \times c'' \times \left(\frac{E}{V}\right) \times V^2}{0.81 \times s}$$

$$h_F = 1.3 V$$

$$h_C = H_{real} - 1.3 V - 10 d$$

$$Q_F = l_F \times h_F$$

$$Q_C = l_C \times h_C$$

$$Q_T = Q_F + Q_C$$

#### 2.1.3.4 Zona E o arrastre

$$f = 1.45$$

$$\frac{E}{V} = 1 \quad (\text{Aconsejado})$$

$$l_C = 0.7 l_F$$

$$c'' = c + 0.05 \quad \text{si } V \geq 1.4$$

$$c'' = c + \frac{0.07}{V} \quad \text{si } V < 1.4$$

$$l_F = \frac{f \times c'' \times \left(\frac{E}{V}\right) \times V^2}{0.81 \times s}$$

$$h_F = 1.3 V$$

$$h_C = H_{real} - 1.3 V - 10 d$$

$$Q_F = l_F \times h_F$$

$$Q_C = l_C \times h_C$$

$$Q_T = Q_F + Q_C$$

Para las zonas B, C y E las fórmulas para el cálculo son las mismas al igual que el procedimiento, sin embargo, los valores pueden ser distintos entre zonas.

En donde:

$f$  = Constante estipulada para cada cuadro (adimensional).

$E$  = Espaciamiento (m).

$V$  = piedra (m).

$l_C$  = Densidad lineal de columna  $\left(\frac{kg}{m}\right)$ .

$c''$  = Constante de la resistencia a la roca (adimensional).

$l_F$  = Densidad lineal de fondo  $\left(\frac{kg}{m}\right)$

$h_F$  = Altura de la carga de fondo (m).

$h_C$  = Altura de la carga de columna (m).

$Q_F$  = Carga de fondo (kg).

$Q_C$  = Carga de columna (kg).

$Q_T$  = Carga total (kg).

#### **2.1.4. Carguío y transporte**

El carguío y transporte son dos actividades que se realizan conjuntamente. En el cual el material explotado es sacado de la zona mediante la utilización piques alternos, palas, carretillas o burras,

o en su caso a las tolvas, es decir es la carga del material mineralizado del yacimiento al sistema de transporte establecido en la mina, el cual conduce el material hacia su zona de destino.

### **Actividades de carguío y transporte**

La carga y el transporte del material mineralizado se realizan mediante las siguientes actividades:

4. Preparación de la zona de trabajo.
5. Posicionamiento de equipos.
6. Retirar el material tronado desde el frente de trabajo (carguío).
7. Traspaso del material al equipo de transporte dispuesto para el traslado.
8. Transporte del material a su lugar de destino (planta, acopio, botaderos, etc.).
9. Descarga del material.
10. Retorno del equipo de transporte al punto de carguío (si es que se requiere su retorno).

## **2.2 Geomecánica y geotecnia**

### **2.2.1 Geomecánica**

La geomecánica, es la disciplina que estudia las características mecánicas de los materiales geológicos que conforman las rocas y suelos de formación. Está relacionado con el comportamiento de la formación, bajo los cambios de esfuerzo producto de varias operaciones, cuando están sometidos a diferente presión, temperatura y esfuerzo. (Vásquez, 2001)

Para la construcción de una estructura subterránea es necesario determinar diferentes aspectos, como: tensiones y deformaciones que se producen en la estructura, resultado de fuerzas internas y externas y la capacidad de la estructura para resistir estas tensiones y deformaciones, ya que esto

muestra una primera predicción del comportamiento del macizo rocoso, frente a la construcción de labores subterráneas las cuales mostrarán las condiciones geológicas en las que se encuentra el macizo rocoso, estas serán analizadas y corroboradas, conjunto con la empresa.

Es así que, siguiendo adecuadamente la clasificación geo mecánica de las rocas en labores subterráneas, se puede establecer el plan adecuado a seguir y garantizar el eficiente diseño del pique en cuestión, obteniendo la información necesaria que pueda garantizar la estabilidad de dicha labor minera, y en caso de ser preciso, la fortificación necesaria.

### **2.2.2 Geotecnia**

La geotecnia es la ciencia que se dedica a la investigación, estudio y solución de problemas que se relacionan a las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles, que surgen como resultado de la interacción entre la geología y las obras y actividades del hombre. (Vega, 2020)

El estudio geotécnico es una parte fundamental de la minería, ya que brindan información necesaria y contundente al tomar decisiones ya sea en la regulación de perforación y tronadura, entre otras. Se realiza un monitoreo geotécnico para poder reconocer y vigilar el diseño planteado de la construcción minera. Con este monitoreo se puede prever posibles derrumbes y daños a infraestructuras cercanas.

Se puede mencionar diferentes aplicaciones de la geotecnia en la minería, como son:

1. Control de voladuras
2. Construcción de túneles, galerías, chimeneas
3. Control de agua subterránea
4. Caracterización de los macizos rocosos, etc.

5. Distancia entre niveles
6. Fortificación
7. Diseño minero

### **2.3 Labores mineras en interior mina**

Una labor minera es toda excavación subterránea o superficial que se realiza con el fin de llegar al depósito mineralizado, a esta acción se le conoce como laboreo de minas. Las labores de acceso que se deben realizar en el interior mina para llegar al yacimiento pueden iniciarse con un pozo o pique vertical, galerías inclinadas o rampas. Para poder determinar qué tipo de labor se debe realizar se debe tener en cuenta los siguientes parámetros: profundidad de la labor, el tiempo que se tiene para la preparación, el costo y el equipo disponible. La labor recomendable en profundidades grandes es el pozo, ya que la ampliación de este es más factible, mientras que en galerías inclinadas y rampas la longitud de ampliación es mucho mayor que la del pozo y más costosa.

Un pozo, según su sección, profundidad, método de profundización y tipo de roca, tiene siempre un costo por metro muy elevado, considerando la perforación, infraestructura, equipos y revestimiento. El costo de la preparación de galerías con pendiente  $1/3$  viene a ser por término medio la tercera parte del pozo. Así pues, con pendientes inferiores a  $1/4$  resultan más caras que un pozo vertical. Si puede simultanearse el avance de la galería con la producción de mineral en las explotaciones, de modo que la maquinaria pueda alcanzar la plena utilización, el costo de la preparación puede bajar. Si el criadero aflora en la superficie y se puede empezar a producir rápidamente en cuanto se accede a él, puede ser tan económico abrir una galería poco inclinada como profundizar un pozo. (Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Minas, 2007)

El avance específico de una galería inclinada puede ser de unos 23/30 m por semana con los métodos convencionales (las perforadoras de plena sección o "topos" no se han generalizado aún en este tipo de trabajos), aunque pueden llegar a lograrse hasta 8 m por día. En pozos poco profundos y sin unos equipos especiales de profundización sólo se logran avances de 5 – 10 m por semana. Para los pozos de unos 500 m en los que merece la pena la mecanización, se consiguen avances de 30 m por semana. (Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Minas, 2007).

Esos altos avances se logran con unos equipos bien adiestrados y una maquinaria especializada, que solo se encuentran en las empresas que se dediquen a estos trabajos especiales de profundización de pozos. En cambio, una galería inclinada puede avanzarse con los mineros calificados de la propia empresa, dotados de unos equipos normales de producción. (Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Minas, 2007)

### **2.3.1 Labores mineras de acceso**

Conjunto de labores principales que comunican la explotación es con la superficie (de vida relativamente larga), mediante las cuales se accede al yacimiento. (Correa, 1991)

#### **2.3.1.1 Galería**

Es la labor de acceso más realizada en minería subterránea por lo general es una excavación horizontal, en muy pocas situaciones o condiciones se realiza galerías poco inclinadas. La parte superior de la galería se le conoce como corona y sus paredes como hastiales.

Existen dos tipos de galerías de acceso:

1. Galería principal: su principal función es de acceso a la zona mineralizada, es similar a un túnel de carretera, donde se permite el paso del personal, herramientas, equipos, maquinaria y lo necesario dentro de mina. Es la labor primordial en mina ya que comunica interior

mina con la superficie, esta permite el paso de ventilación, bombeo de agua y energía eléctrica.

### **2.3.1.2 Pique o pozo minero**

Son excavaciones verticales o muy inclinadas usados en minería subterránea para comunicar niveles, transportar material y personal desde cualquier profundidad. Es un complemento de las galerías ya que permite conectar instalaciones de superficie con el subsuelo como: la energía eléctrica, ventilación, desagüé, etc.

### **2.3.1.3 Rampa**

Son labores similares a las galerías, pero con una inclinación positiva o negativa sobre un 5 % que permite servir de entrada principal a una mina desde diferentes accesos a los niveles de trabajo, que están a distintas cotas. (Palomino, 2015)

Se diferencian de los túneles por su forma de construcción. Pueden ser circulares, elípticas, zigzag, en ocho, rectas, o elípticas. La pendiente para el tránsito de equipos es de 10 a 12 %. De considerable pendiente a fin de ganar longitud y altura se desarrolla fuera de la veta, sobre roca o material estéril como acceso de la superficie a interior mina o para unir dos o más labores horizontales o niveles subterráneos de diferentes cotas y usualmente están dirigidas hacia abajo. (Palomino, 2015)

Su principal función de la de labor de accesos de equipos y maquinarias pesadas (perforación, transporte, relleno) sobre llantas a interior Mina desde la superficie o entre los niveles Une labores horizontales de diferentes cotas o profundidades Permite la extracción del mineral por medios rápidos y flexibles con equipos de bajo perfil. Permite el acceso de personal, materiales, insumos y herramientas, etc. (Palomino, 2015)

### **2.3.2 Labores mineras de preparación**

Son todas las labores mineras que sirven para dividir el yacimiento con vistas a su explotación; igualmente hacen parte de éstas todas las labores necesarias antes de comenzar el arranque sistemático tales como coladeros, cámaras de arranque y demás labores análogas. (Correa, 1991)

#### **2.3.2.1 Galería secundaria o subnivel**

Es una labor horizontal o poco inclinada que tiene como función principal de preparación de túneles, exploración y explotación del yacimiento mineral. Sirve también como medio de acceso del personal y maquinaria a los tajos.

#### **2.3.2.2 Chimenea**

Se define como chimenea, a la excavación de labores verticales a subverticales, o inclinadas, generalmente con un ángulo mayor a 40 grados, de secciones circulares, cuadradas o rectangulares, y que cumplen diversas funciones en el trabajo minero tales como: ventilación de la mina, servir de acceso al personal, cara libre de explotación, exploración, traspaso de minerales de un nivel a otro, etc. Como se puede apreciar las chimeneas cumplirán variadas e importantes labores en los trabajos mineros. (Salinas, 1998)

Para su construcción se usan los siguientes métodos:

1. **Métodos manuales:** Corresponde a la construcción de chimeneas en la cual ascenso y descenso al frente de trabajo se realiza por medio de escaleras metálicas o de madera y la superficie de trabajo del minero y su ayudante, es una plataforma de madera que se va trasladando y cambiando de posición en altura, a medida que la excavación de la chimenea progresa. (Salinas, 1998)

2. Métodos mecanizados: construcción de chimeneas en el cual la perforación y la tronadura se realiza por métodos convencionales, y el ascenso del personal se realiza a través de un ascensor de construcción el cual tiene una plataforma, que sirve de superficie para trabajos en altura para el personal. (Salinas, 1998)

El traslado de la jaula y la plataforma de trabajo se realizan a través de un sistema de rieles especiales que van anclados en la pared de la chimenea y que actúa como un sistema de guiado del conjunto. El anclaje de los rieles se realiza con pernos de anclaje mecánico. (Salinas, 1998)

### **2.3.2.3 Coladero**

Es un boquete abierto en los extremos del piso de cada tajo que sirven para echar los minerales al piso inferior o nivel, para luego ser trasladados a la estación de almacenamiento del mineral o caja. Estos sirven como conexión entre diferentes niveles de trabajo.

### **2.3.2.4 Tolva subterránea o chute**

Apertura subterránea en el fondo de una cámara o frente de explotación por donde se conduce el material extraído. Para designar las tolvas dentro de una mina subterránea se usa, informalmente, el término "chute". En su parte inferior posee una estructura, generalmente de madera, y equipada con una puerta por la cual el material es evacuado o cargado en los coches, vagones y otros medios de transporte. Canal o clavada subterránea, o canal inclinado con origen en superficie, a través del cual cae, por gravedad, el material de mena. (Cervantes et al., 2013)

### **2.3.2.5 Frente de explotación**

Lugar donde explotan y extraen los minerales de interés económico. Su superficie está expuesta a la extracción, se encuentra al final de una labor minera (túnel, galería, cruzada, otras), lugares donde se ejecutan las tareas de avance y desarrollo de la mina. Dependiendo si el yacimiento se

encuentra localizado en roca dura o en roca blanda, se usará previamente, perforación y voladura o rozadoras, para su extracción a superficie. (Cervantes et al., 2013)

## **2.4 Piques**

El pique es una de las excavaciones más importante en la minería subterránea, este puede ser vertical o subvertical con sección rectangular, circular o elíptica, su importancia se debe a que por medio de esta excavación se da la comunicación entre interior mina y superficie, pasan suministros que sirven para la explotación como: ventilación, electricidad, aire comprimido, agua y bombeo del agua, y lo más importante el transporte del mineral y del personal.

Lo más importante de un pique es su diseño, porque una vez construido no puede sufrir muchas modificaciones; sin embargo, este debe ser diseñado para una posible ampliación. Por lo que Cáceda y Pérez (2015) señalan que, por su importancia, se debe de escogerse adecuadamente su ubicación, sus dimensiones, el método de profundización, el recubrimiento de las paredes del pique, el brocal, los enganches en los niveles y la maquinaria de extracción”.

La infraestructura de apoyo para el pique debe ser superficial y subterránea bastante óptima, ya que estas servirán como soporte tanto para la construcción del pique como para su operación. Según Salinas (1998) para lograr una excavación adecuada se deben realizar las siguientes etapas:

1. Definición del arreglo superficial del pique.
2. Diseño y construcción de un peinecillo o castillete.
3. Definición de los equipos de izamiento.
4. Diseño del método de excavación.
5. Diseño de los sistemas de drenaje y ventilación.

6. Suministros de aire comprimido y agua.
7. Suministro de energía eléctrica
8. Definición del arreglo seccional del pique.
9. Definición del sistema de sostenimiento.
10. Proyectos específicos de Obras Civiles para la construcción.

La toma de decisiones de la construcción del pique se basa en los resultados del análisis técnico-económico, que se debe realizar en bases a todas las fases antes mencionadas y con el análisis de diferentes alternativas de acceder a los distintos niveles para extraer el material.

Es importante mencionar que la construcción del pique es una de las actividades mineras más peligrosas que existen, según Salinas (1998) su dificultad al momento de construirlo radica en:

1. Área de trabajo limitada en el fondo del pique.
2. Descenso y ascenso continuo del personal hacia y desde el frente de trabajo.
3. Posibilidad de presencia de aguas subterráneas.
4. Cambios en la calidad estructural de la roca durante el desarrollo del pique.
5. Complejidad de la disposición de los equipos de carguío interior pique.
6. Complejidad de la disposición de los equipos de izamiento y sus guías.

#### **2.4.1 Principios básicos utilizados para el diseño**

De acuerdo con Mamani (2018) los principios básicos a utilizar para el diseño de un pique son:

1. Mantener la resistencia original de la roca tanto como sea posible; porque esta es el elemento de resistencia inicial.
2. Prevenir la desintegración o alteración de la roca, tanto como sea posible, porque esto conduce a una considerable pérdida de resistencia del macizo.
3. Evitar en lo posible la presión por esfuerzos uniaxiales o biaxiales.
4. Controlar la relajación o deformaciones prematuras del macizo; para prevenir el realce o inestabilidad de la roca.
5. Evitar la relajación inicial del macizo, es decir evitar la deformación de la excavación.
6. El efecto de las etapas de construcción de la labor y el efecto del tiempo en el comportamiento de la excavación, conocido como tiempo de auto-soporte.
7. Evitar espacios vacíos en un radio mayor de 100 m.
8. La ubicación del castillo y casa winche, deben estar ubicados estratégicamente por seguridad y sobre costo en su ejecución.

#### **2.4.2 Procedimiento a seguir para el diseño de un pique**

Para realizar un buen diseño del pique se necesitan cumplir de manera ordenada, precisa y coherente con distintas etapas dentro del proceso de diseño. Lo cual ayuda a ir modificando el diseño a construir y ver una posible ampliación del pique a futuro.

Uno de los procedimientos a seguir y el cual servirá de guía para la realización de este trabajo, que es aceptado a nivel mundial en la minería subterránea, ya que establece el procedimiento ordenado a seguir, ver posibles mejoras y realizar modificaciones eficientes, es el siguiente:

1. Propósito del pique

2. Ubicación e Inclinación del pique
3. Definición de la cantidad y tipo de winches de construcción
4. Determinación del tamaño del balde de marina
5. Definición del arreglo seccional del pique
6. Determinación del arreglo superficial del pique
7. Diseño del tipo de revestimiento del pique
8. Diseño del sistema de ventilación del pique
9. Determinación del sostenimiento temporal en la etapa de construcción
10. Diseño del brocal del pique
11. Diseño del método de excavación
12. Evaluación y modificaciones con revisión de todas las etapas

#### **2.4.3 Elementos que intervienen en el diseño del pique**

Los elementos más importantes que generan la necesidad de la construcción de un nuevo pique son:

1. Necesidad de extracción de mineral
2. Reducción de los costos de producción
3. Profundización de los niveles de extracción

#### **2.4.4 Factores a considerar para el diseño del pique**

Para la toma de decisiones en el diseño construcción del pique se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Análisis de costo en relación a otros piques
2. El área debe ser favorable y suficientemente grande para la instalación de superficie.
3. La naturaleza del suelo debe ser adecuada para las cimentaciones, realizando para ello estudios de geología, hidrogeología, geotecnia y geo mecánica que indique la calidad del macizo rocoso en el área destinado para el pique.
4. La mina debe tener buenas vías de acceso y espacio libre para favorecer el trabajo

#### **2.4.5 Formas de la sección transversal del pique y estructura**

La forma de la sección transversal del pique depende de una serie de factores, entre los cuales se encuentran las propiedades físico-mecánicas de las rocas por donde atraviesa el pique, estado en el que se encuentra el macizo rocoso, magnitud y dirección de la presión rocosa en el sector del yacimiento, función del pique, tiempo de servicio, materiales para entibación, entre otros. (Sambachi, 2016)

Existen tres formas para el diseño de construcción del pique cada una con su respectiva estructura interna dependiendo del uso que se le dé al mismo, las más comunes son: la sección rectangular y la sección circular, sin embargo, también existe la sección elíptica o curvilínea.

##### **Sección rectangular**

La sección rectangular es una de las más usadas en minería subterránea a nivel nacional, debido a que ofrece las siguientes ventajas:

1. Emplea toda su sección transversal.
2. Mayor facilidad para instalar los marcos de madera o de acero
3. Facilidad de fortificación o entibado en el caso de que las rocas presenten inestabilidad.

Sin embargo, ofrece las siguientes desventajas:

4. Dificulta la extracción del aire para la ventilación de la mina, debido a la resistencia que ejercen sus presiones.
5. Complejidad en la excavación del parque de enganche en cada uno de los niveles en los trabajos de perforación y voladura.
6. En el caso que se necesite de fortificación o entibado de las zonas inestables los costos son significativamente altos.
7. Mala redistribución de esfuerzos alrededor de la excavación, por lo que soporta mayor presión de las rocas, que en las secciones circulares.
8. Dificultad en la formación de los ángulos rectos que se requieren.
9. La duración de trabajos para la excavación de la sección rectangular demanda mayor esfuerzo.

### **Vigas de madera en sección rectangular**

Las vigas de madera en la sección rectangular sirven para separar los niveles y descansos de la mina; y/o la jaula del skip de la zona destinada para circulación del personal, es decir es la estructura interna del pique.

Normalmente, se colocan vigas de madera de lado a lado en el pique, con vigas divisorias, conforme al arreglo seccional del pique definido. Estas vigas son normalmente de madera de coigue y de secciones de 8x8 a 12x12 cm. Cada conjunto se coloca a intervalos definidos, cada 3 o 4 m y los espacios entre los conjuntos son revestidos con madera. (Salinas, 1998)

### **Vigas de acero en sección rectangular**

Las vigas de acero, en un concepto en general, son similares a las vigas de madera, la diferencia se centra en que las vigas de acero son mucho más seguras que las de madera. Estas vigas ocupan menor espacio en la sección que corresponde al pique, lo que ayuda a que se dé mejor la ventilación.

El espaciamiento entre cada conjunto dependerá de los esfuerzos dinámicos que deban soportar por efecto de las guías y, además por la calidad geo mecánica de la roca, donde está emplazado el pique. Cuando la calidad de la roca no es buena, generalmente se usa estos conjuntos de vigas de acero, colocados cada 3 m. En la vertical usando como revestimiento, hormigón, previo a un sostenimiento con pernos de anclaje, malla y hormigón proyectado. (Salinas, 1998)

### **Sección circular**

En el caso de que la mina esté en crecimiento y tenga una producción bastante buena se recomienda construir el pique con este tipo de sección, ya que le brinda las siguientes ventajas:

1. La sección circular garantiza una mayor estabilidad, debido a que la fortificación va a resistir mejor la presión causada por las rocas circundantes; ya que éstas, se distribuyen más uniformemente.
2. Los piques de sección circular poseen un menor coeficiente de resistencia aerodinámica.

3. Este tipo de sección es de menor costo comparado con la sección rectangular, en cuanto a su construcción y fortificación de áreas inestables.
4. Mayor efectividad en el sistema de ventilación.

Las principales desventajas de esta sección son:

5. Los equipos de perforación a utilizar deben ser de fase media.
6. Elevados costos de profundización son más elevados que los de la sección rectangular.

#### **2.4.6 Determinación de zonas inestables**

Para la determinación de zonas inestables en minería subterránea, se debe analizar la calidad de la roca o la resistencia del macizo rocoso, ya que a lo largo de la historia en el sector minero es frecuente encontrar rocas de muy mala calidad, lo que da como resultado zonas inestables en interior mina, por lo que nace la necesidad de verificar la estabilidad del pique.

##### **2.4.6.1 Estabilidad del pique**

1. La estabilidad del pique está en función del método de profundización, profundidad de excavación, forma del pique y características geo-mecánicas de la roca. Debido a que la naturaleza de la roca se ve alterada cuando se ejecuta la excavación, aparecen una serie de deformaciones y desplazamientos en el interior del macizo rocoso, según Carpio (2016) como resultado se puede presentar los siguientes casos:
2. Rocas que requieren fortificación por tener un comportamiento inestable, como rocas intensamente fracturadas, rocas alteradas con compartimiento plástico-viscoso o compartimiento rígido.
3. Roca que prácticamente no requieren fortificación por tener compartimiento elástico, como roca maciza con solo micro fisuras, más o menos isotrópicas y homogéneas, rocas separadas

en bloques con al menos tres juegos de diaclasas, sin relleno ni dirección preferencial y rocas estratificadas o con juegos persistentes de diaclasas, contactos sin relleno y mínima fracturación secundaria.

4. Cuando se tienen deformaciones inmediatamente o después de varias horas se producen las siguientes situaciones:

#### **2.4.6.1.1 Presiones de la roca en galerías verticales**

El profesor Protodiakonov propuso determinar las presiones a lo largo de las paredes del pique con el fin de determinar la estabilidad del pique y de poder realizar un buen sostenimiento o fortificación del mismo, para esto se usa la siguiente formula:

$$P = \gamma HA \left( \frac{t}{m^2} \right)$$

Donde:

$\gamma$  = peso volumetrico de las rocas.  $\left( \frac{t}{m} \right)$

H = profundidad del pique. (m)

A = coeficiente de empuje horizontal de acuerdo a la naturaleza de la roca. (adimensional)

Otros pensadores han dicho que este tipo de cálculo es un aproximado, ya que no es muy eficiente en el cálculo de rocas resistentes, por lo que proponen:

#### **Hipótesis del Profesor M.M. Protodiakonov**

La hipótesis del Profesor M.M. Protodiakonov parte de la suposición que la galería vertical se franquea a través de rocas que yacen horizontalmente y que cada capa de roca se caracteriza por

sus parámetros: Peso volumétrico ( $t/m^3$ ), coeficiente de resistencia  $f$  y potencia  $hp$ . (Andrade, 2014)

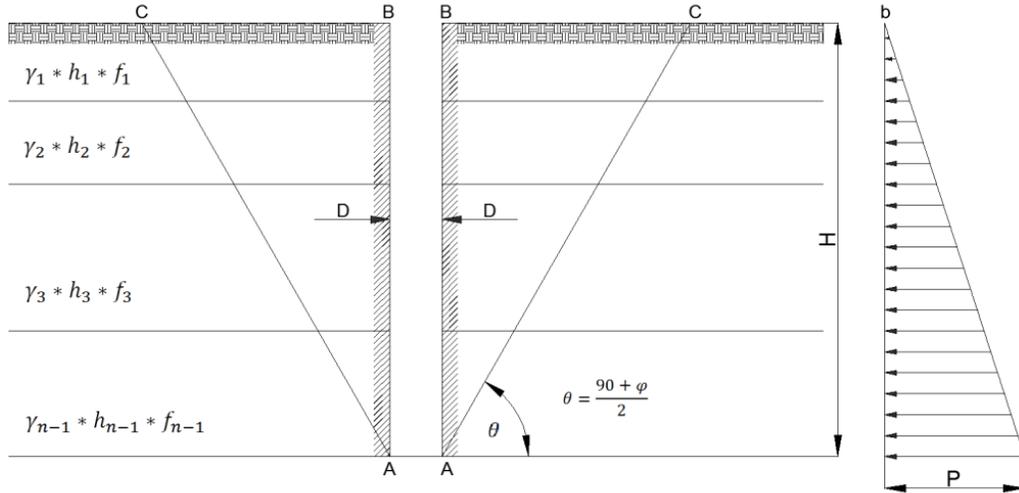


Figura 2.2 Esquema para el cálculo de la presión de las rocas de acuerdo a la hipótesis del profesor M.M. Protodiakonov

Fuente: (Andrade, 2014)

Según Andrade (2014) esta hipótesis indica que a las fortificaciones del pique se transmite la presión ejercida por el prisma de deslizamiento ABC a todo el perímetro del pique. Por lo tanto, la fortificación juega el papel de pared de apoyo y la magnitud de la presión que se ejerce sobre ellas es igual:

$$D = \frac{\gamma_{md}}{2} \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi_{md}}{2}$$

La presión que se ejerce por unidad de superficie sobre el pique, a cualquier altura es:

$$\frac{dD}{dH} = P = \gamma_{md} * H * \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi_{md}}{2}$$

Donde:

$\gamma_{md}$  = peso volumetrico medio de las rocas por donde se franquea el pique. ( $kg/m^3$ )

H = profundidad del pique. (m)

$\varphi_{md}$  = ángulo de resistencia interna de las rocas. (°)

De acuerdo a esta hipótesis se puede observar que las presiones de la roca van aumentando conforme va avanzando la profundidad del pique.

### **Hipótesis del Profesor P.M. Tsimbareivich**

Esta hipótesis plantea que la estabilidad de las paredes del pique se puede determinar según la siguiente formula:

$$\frac{2\mu}{1-\mu} \gamma H < R_2''$$

Donde:

$\mu$  = coeficiente de Poisson. (adimensional)

$\gamma$  = peso volumétrico de las rocas. (kg)

H = profundiad del pique con respecto a la superficie. (cm)

$R_2''$  = límite de resistencia de las rocas bajo compresión biaxial.  $\left(\frac{kg}{cm}\right)$

De acuerdo a Andrade (2014), esta teoría plantea que en los sectores del pique con paredes estables la presión de las rocas es igual a cero. En los sectores con paredes inestables donde aparezcan tensiones  $\left(\frac{2\mu}{1-\mu}\right) \gamma H$  superiores al límite de resistencia  $R_2''$  de las rocas a la compresión, la

presión de las rocas es el resultado de la acción del deslizamiento de los prismas con altura igual a la potencia de las rocas inestables y puede ser determinada por las siguientes fórmulas:

$$P_p = \gamma_p * h_p * \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi_p}{2}$$

$$P_p = \gamma_p * h_p * A_p$$

Donde:

$P_p$  = presión de las rocas en el n horizonte. (Pa)

$\gamma_p$  = peso volumétrico de las rocas inestables. (Kg)

$h_p$  = potencias de las rocas inestables. (Hp)

$A_p$  = coeficiente de empuje de las rocas. (adimensional)

$\varphi_p$  = ángulo de rozamiento interno de las rocas inestables. (°)

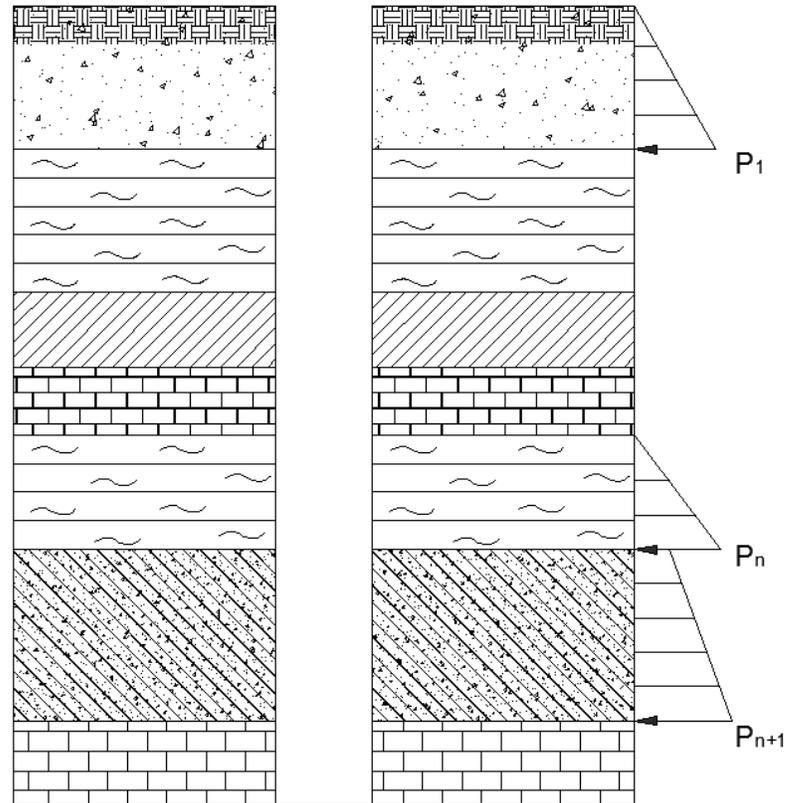


Figura 2.3 Esquema para el cálculo de la presión de las rocas de acuerdo a la hipótesis del profesor P.M. Tsimbareivich

Fuente: (Andrade, 2014)

## 2.5 Fortificación

La fortificación es una actividad que consiste en reforzar el entorno de cada labor subterránea, de esta manera se busca mejorar la seguridad del personal y maquinaria dentro del interior mina, evitar derrumbes y deformaciones en la roca.

### 2.5.1 Método para la determinación de la fortificación del pique

Según Feijoo (1997), para poder relacionar el índice de calidad para túneles  $Q$  con el comportamiento de una excavación subterránea y con las necesidades de ademe de la misma, Barton, Lien y Lunde inventaron un elemento cuantitativo adicional que llamaron “La Dimensión Equivalente” de la excavación. Esta dimensión se obtiene de la siguiente ecuación:

$$De = \frac{\text{Ancho de la excavacion, diametro o altura.}}{ESR}$$

Barton propone los siguientes valores para el cálculo de la relación de soporte de la excavación ESR, en el presenta los valores de acuerdo al uso establecido para excavación:

Tabla 2.1 Valores de ESR.

<b>TIPO DE EXCAVACIÓN</b>	<b>ESR</b>
A. Excavaciones Mineras Provisionales	3 a 5
B. Excavaciones Mineras Permanentes, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles-piloto (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.	1.6
C. Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión, túneles auxiliares.	1.3
D. Casas de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túneles.	1
E. Estaciones nucleoeeléctricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fabricas.	0.8

Nota: Recuperado de “Manual de mecánica de rocas y estabilidad de túneles y taludes”, de Feijoo, P. 1997.

El hecho de obtener este índice hizo que Barton relacione el índice de calidad con el máximo claro de una excavación sin ademe o fortificación, lo cual proporciona una base excelente para estimar el claro máximo sin ademe que se podría excavar en un macizo rocoso de calidad conocida. (Feijoo, 1997)

$$Claro = 2 * ESR * Q^{0.4}$$

Donde:

*Claro = Luz del túnel. (m)*

*ESR = Relación de soporte de la excavación. (adimensional)*

Para el valor crítico de Q se despeja la formula y queda:

$$Q = \left( \frac{Claro}{2ESR} \right)^{2.5}$$

Se relaciona el índice de calidad Q y la dimensión equivalente para ver si se requiere de fortificación y si el macizo rocoso puede colapsar durante la excavación. (Ver figura 3.2)

Una vez establecida la necesidad o no de fortificación se procederá a realizar la selección del mismo para lo cual se presenta la ilustración 23, en la cual están representadas 38 categorías, en función del índice de calidad Q y la dimensión equivalente del macizo rocoso, las cuales proporcionan (Anexo 3) la información sobre el tipo de ademe a utilizar. (Feijoo, 1997)

### **2.5.2 Materiales para la fortificación de excavaciones subterráneas**

Según Blanco (1984) la elección de los materiales para la fortificación, depende de una serie de aspectos entre los cuales son fundamentales:

Destino de la excavación

La vida de servicio de la excavación

Las condiciones minero - geológicas existentes

Resistencia mecánica

Dificultad en la instalación de la fortificación

Su impermeabilidad

Durabilidad

Resistencia al fuego

Estabilidad

### **2.5.1.1 Fortificación con madera**

La fortificación con madera en excavaciones verticales por lo general se usa para pozos de sondeo, contrapozos y pozos auxiliares, incluso para pozos de extracción, pero de poca profundidad, con una vida de servicio corta (hasta 12 años) y en caso que la presión minera sea corta. (Blanco, 1984)

Blanco (1984) sostiene que la fortificación de madera se hace con vigas rectangulares o redondas y consta fundamentalmente de cuatro elementos que se unen entre sí mediante distintas formas de empalme (espiga, ranuras y otras) formando un cuadro. Esta fortificación se divide en tres tipos:

1. Fortificación de cuadros sobre apoyos: Este tipo de fortificación se usa para excavaciones en rocas estables y de corta vida.

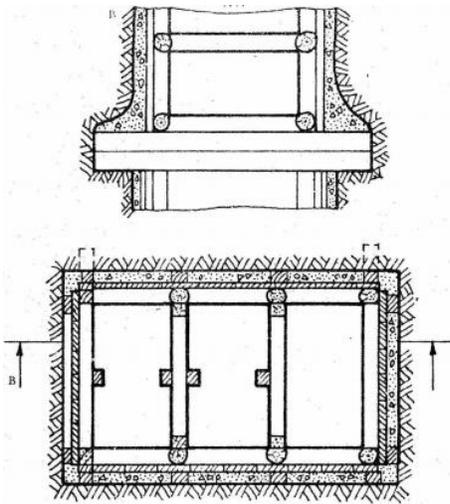


Figura 2.4 Fortificación con cuadros sobre apoyos.

Fuente: (Blanco, 1984)

2. Fortificación de cuadros continuos: Este tipo de fortificación se usa para excavaciones en roca débiles y de larga vida.

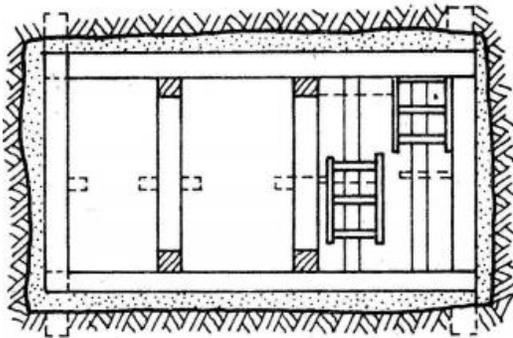


Figura 2.5 Fortificación con cuadros continuos.

Fuente: (Blanco, 1984)

3. Fortificación de cuadros suspendidos: Este tipo de fortificación se usa en excavaciones rectangulares y de rocas estables.

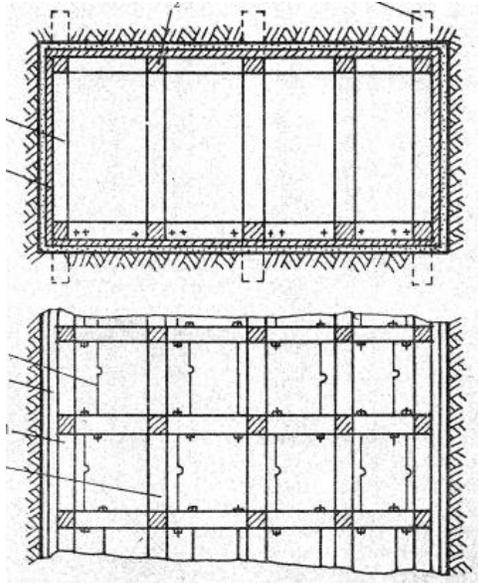


Figura 2.6 Fortificación con cuadros suspendidos

Fuente: (Blanco, 1984)

### 2.5.1.2 Fortificación con pernos

Los pernos se encargan de incrementar la resistencia del macizo rocoso en el que se encuentran instalados fijando cualquier tipo de roca suelta o estrato, anclándola profundamente a la roca madre o mejorando la fricción entre las discontinuidades. Sin embargo, para comprender como actúan, es necesario identificar como se desprenden los bloques de roca. (Fernández & Ramírez, 2018)

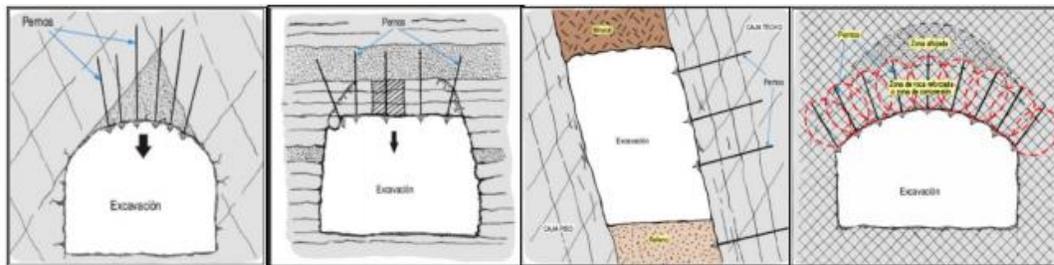


Figura 2.7 Principios de sostenimiento de pernos (en orden: cuña, viga, columna, arco).

Fuente: (Fernández & Ramírez, 2018)

Según Rosso (2010) los tipos de pernos más comunes o más usados en el sostenimiento de terrenos son:

1. Pernos con anclajes expansivos: Un perno para roca con anclaje de expansión controla el movimiento o el desplazamiento de la masa rocosa induciendo la presión de la tensión de la barra entre el anclaje y la platina de apoyo. Este tipo de soporte produce una tensión de aproximadamente 3.5 toneladas y tiene una resistencia en tracción máxima de 12,5 toneladas. (Rosso, 2010)

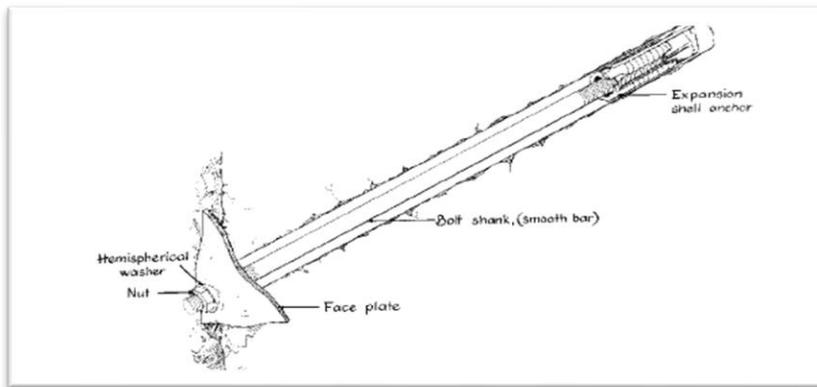


Figura 2.8 Perno de anclaje expansivo

Fuente: (Rosso, 2010)

2. Pernos cementados con resina o cemento: son los pernos más utilizados en minería subterránea, fabricados en barra construcción (fierro corrugado), el tipo helicoidal y cables de acero instalado en una lechada de resina o cemento resiste el movimiento del terreno debido a los puntos de contacto del enclavamiento mecánico del perno. La unión resina o lechada con la roca depende de las irregularidades encontradas dentro de la perforación y de la estructura de la roca. (Rosso, 2010)

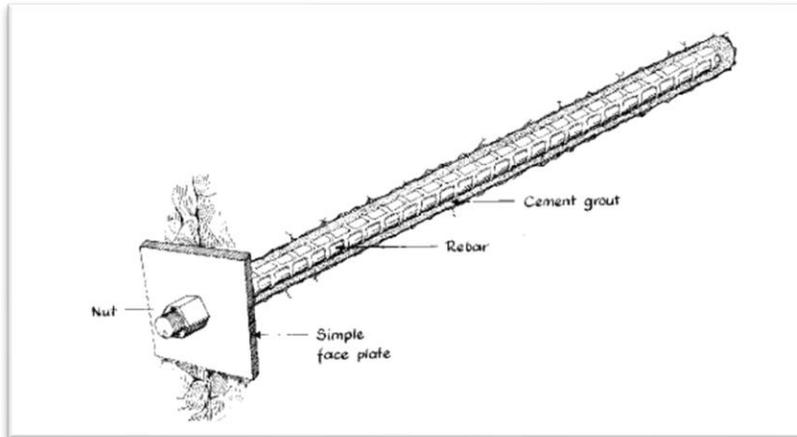


Figura 2.9 Pernos de acero cementados con resina o cemento

Fuente: (Rosso, 2010)

3. Los cables de acero o también llamados pernos cables son pernos flexibles compuestos por un conjunto de alambres de acero, unidos a una hebra principal, los cuales son instalados con lechada en una perforación. Dependiendo de las características solicitadas, se pueden tener diversas configuraciones o arreglos de los alambres. Cabe destacar que la capacidad de este tipo de perno se transfiere al macizo rocoso mediante la lechada. (Fernández & Ramírez, 2018)
4. Pernos de fricción “Split Set” La fricción ejercida por los costados del perno lo mantiene en su lugar creando fuerzas que se extienden radialmente. Este proceso provee la fuerza de fricción que actúa previniendo el movimiento o separación del terreno. Se alcanzan valores de anclaje de 1 a 1.5 toneladas por cada 30,5 cm con éstos elementos, dependiendo principalmente del diámetro de la perforación efectuada, la longitud de la zona del anclaje y el tipo de la roca. Los estabilizadores se utilizan generalmente en roca severamente agrietada o fracturada sujeta a condiciones de baja tensión. (Rosso, 2010)

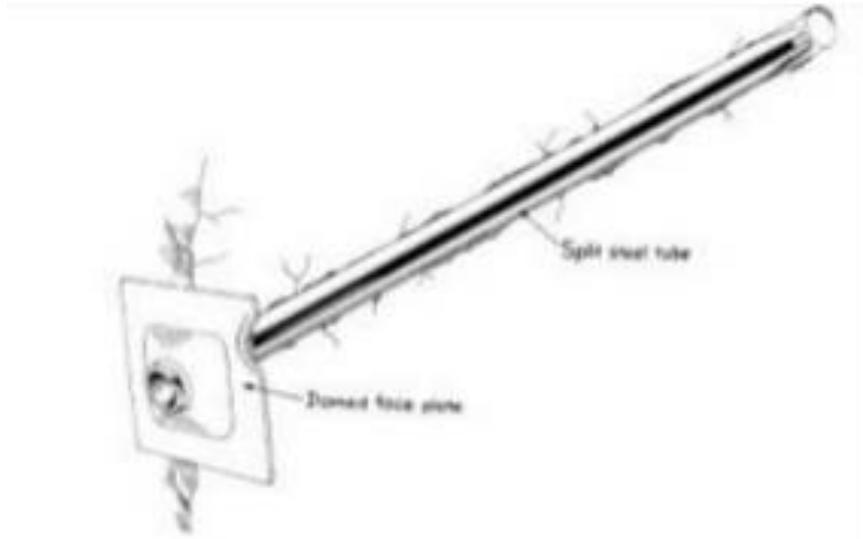


Figura 2.10 Perno Split Set

Fuente: (Rosso, 2010)

### 2.5.1.3 Fortificación con hormigón armado

Esta fortificación consta de dos filas de armaduras de trabajo que se colocan horizontalmente, a una distancia entre sí de 15 a 25 cm. Según la vertical se instala filas de armaduras distribuidas con intervalos de 30 a 40 cm, para la preparación de armaduras se recomienda el acero laminado al calor con diámetro de 12 a 30 mm. El hormigón que se emplee debe de ser resistente y de buena plasticidad. (Blanco, 1984)

### 2.5.1.4 Fortificación con hormigón lanzado

Este tipo de fortificación se emplea en pozos laboreados a través de rocas fuertes y agrietadas con la función de proteger las paredes del pozo de la erosión y prever posibles caídas de pedazos de roca. En dependencia del grado de agrietamiento que posean las rocas y la cantidad de agua, se puede emplear en combinación con la fortificación de anclas. (Blanco, 1984)

Esta fortificación, que se prepara sobre la base de un hormigón con agregados de hasta 25 mm de tamaño, constituye una capa de aproximadamente 20 cm, que es capaz de soportar la acción de la

presión minera y el empuje del agua. En la preparación del hormigón se utilizan cementos de alta resistencia (400 a 500 kg/cm<sup>2</sup>) y agregados químicos que posibilitan su rápido endurecimiento. Para su instalación se utilizan distintos equipos (cañón de cemento y otros) análogos a los examinados en la fortificación de las excavaciones horizontales. (Blanco, 1984)

### **2.5.1.5 Fortificación con malla**

La armadura sirve para absorber las sollicitaciones por contracción, aumentar la resistencia a la tracción / cizallamiento y para repartir las cargas concentradas. Esta alternativa de fortificación es recomendable cuando se quiere garantizar obras subterráneas sometidas a los esfuerzos mencionados anteriormente. La abertura o luz de la malla no debe ser inferior a 5 cm, siendo la más utilizada la de 10 cm. La malla es fabricada en alambre galvanizado se emplean en la fortificación de túneles mineros y en la contención de terrenos y taludes. Los rollos se fabrican en el largo y ancho especificado por el cliente, siendo el rollo más común es el de 25 x 2.50 m para la malla 100 - 06 y de 25 x 2.00 m para el resto. Tenemos capacidad para tejer mallas de hasta 5 metros de ancho. Sistema de pernos + malla + shotcrete. (Rosso, 2010)

## **2.6 Contabilidad de costos**

La contabilidad de costos es un sistema de información que mediante un proceso recopila, organiza, clasifica, analiza y registra en términos de dinero, y en forma cronológica, todos los hechos económicos de un ente, relacionados con la producción de bienes o la prestación de servicios. (Polo García, 2017, p. 14)

El estudio económico para este proyecto es un parámetro importante ya que provee información cuantitativa para la toma de decisiones de la viabilidad del mismo.

En la construcción del pique para la empresa Minervilla se deben realizar varias labores como: perforación y voladura, desalojo del material volado, fortificación y colocación de plataformas de descanso. En las cuales se tratará de optimizar costos y verificar el buen estado de esta excavación minera.

Según (Jáuregui, 2015), para determinar los costos que influirán directamente en la construcción de un pique son, la sección y el tipo de terreno.

Es por esto que se puede ver a continuación, los parámetros que se tomaron en consideración para la elaboración del pique:

1. Costos de materiales

Son los costos de los bienes requeridos para la construcción del pique:

1. Explosivos.
2. Accesorios de voladuras.

2. Costo de la mano de obra

En nuestro caso de estudio se tomará el costo de mano de obra directo que intervienen en la construcción del pique, el salario a tomar en cuenta como un costo es del personal que realiza las siguientes actividades:

1. Perforación y voladura.
2. Supervisión.
3. Fortificación.

3. Costo de la maquinaria

Para los costos de maquinaria se tomarán en cuenta las máquinas que intervienen directamente en la explotación y fortificación para hacer su respectivo análisis económico.

4. Costo del metro de avance perforado

Es el análisis de todos los costos antes nombrados, dando como resultado el costo de un metro de avance.

5. Costo de la fortificación del pique

1. Malla electro soldada
2. Pernos
3. Hormigón lanzado

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DEL PIQUE

#### 3.1 Datos geomecánicos

Analizando la geomecánica de la concesión minera SAN SEBASTIÁN II, según Sarango (2017), aunque en los primeros tramos el índice RMR es bajo, es decir corresponde a una roca de mala calidad, los tramos siguientes van mejorando levemente, con lo cual se caracterizan como una roca de calidad media, esto se debe a que algunas partes están expuestas a la superficie por lo cual ha sufrido una ligera meteorización.

Debido a esto la calidad de la roca fluctúa entre un RMR alto y un RMR medio, esto se debe a la presencia de rellenos de arcilla en las diaclasas, poseer humedad y existencia de familias de discontinuidades.

Se puede concluir que, según Sarango (2017), Los índices RMR se encuentran entre 50 y 60, lo cual según Romana (2000), se denomina como clase de media a buena

#### 3.2 Ciclo de construcción del pique

La construcción del pique va a constar de las siguientes fases:

##### 3.2.1 Perforación y voladura

La perforación se realizará de forma ascendente vertical por medio del método Alimak, empleando 2 máquinas perforadoras de barrenos de 0.8 m y 1.6 m.

El sistema Alimak es un método semi - mecanizado de ascensión de chimeneas que ha tenido éxito para roca dura y chimeneas largas. La inversión en equipos es elevada, aunque pueden ser reutilizados numerosas veces. (Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Minas, 2007)

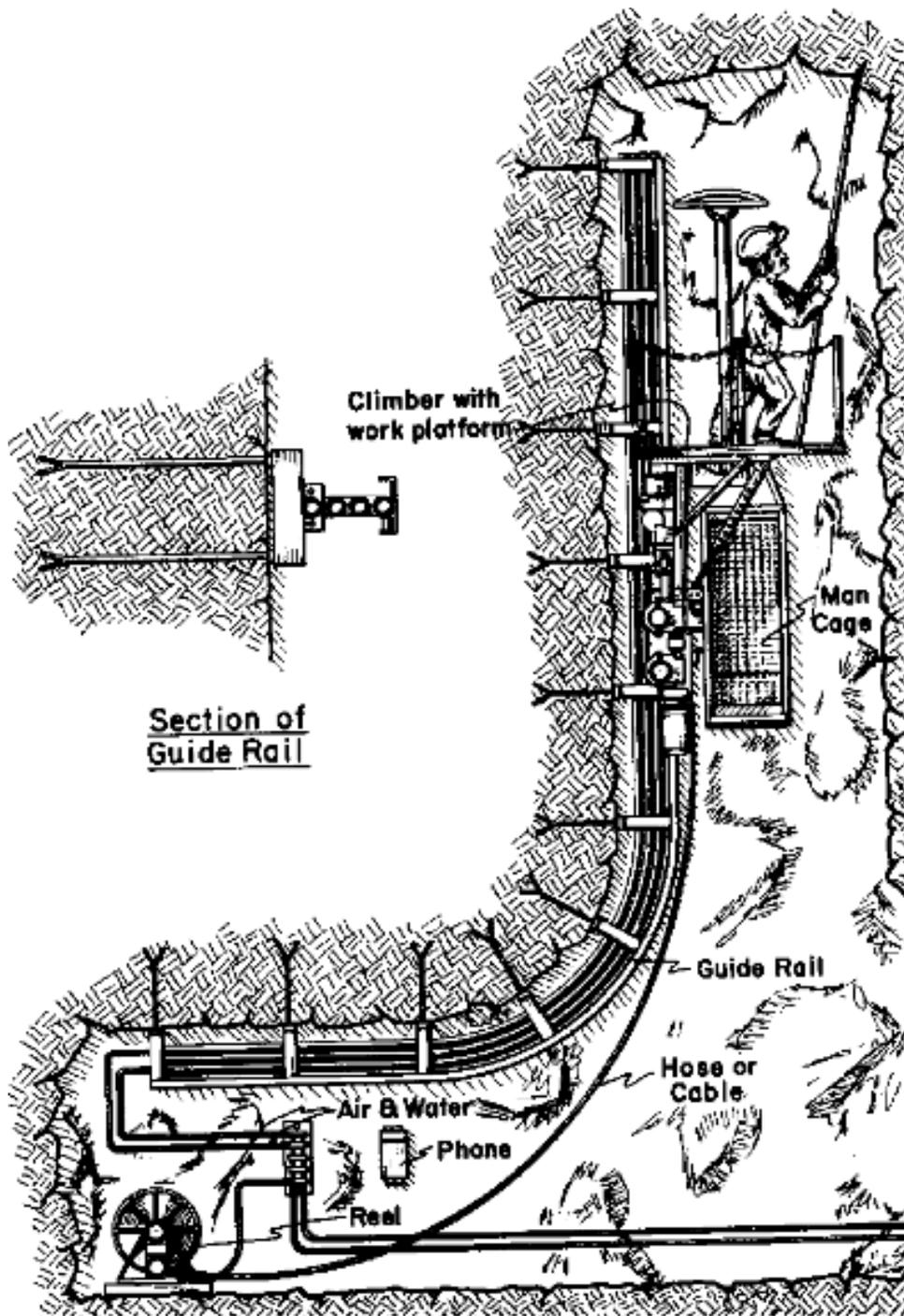


Figura 3.1 Sistema Alimak

Fuente: (Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Minas, 2007)

Para el cálculo del número de taladros a realizar se debe usar la siguiente formula:

$$Nt = \frac{P}{dt} + (C * S)$$

Donde

$Nt$  = Número de taladros. (*adimensional*)

$P$  = Perímetro de la sección de pique. (m)

$dt$  = Espaciamiento de los taladros. (*adimensional*)

$C$  = Coeficiente o factor de la roca. (*adimensional*)

$S$  = Área del pique. ( $m^2$ )

<b>dt varía de acuerdo a:</b>	<b>C varía de acuerdo a:</b>
0.50 a 0.55 para roca dura.	2.0 para roca dura
0.60 a 0.65 para roca intermedia.	1.5 para roca intermedia.
0.70 a 0.75 para roca suave.	1.0 para roca suave

Para los cálculos se tomó 0.50 para el espaciamiento de los taladros ( $dt$ ) y 2.0 como coeficiente de la roca ( $C$ ), considerando que la roca de la zona de estudio es dura.

Tomando en cuenta que la roca en el área de interés es dura el número de taladros es:

$$Nt = \frac{16}{0.50} + (2 * 16) = 64 \text{ taladros.}$$

### 3.2.2 Ventilación

Para la ventilación del pique es recomendable por seguridad instalar un ventilador secundario cerca del área de interés de 74 Hp con una manga de 16 pulgadas. Cabe recalcar que la mina cuenta con un sistema de ventilación capaz de satisfacer a esta actividad.

### **3.2.3 Limpieza**

La limpieza de la construcción, se realizará retirando los escombros producto de la explosión por la parte inferior del pique, debido a que la construcción del mismo se realizará de forma ascendente (nivel 5 al nivel 0). Los escombros caerán directamente al nivel 5 y todos los días se procederá a desquinchar el material colgante que queda suspendido después de la explosión.

La carga de los escombros se realizará mediante la pala neumática, la que depositará el material al vagón (el transporte del vagón se realizará de manera manual) para luego ser transportando al skip del otro pique. El skip mediante el sistema de izaje sube el material al nivel 0, para luego ser sacado por la locomotora a la escombrera.

### **3.2.4 Sostenimiento**

El sostenimiento del pique va de acuerdo al análisis geo-mecánico que se realiza a lo largo de su construcción. Una de las recomendaciones para el sostenimiento es que se haga con revestimiento de concreto con malla electro soldada, la colocación se realiza usando pernos.

La malla de 10 x 10 cm será sostenida por medio de los pernos Split Set con un largo de aproximadamente de 1.5 a 2 m, para luego ser ajustada completamente con revestimiento de concreto.

En el caso de que el pique sea combinado para el almacenaje de material en los bolsillos de los niveles, se recomienda construir en la zona de volteo una base de hormigón armado con las dimensiones de 1.20 m x 1.40 m y una altura de 0.80 m, sobre esta base se ubicará una plancha metálica de ½ de espesor, que servirá para evitar la contaminación al momento de vaciar el mineral o estéril a los bolsillos.



### 3.4 Diseño de los procesos de perforación y voladura

Para el diseño de la malla de perforación y voladura se utilizará el modelo de Langefors y Kihlström propuesto en 1963. En el que como datos principales necesitamos: la densidad y velocidad de detonación del explosivo, el diámetro del barreno, factor de fuerza del explosivo, la desviación y coeficiente de dureza de la roca.

Para la densidad y velocidad de detonación de los explosivos sirve de base el catálogo de EXPLOCEN 2020, el diámetro de barreno es de 0.041 m de acuerdo al barreno de 1.6 m, el coeficiente de dureza de la roca es de 0.4 y la desviación es de 2 cm/m.

Tabla 3.1 Datos para el cálculo de la malla de perforación y voladura

<b>Datos</b>	
<b>Velocidad de detonación (Explogel III 1*7) m/s</b>	4750
<b>Velocidad de detonación (ANFO) m/s</b>	3700
<b>Densidad (ANFO) kg/m<sup>3</sup></b>	800
<b>Densidad (Explogel III 1*7) kg/m<sup>3</sup></b>	1160
<b>Diámetro del barreno m</b>	0.041
<b>Desviación delta (<math>\Delta</math>) m</b>	0.02
<b>V1</b>	2
<b>V2</b>	2
<b>V3</b>	1.75
<b>V4</b>	1

Fuente: Autoría propia

Tabla 3.2. Datos generales

<b>DATOS GENERALES</b>	
<b>Øo</b>	0.06 m
<b>l max 1</b>	1.06 kg/m
<b>l max 2</b>	1.53 k/m
<b>H max</b>	1.60 m
<b>H real</b>	1.36 m

Fuente: Autoría propia

**ZONA A**

Tabla 3.3 Cálculos cuele Zona A, primer cuadro

<b>Primer cuadro</b>		
<b><math>V1 \leq 2\emptyset</math></b>		<b>2</b>
<b>V1</b>	0.12	m
<b>L1</b>	0.30	kg/m
<b><math>\Delta</math> máx</b>	0.03	m
<b>V1''</b>	0.09	m
<b>B1</b>	0.13	m
<b>Q1</b>	0.41	kg

Fuente: Autoría propia

Tabla 3.4 Cálculos arranque Zona A, segundo cuadro

<b>Segundo cuadro</b>		
<b><math>0,5*B1 \leq V2 \leq 2*B1</math></b>		<b>2</b>
<b>V2</b>	0.25	m
<b>L2</b>	0.60	kg/m
<b><math>\Delta</math> máx</b>	0.03	m
<b>V2''</b>	0.22	m
<b>B2</b>	0.41	m
<b>Q2</b>	0.99	kg

Fuente: Autoría propia

Tabla 3.5 Cálculos ayudas Zona A, tercer cuadro

<b>Tercer cuadro</b>		
<b><math>0,5*B2 \leq V3 \leq 2*B2</math></b>		<b>1.8</b>
<b>V3</b>	0.74	m
<b>L3</b>	1.52	kg/m
<b><math>\Delta</math> máx</b>	0.03	m
<b>V3''</b>	0.71	m
<b>B3</b>	1.3	m
<b>Q3</b>	2.12	kg

Fuente: Autoría propia

Tabla 3.6 Cálculos ayudas Zona A, cuarto cuadro

<b>Cuarto cuadro</b>		
<b><math>0,5*B3 \leq V4 \leq 2*B3</math></b>		<b>1.1</b>
<b>V4</b>	1.43	m
<b>L4</b>	1.53	kg/m
<b><math>\Delta</math> máx</b>	0.03	m
<b>V4''</b>	1.40	m
<b>B4</b>	2.90	m
<b>Q4</b>	2.09	kg

Fuente: Autoría propia

Tabla 3.7 Cálculos para la malla de perforación y voladura, Zona B

<b>ZONA B</b>	
<b>F</b>	<b>1.45</b>
<b>E espaciamento</b>	0.33
<b>V Piedra</b>	0.55
<b>c''</b>	0.53
<b>lf</b>	0.09
<b>hf</b>	0.72
<b>hc</b>	0.24
<b>lc</b>	0.05
<b>Qf</b>	0.07
<b>Qc</b>	0.01
<b>QT</b>	0.09

Fuente: Autoría propia

Tabla 3.8 Carga total de explosivos

<b>Zona</b>	<b>Barrenos</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Carga Subtotal (kg)</b>
<b>Zona A</b>			
<b>A1</b>	4	0.41	1.62
<b>A2</b>	4	0.99	3.96
<b>A3</b>	4	2.12	8.48
<b>A4</b>	4	2.09	8.35
<b>Zona B</b>	22	0.09	4.32
<b>TOTAL</b>	<b>65</b>		<b>26.72</b>

Fuente: Autoría propia

Tabla 3.9 Valores específicos

<b>VALORES ESPECÍFICOS</b>	
<b>Vtot</b>	21.76 m <sup>3</sup>
<b>Qesp</b>	1.23 kg/m <sup>3</sup>
<b>Pesp</b>	6.69 m/m <sup>2</sup>

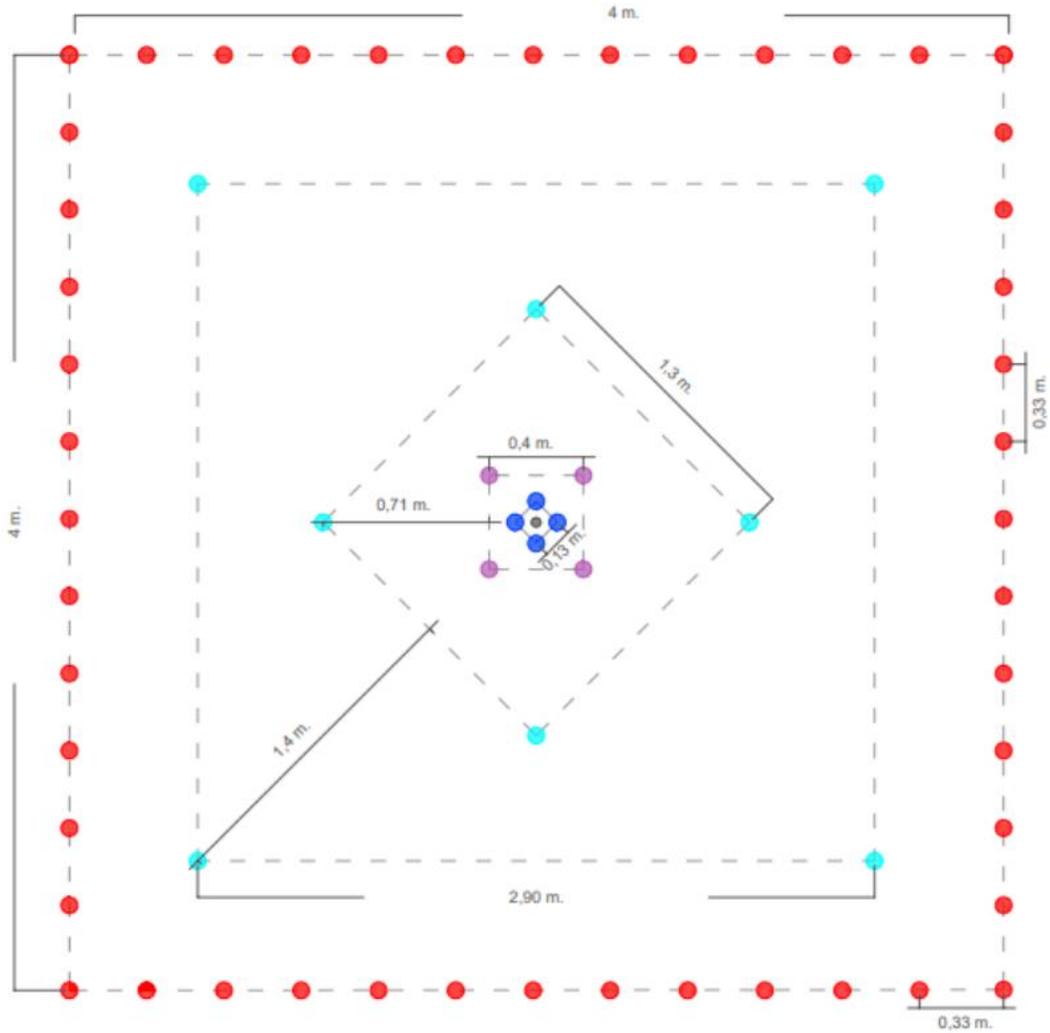
Fuente: Autoría propia

Tabla 3.10 Límites del consumo específico teórico

<b>q<sub>e</sub> teórica inferior</b>	<b>q<sub>e</sub> calculado</b>	<b>q<sub>e</sub> teórico superior</b>
1.23	1.23	1.68

Fuente: Autoría propia

### 3.4.1 Malla de perforación y voladura



LEYENDA	
●	Desfogue
●	Cuele
●	Arranque
●	Ayudas
●	Arrastre

CONCESIÓN MINERA SAN SEBASTIÁN II	
MALLA DE PERFORACIÓN	
PIQUE	
SECCIÓN 4,0 m x 4,0 m	
Elaborado por: Estefanía Mejía R. Angélica Navarro M	
Revisado por: Ing. Federico Auquilla	
Aprobado por: Ing. Federico Auquilla	Noviembre, 2020



### 3.5 Fortificación y/o entibado del pique

Para la determinar la fortificación del pique se va a usar el método establecido por Barton, Lien y Lunde de la siguiente manera:

#### 3.5.1 Índice de calidad de túneles (Q)

Barton, Lien y Lunde proponen las siguientes fórmulas para el cálculo y determinación del ademe o fortificación:

$$Claro = 2 * ESR * Q^{0.4}$$

Para determinar el ESR se procede a analizar la Tabla 2.1, la cual nos dio como resultado de acuerdo a nuestro tipo de excavación lo siguiente:

Tabla 3.11 Valor de ESR.

F. Excavaciones Mineras Permanentes, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles-piloto (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.	1.6
--	-----

Nota: Recuperado de “Manual de mecánica de rocas y estabilidad de túneles y taludes”, de Feijoo, P. 1997.

Calculando:

$$Q = \left( \frac{Claro}{2 * ESR} \right)^{2.5}$$

$$Q = \left( \frac{4}{2 * 1.6} \right)^{2.5}$$

$$Q = 1.7469$$

### 3.5.2 Dimensión equivalente

$$De = \frac{\text{Ancho de la excavacion, diametro o altura.}}{ESR}$$

$$De = \frac{4m}{1.6}$$

$$De = 2.5$$

Procedemos al siguiente ábaco para la determinación de la necesidad o no del ademe o fortificación:

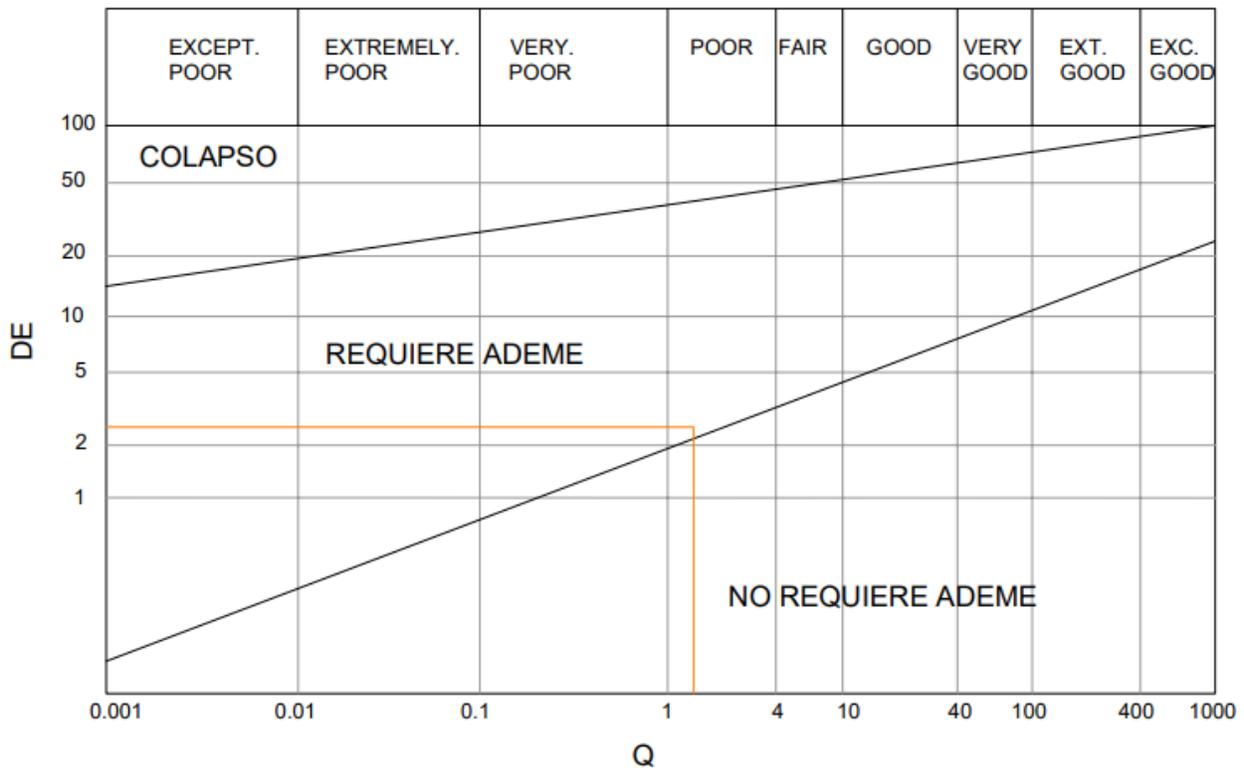


Figura 3.2 Relación de sostenimiento entre el índice Q y la dimensión equivalente.

Nota: Recuperado de “Manual de mecánica de rocas y estabilidad de túneles y taludes”, de Feijoo, P. 1997.

En el cual podemos observar que, si va a ser necesaria una fortificación del pique, por lo tanto, procedemos al siguiente ábaco en el cual determinaremos la categoría para la determinación de la fortificación a utilizar:

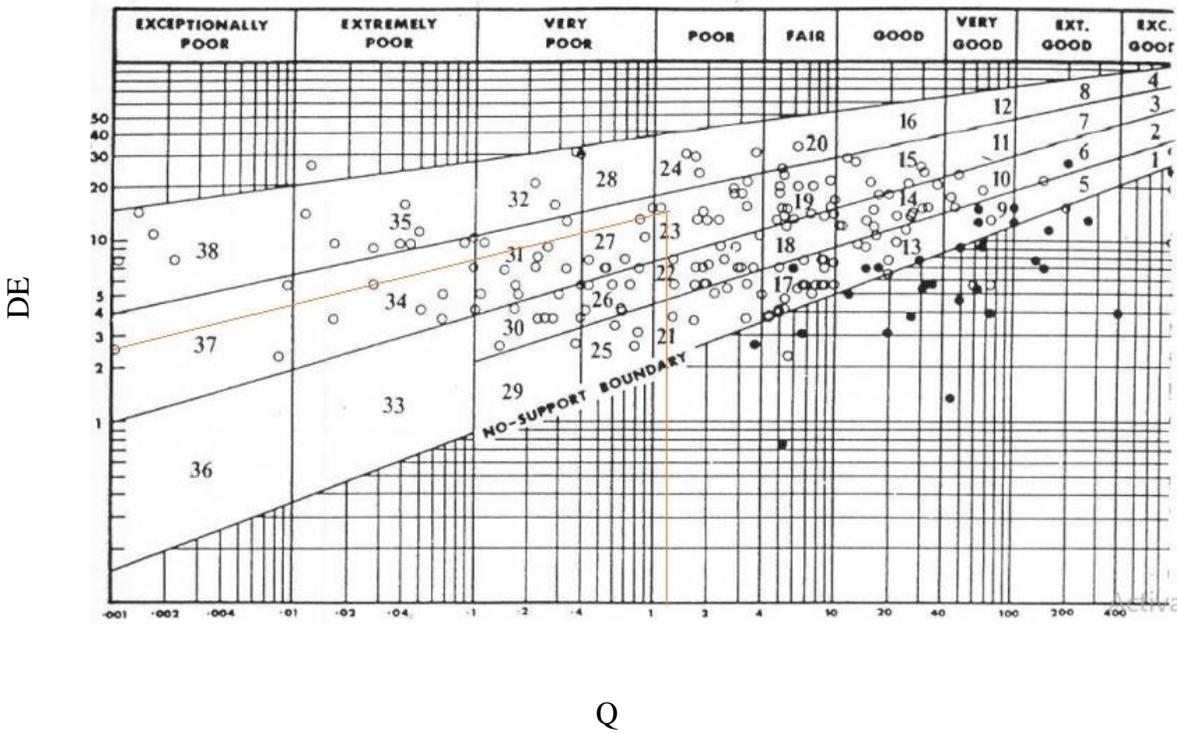


Figura 3.3 Q vs. SPAN/ESR

Nota: Recuperado de “Manual de mecánica de rocas y estabilidad de túneles y taludes”, de Feijoo, P. 1997.

El caso de estudio se ubica en la categoría para la determinación de la fortificación número 23, luego procedemos a revisar la tabla de tipos de fortificación según su categoría, la cual da la fortificación exacta a usar en la construcción del pique.

Tabla 3.12 Tipos de fortificación según su categoría.

Categoría de soporte	Tipo de soporte
23	ES (t) de 1 a 1.5 m. + HL (mr) de 10 a 15 cm. ES (nt) de 1 a 1.5 m. + HL (mr) de 5 a 10 cm.

Nota: Recuperado de “Manual de mecánica de rocas y estabilidad de túneles y taludes”, de Feijoo, P. 1997.

Donde:

Tabla 3.13 Especificaciones a la tabla 9.

<b>ABREVIATURA</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
<b>EP</b>	Empernado Puntual
<b>ES</b>	Empernado Sistemático
<b>Nt</b>	Pernos No Tensionados
<b>T</b>	Pernos Tensionados
<b>HL</b>	Hormigón Lanzado
<b>Mr</b>	Malla Reforzada
<b>ME</b>	Malla de Eslabones
<b>HLA</b>	Hormigón Lanzado Armado
<b>Ar</b>	Acero Reforzado

*Nota: Recuperado de “Manual de mecánica de rocas y estabilidad de túneles y taludes”, de Feijoo, P. 1997.*

Como resultados se obtiene dos alternativas de fortificación:

1. Empernado sistemático con pernos tensionados de 1 a 1.5 m. de largo, más hormigón lanzado con malla reforzada de 10 a 15 cm. de ancho.
2. Empernado sistemático con pernos no tensionados de 1 a 1.5 m. de largo más hormigón lanzado con malla reforzada de 5 a 10 cm. de ancho.

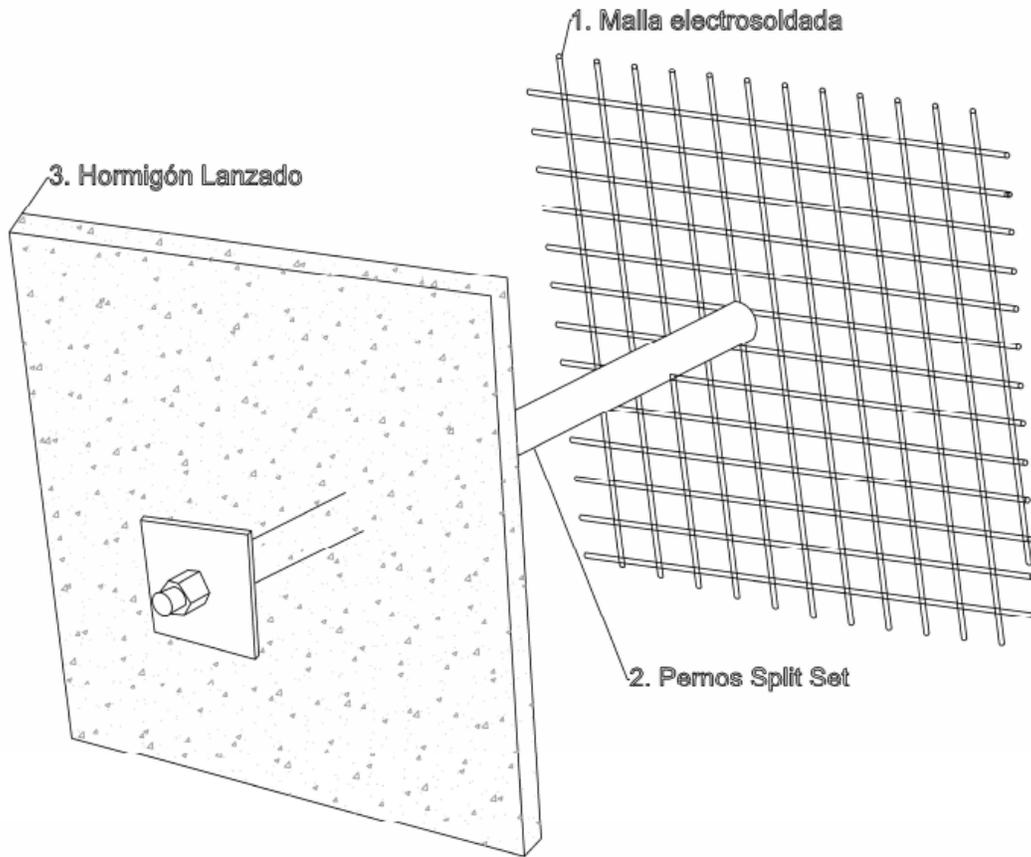


Figura 3.4 Materiales de fortificación.

Fuente: Autoría propia

### 3.6 Utilización del pique a construir

El pique a construir puede ser utilizado de las siguientes maneras:

#### 3.6.1 Circulación del personal

En este caso el pique tiene que ser construido y fortificado de la manera más segura posible, ya que este va a servir para la circulación del personal a los diferentes frentes de trabajo. Las vigas de separación del pique pueden ser de madera o acero, con escaleras y descansos, jaula transportadora o ascensor establecidos por el ingeniero en minas.

De acuerdo a las dimensiones del pique propuesto, no es recomendable que sea construido únicamente para la circulación del personal, porque el área es excesivamente grande y su inversión no es económicamente rentable.

### **3.6.2 Evacuación del material**

El pique al ser construido para la evacuación del material requiere únicamente de fortificación. Su función en específico en transportar el material que fue acarreado previamente de cada nivel a la superficie, es por esto que es necesario construir e instalar tolvas, y el sistema de rieles por donde se pueda desplazar el balde del winche.

La dimensión del pique favorece la instalación de un winche con dos tambores, este mejoraría el proceso de evacuación del material, reduciría tiempos de transporte y optimizaría costos.

### **3.6.3 Combinado**

En minería subterránea, es muy común observar pique combinados, y en este caso en específico, sería una inversión muy rentable, puesto que, al construir un pique de tales dimensiones, puede certificar la seguridad de los trabajadores con un distanciamiento preventivo con respecto al winche.

En este pique, la circulación del personal y la evacuación del material se realiza de manera conjunta. Es así que, se consideraría a esta labor minera como

## CAPÍTULO IV

### ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

#### 4.1 Análisis general de costos

Para el análisis de los costos generales se va a tomar en cuenta únicamente los valores que intervienen directamente en la construcción del pique, no sus complementos.

##### 4.1.1 Costos de perforación y voladura

Para calcular el costo de perforación y voladura, se toma en cuenta los siguientes aspectos: mano de obra, materiales de perforación y accesorios de voladura, de la misma manera al ser un pique que se va a construir de manera ascendente se calculará el valor de alquiler de la maquina Alimak.

#### 1. Mano de obra

Tabla 4.1 Costo de mano de obra por metro de avance.

<b>ROL DE PAGOS</b>								
Cargo	Sueldo \$	Aporte Afiliado \$	Aporte Patronal \$	Décimo Tercer Sueldo \$	Décimo cuarto sueldo \$	Fondos de Reserva \$	Total Mensual \$	Total \$/m
<b>Perforista 1</b>	900	85.05	100.35	75.00	32.83	74.97	997.75	24.45
<b>Perforista 2</b>	900	85.05	100.35	75.00	32.83	74.97	997.75	24.45
<b>Ayudante 1</b>	680	64.26	75.82	56.67	32.83	56.64	761.88	18.67
<b>Ayudante 2</b>	680	64.26	75.82	56.67	32.83	56.64	761.88	18.67
<b>Ingeniero en Minas</b>	2500	236.25	278.75	208.33	32.83	208.25	2713.17	66.50
<b>TOTAL</b>							6232.44	152.76

Fuente: Autoría propia

## 2. Costo perforación

Tabla 4.2 Costo de perforación por metro de avance.

<b>MATERIALES DE PERFORACIÓN</b>				
	<b>Unidad</b>	<b>Precio \$</b>	<b>Vida Útil m/perf</b>	<b>Costo \$/m</b>
<b>Perforadora Yt27</b>		\$ 954.54	2500	\$ 24.82
<b>Broca 41mm</b>	u	\$ 33.00	271	\$ 7.92
<b>Broca 38mm</b>	u	\$ 32.14	271	\$ 7.71
<b>Barra 1.60</b>	u	\$ 125.00	500	\$ 16.25
<b>barra 1.20</b>	u	\$ 107.14	500	\$ 13.93
<b>Taqueador</b>	u	\$ 5.00	30	\$ 0.17
<b>Manguera 1 " Reforzada</b>	m	\$ 4.00		\$ 7.92
<b>Manguera 2 " Reforzada</b>	m	\$ 6.00		\$ 11.98
<b>Aceite</b>	gl	\$ 15.32		\$ 1.90
<b>Total Perforación</b>				\$ 92.59

Fuente: Autoría Propia

## 3. Costos Voladura

Tabla 4.3 Costo de voladura por metro de avance.

<b>MATERIALES Y EXPLOSIVOS DE VOLADURA</b>				
<b>Explosivos y materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio \$</b>	<b>Costo \$/m</b>
<b>Nitrato amonio</b>	Cartuchos	480.00	0.600	211.76
<b>Mecha seguridad</b>	m	120.00	0.880	77.65
<b>Fulminante común N°08</b>	u	60.00	0.260	11.47
<b>Dinamita 1"x7"</b>	Enteros	60.00	4.330	191.03
<b>Periódico</b>	lbs			0.12
<b>Cinta aislante</b>	u			1.07
<b>Total Voladura</b>				<b>493.10</b>

Fuente: Autoría propia

#### 4. Costo alquiler Alimak

Tabla 4.4 Coto de alquiler sistema Alimak por metro de avance.

<b>COSTOS OPERACIONALES JAULA TREPADORA ALIMAK</b>						
<b>Equipo</b>						
<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Día \$</b>	<b>Cantidad Días</b>	<b>Subtotal \$</b>	<b>IVA \$</b>	<b>Costo \$/m</b>
<b>Jaula trepadora</b>	1	433.68	114	49439.52	5932.74	159.44
<b>Total</b>						159.44

Fuente: Autoría propia

#### 5. Costo total por metro de avance

Tabla 4.5 Costo total del metro de avance.

<b>Detalle</b>	<b>Costo metro de avance (\$/m)</b>
<b>Mano de obra</b>	152.76
<b>Materiales de perforación</b>	92.59
<b>Materiales de voladura</b>	493.10
<b>Alquiler Alimak</b>	159.44
<b>TOTAL</b>	<b>897.89</b>

Fuente: Autoría propia

#### 6. Costo total de la construcción del pique desde NV0 a NV5 con 250 m de profundización.

Tabla 4.6 Costo total de construcción del pique.

<b>Detalle</b>	<b>Costo Total</b>
<b>Costo de construcción</b>	\$ 224472.5
<b>Imprevistos 15 %</b>	\$ 33670.87
<b>Total costo de construcción</b>	<b>\$ 258143.37</b>

Fuente: Autoría propia

#### 4.1.2 Costos de fortificación

Para los costos de fortificación se utilizarán tres componentes, en primer lugar, la instalación de una malla reforzada de 10 cm x 10 cm, seguido de una capa de hormigón lanzado el cual tendrá un espesor de 10 cm. y por último la ubicación de los pernos Split Set de 40 mm x 1.5 m, estos serán instalados uno por cada 2 m<sup>2</sup>, dando un total de 1500 pernos.

##### 4.1.2.1 Costos de pernos Split Set de 40 mm x 1.5 m

###### 1. Mano de obra

Tabla 4.7 Costo mano de obra por perno colocado.

ROL DE PAGOS								
Cargo	Sueldo \$	Aporte Afiliado \$	Aporte Patronal \$	Décimo Tercer Sueldo \$	Décimo Cuarto Sueldo \$	Fondos de Reserva \$	Total Mensual \$	Costo por perno \$
Perforista 1	900	85.05	100.35	75.00	32.83	74.97	997.75	1.37
Perforista 2	900	85.05	100.35	75.00	32.83	74.97	997.75	1.37
Ayudante 1	680	64.26	75.82	56.67	32.83	56.64	761.88	1.05
Ayudante 2	680	64.26	75.82	56.67	32.83	56.64	761.88	1.05
<b>TOTAL</b>							<b>1759.64</b>	<b>4.85</b>

Fuente: Autoría propia

###### 2. Costo alquiler jaula trepadora Alimak

Tabla 4.8 Costo alquiler sistema Alimak por perno colocado.

COSTOS OPERACIONALES JAULA TREPADORA ALIMAK							
Equipos	Cantidad	Costo Día \$	Cantidad Días	Subtotal \$	IVA \$	Total Alquiler \$	Costo por perno \$
Jaula trepadora	1.00	433.68	44.00	19081.92	2289.83	21371.75	\$ 6.57
<b>TOTAL</b>						<b>21371.75</b>	<b>6.57</b>

Fuente: Autoría propia

### 3. Perforación e instalación pernos Split Set 40 mm x 150

Tabla 4.9 Costo de perforación para instalación de perno Split Set

<b>COSTO DE PERFORACIÓN E INSTALACIÓN POR PERNO</b>				
<b>Detalle</b>	<b>Precio \$</b>	<b>Vida Útil m</b>	<b>Costo por perno \$</b>	<b>Costo total en pernos \$</b>
<b>Perforadora Yt27</b>	954.54	45000	0.04	53.14
<b>Broca 41 mm</b>	33.00	800	0.07	103.33
<b>Broca 38 mm</b>	32.14	800	0.07	100.64
<b>Barra 1.80</b>	125.00	1300	0.16	240.87
<b>barra 1.20</b>	107.14	1300	0.14	206.45
<b>Adaptador Split Set</b>	90.00	1000	0.15	225.45
<b>Perno Split Set</b>	4.00		5.00	6000.00
<b>Aceite gl</b>	15.32		0.03	30.00
<b>TOTAL</b>			<b>5.65</b>	<b>6959.87</b>

Fuente: Autoría propia

### 4. Costo total por perno colocado

Tabla 4.10 Costo total de perno colocado.

<b>DETALLE</b>	<b>COSTOS POR PERNO</b>
<b>Mano de obra</b>	\$ 4.85
<b>Alquiler Alimak</b>	\$ 6.57
<b>Perforación e instalación</b>	\$ 5.65
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 17.07</b>

Fuente: Autoría propia.

### 5. Costo total de la colocación de perno en el pique construido

Tabla 4.11 Costo total de colocación de pernos Split Set.

<b>Costo de colocación</b>	\$ 25605
<b>Imprevistos 15 %</b>	\$ 3840.75
<b>TOTAL COSTO DE COLOCACIÓN DE PERNOS SPLIT SET</b>	<b>\$ 29445.75</b>

Fuente: Autoría propia

#### 4.1.2.2 Malla electrosoldada

Para el cálculo de costos en la colocación de la malla electro soldada solamente se tomará en cuenta el costo de la malla, debido a que esta es colocada conjuntamente con los pernos Split Set y los costos de mano de obra y maquinaria ya fueron calculados en los costos de colocación de pernos.

#### 1. Costo de malla electrosoldada por metro cuadro

Tabla 4.12 Costo de malla electrosoldada por m<sup>2</sup>

Detalle	Unid.	Cantidad	Precio unitario (\$/m <sup>2</sup> )	Costo por m <sup>2</sup> (\$/m <sup>2</sup> )
Malla electrosoldada con alambres longitudinales y transversales de 5 mm de diámetro espaciados 10x10 cm, según NTE-INEN-2209 y ASTM A 497.	m <sup>2</sup>	1	4.64	4.64
Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	kg	0.01	1.46	0.01
<b>TOTAL</b>				<b>4.65</b>

Fuente: Autoría propia

#### 2. Costo total de instalación malla electrosoldada

Tabla 4.13 Costo total de instalación de malla electrosoldada.

<b>COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE MALLA ELECTROSOLDADA</b>	
Costo de colocación m <sup>2</sup>	\$ 4.65
Metros cuadrados totales	4000
Costo de colocación de malla electrosoldada	\$ 18600
Imprevistos 15 %	\$ 2790
<b>TOTAL COSTO DE COLOCACIÓN MALLA ELECTROSOLDADA</b>	<b>\$ 21390</b>

Fuente: Autoría propia

#### 4.1.2.2 Costo de hormigón lanzado

##### 1. Mano de obra

Tabla 4.14 Costo de mano de obra de hormigón lanzado por m<sup>2</sup> de avance.

<b>ROL DE PAGOS</b>								
<b>Cargo</b>	<b>Sueldo \$</b>	<b>Aporte Afiliado \$</b>	<b>Aporte Patronal \$</b>	<b>Décimo Tercer Sueldo \$</b>	<b>Décimo cuarta sueldo \$</b>	<b>Fondos de Reserva \$</b>	<b>Total Mensual \$</b>	<b>Total \$/m<sup>2</sup></b>
<b>Albañil</b>	600	56.70	66.90	50.00	32.83	49.98	676.11	1.92
<b>Ayudante de Albañil</b>	500	47.25	55.75	41.67	32.83	41.65	568.90	1.62
<b>Peón de albañil</b>	500	47.25	55.75	41.67	32.83	41.65	568.90	1.62
<b>TOTAL</b>							<b>1813.91</b>	<b>5.15</b>

Fuente: Autoría propia

##### 2. Maquinaria

Tabla 4.15 Costo de maquinaria para colocación de hormigón lanzado por m<sup>2</sup> de avance.

<b>Maquinaria</b>	<b>Precio \$/h</b>	<b>Precio día</b>	<b>Precio \$/m<sup>2</sup></b>
<b>Gunitadora de hormigón 24 CV.</b>	8.84	106.08	1.66
<b>Jaula trepadora</b>	72.28	433.68	6.78
<b>TOTAL</b>			<b>8.43</b>

Fuente: Autoría propia

### 3. Materiales

Tabla 4.16 Costo de materiales para hormigón lanzado por m<sup>2</sup> de avance.

<b>MATERIALES PARA HORMIGÓN LANZADO</b>				
<b>Materiales</b>	<b>Unid.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio unitario.</b>	<b>Precio Total \$/m<sup>2</sup></b>
<b>Zahorra de machaqueo</b>	t	0.05	11.23	0.56
<b>Grava de Ø = 20 a 30 mm.</b>	t	0.15	8.58	1.29
<b>Encofrado de tabique de ladrillos cerámicos de hueco doble, de 24 x 11,5 x 7 cm.</b>	m <sup>2</sup>	0.10	24.34	2.43
<b>Malla electrosoldada 10 x 10 cm y Ø 5-5 mm</b>	m <sup>2</sup>	2.20	5.05	11.11
<b>Hormigón para gunitar, cemento y agregados especiales, f'c = 350 Kg/cm<sup>2</sup> (35 MPa), clase de exposición F3 S0 P1 C2, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, consistencia blanda, dosificación de cemento mayor de 400 Kg/m<sup>3</sup>.</b>	m <sup>3</sup>	0.16	274.60	43.94
<b>TOTAL</b>				<b>59.33</b>

Fuente: Autoría propia

### 4. Costo total de hormigón lanzado

Tabla 4.17 Costo total de colocación de hormigón lanzado.

<b>COSTO TOTAL HORMIGÓN LANZADO</b>	
<b>Costo total de m<sup>2</sup> de hormigón lanzado</b>	\$ 72.91
<b>Metros cuadrados totales</b>	4000 m <sup>2</sup>
<b>Costo de Hormigón lanzado</b>	\$ 291 640
<b>Imprevistos 15%</b>	\$ 43 746
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 335 336</b>

Fuente: Autoría propia

#### 4.1.2.4 Costo total de fortificación

Tabla 4.18 Costo total de fortificación del pique

<b>COSTO TOTAL DE FORTIFICACIÓN</b>	
<b>Costos de pernos Split Set</b>	\$ 29445.75
<b>Costo de la malla electrosoldada</b>	\$ 21 390
<b>Costo de hormigón lanzado</b>	\$ 335 336
<b>TOTAL COSTO DE FORTIFICACIÓN</b>	<b>\$ 386171.75</b>

Fuente: Autoría propia

#### 4.2 Costos de explotación y fortificación del pique

Tabla 4.19 Costo total de explotación y fortificación del pique.

<b>COSTO TOTAL DE EXPLOTACIÓN Y FORTIFICACIÓN DEL PIQUE</b>	
<b>Costos de perforación y voladura</b>	\$ 258 143.37
<b>Costos de fortificación</b>	\$ 386 171.75
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 644 315.12</b>

Fuente: Autoría propia

## CONCLUSIONES

- El pique está diseñado de acuerdo a las siguientes dimensiones: 4 m x 4 m x 250 m. y constará de 5 niveles, los cuales tendrán las siguientes cotas: el nivel 0 con 142.38 m.s.n.m., el nivel 1 con 101.38 m.s.n.m., el nivel 2 con 50.74 m.s.n.m., con el nivel 3 con -8.60 m.s.n.m., el nivel 4 con -67.30 m.s.n.m., el nivel 5 con -116.82 m.s.n.m.
- Para el diseño de la malla de perforación y voladura se utilizó el modelo de Langefors y Kilhström, el cual arrojó como resultado, 65 perforaciones, las cuales serán realizadas de manera ascendente con la ayuda de la jaula trepadora del sistema Alimak.
- Para la voladura se propone utilizar, el fulminante común n° 08 y dinamita 1" x 7" de la fábrica de explosivos EXPLOCEN C.A.
- Según el análisis de costos de construcción que se realizó en este estudio, el costo por metro de avance es de \$ 897.89 y la inversión total es de \$ 258143.50, tomando en cuenta los costos unitarios que intervienen directamente en: la mano de obra, los materiales de perforación - voladura y la maquinaria utilizada.
- Para determinar los materiales y el tipo de fortificación necesaria se utilizó el postulado de Barton, Lien y Lunde, con el cual concluye que se debe utilizar malla electrosoldada, pernos y hormigón lanzado.
- La fortificación del pique, en caso de ser necesaria y evaluada por la empresa Minervilla, tendrá un valor de \$ 386171.75, esta fortificación constará de una malla electro soldada de 10 cm x 10 cm., adicionalmente la ubicación de pernos Split set los cuales estarán cada 2m.<sup>2</sup> y por último una capa de hormigón lanzado con un espesor de 10 cm.

- La construcción del pique será realizada en doble turno y este tendrá una duración de noventa y dos días aproximadamente y de la misma manera la fortificación se la realizará en cuarenta y cuatro días con dos turnos de trabajo.

## **RECOMENDACIONES**

- Verificar la calidad de la roca conforme se avanza con la excavación del pique para determinar el tipo de fortificación requerida, la ausencia de esta o la modificación a la fortificación planteada.
- Este estudio debe ser complementado con el análisis de costos de la evacuación del material resultante de la construcción del pique.
- Se debe analizar si la ventilación actual y las implementaciones que tiene la mina son suficientes para abastecer las necesidades del pique, caso contrario se tendrán que evaluar los complementos a instalar.
- Los datos obtenidos en la malla de perforación son teóricos y deben ser comprobados al momento de la construcción del pique. En caso de que la malla de perforación cambie se debe recalcular los datos y materiales de la voladura.
- Analizar los costos calculados y cotejarlos con datos reales, porque puede incrementar o disminuir el personal, materiales y equipos establecidos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, C. (2014). Diseño de excavación para profundizar el “pique de fierro” ubicado en el área “Ciruelo Unificado” operado por la Compañía Minesadco S.A. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Blanco, R. (1984). FORTIFICACIÓN E EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS.  
URI: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3103>  
file:///C:/Users/adm/Downloads/BlancoTorrensF%20(1).pdf
- Cáceda, J & Pérez, J. (2015). Proyecto pique central para explotación debajo de nivel 1400 - Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C. Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo, Perú.
- Cárdenas, L & Gavilanes, M. (2018). Análisis y optimización de costos de producción del sistema de explotación de minerales metálicos, caso de aplicación Produmin S.A. y Minervilla Cía. Ltda. Universidad del Azuay, Ecuador.
- Carpio, D. (2016). Construcción del pique 35 del nivel 7 al 12 veta tres ranchos Ecuador. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.
- Cervantes, M; Pasapera, D; Sandoval, C & Sussoni, M. (2013). “Año de la Inversión para el desarrollo rural y la seguridad alimentaria”. Universidad Nacional de Piura, Perú.
- Correa, A. (1991). GALERÍAS MINERAS La modelización analítica como una ayuda Geomecánica para el diseño minero. Medellín, Colombia.
- Escuela Técnica Superior De Ingeniería En Minas. (2007). *Diseño de explotaciones e infraestructuras mineras subterráneas*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Feijoo, P. (1997). *Manual de mecánica de rocas y estabilidad de túneles y taludes*. Universidad del Azuay. Ecuador

- Fernández, C & Ramírez, C. (2018). Estudio de sistemas de fortificación para la mina subterránea “OLKUSZ-POMORZANY” de Polonia. Universidad de Concepción. Polonia.
- Jáuregui, I. (2015). “*Estudio técnico económico de la profundización mediante el pique inclinado 043 niveles 18 al 20 Veta Esperanza – Mina Casapalca*”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.
- López, V. (2017). Mapeo geotécnico para diseñar la fortificación a aplicarse en la falla “Los Ratones” ubicada en la mina Sominur, sector la cascada, nivel principal, localizada en el Cantón camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Mamani, D. (2018). Diseño Geotécnico Del Crucero Xc 410, Mina Shalca. PASCO.
- Minervilla Cía. Ltda. (2016). Informe de producción. Camilo Ponce Enríquez, Ecuador.
- Minervilla Cía. Ltda. (2018). Informe de producción. Camilo Ponce Enríquez, Ecuador.
- Minervilla Cía. Ltda. (2020). Informe de producción. Camilo Ponce Enríquez, Ecuador.
- Palomino, J. (2015). ¿Qué es una rampa? Universidad Nacional de Huancavilca. Lircay, Perú.
- Polo García, B. E. (2017). Contabilidad de costos en la alta gerencia: Teórico – Práctico. Bogotá: Grupo Editorial Nueva Legislación SAS.
- Rojas, M. (2009). Descripción cuantitativa de los procesos de extracción y reducción de mineral en la minería de cobre a cielo abierto. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Rosso, D. (2010). FORTIFICACIÓN EN MINAS. Antofagasta, Chile.
- Salinas, C. (1998). Construcción de túneles, piques y chimeneas. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Sambachi, O. (2016). Diseño de excavación del pique en la mina frente Adriano área minera El

Guayabo (código 225) operado por la compañía Planbeoro S.A. ubicada en la provincia de El Oro, cantón Santa Rosas. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Sarango, W. 2017. Levantamiento geológico estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la compañía Minervilla cía. Ltda., ubicada en el cantón camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

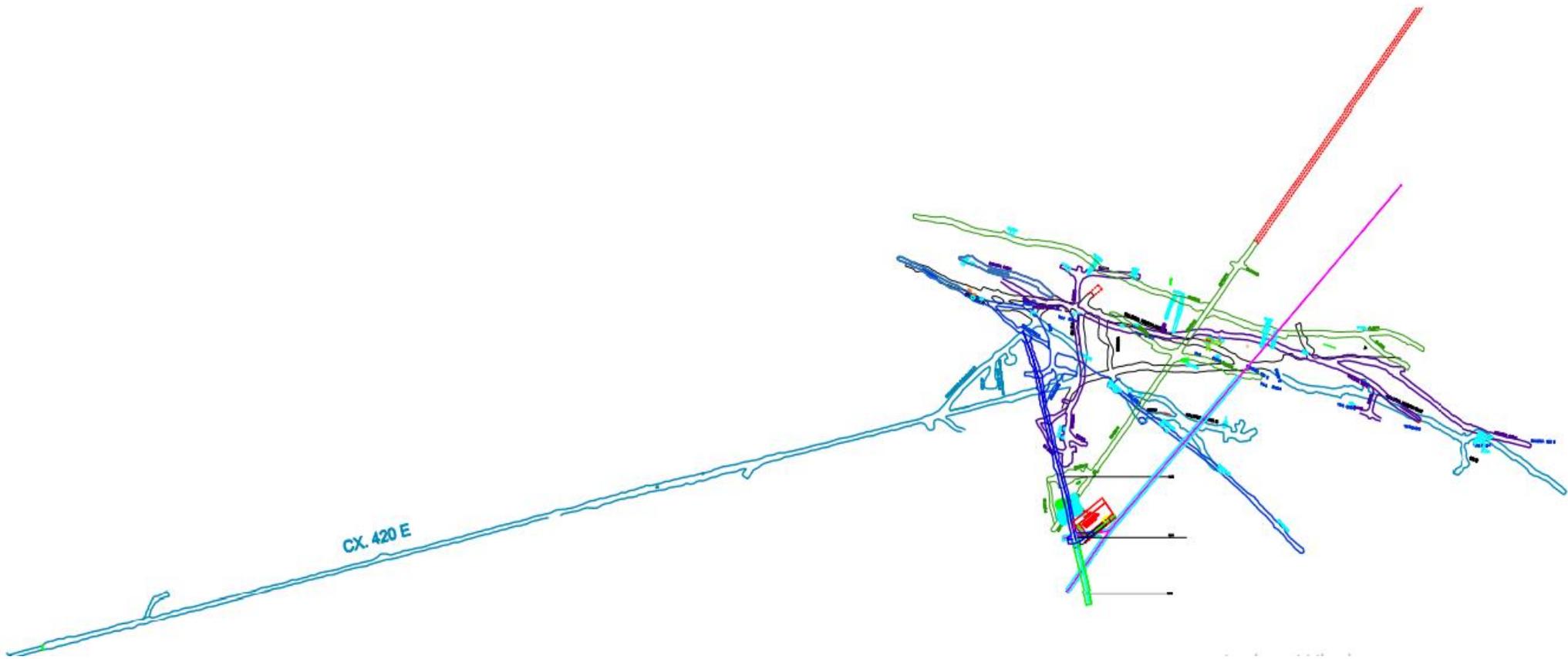
Vásquez, A. (2001). Introducción a la geomecánica petrolera. Caracas: V.V.A Consultores, C.A.

Vega, A. (2013). Cálculo de Reservas de la Veta “Paraíso” Mina Paraíso – Distrito Ponce Enríquez. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador

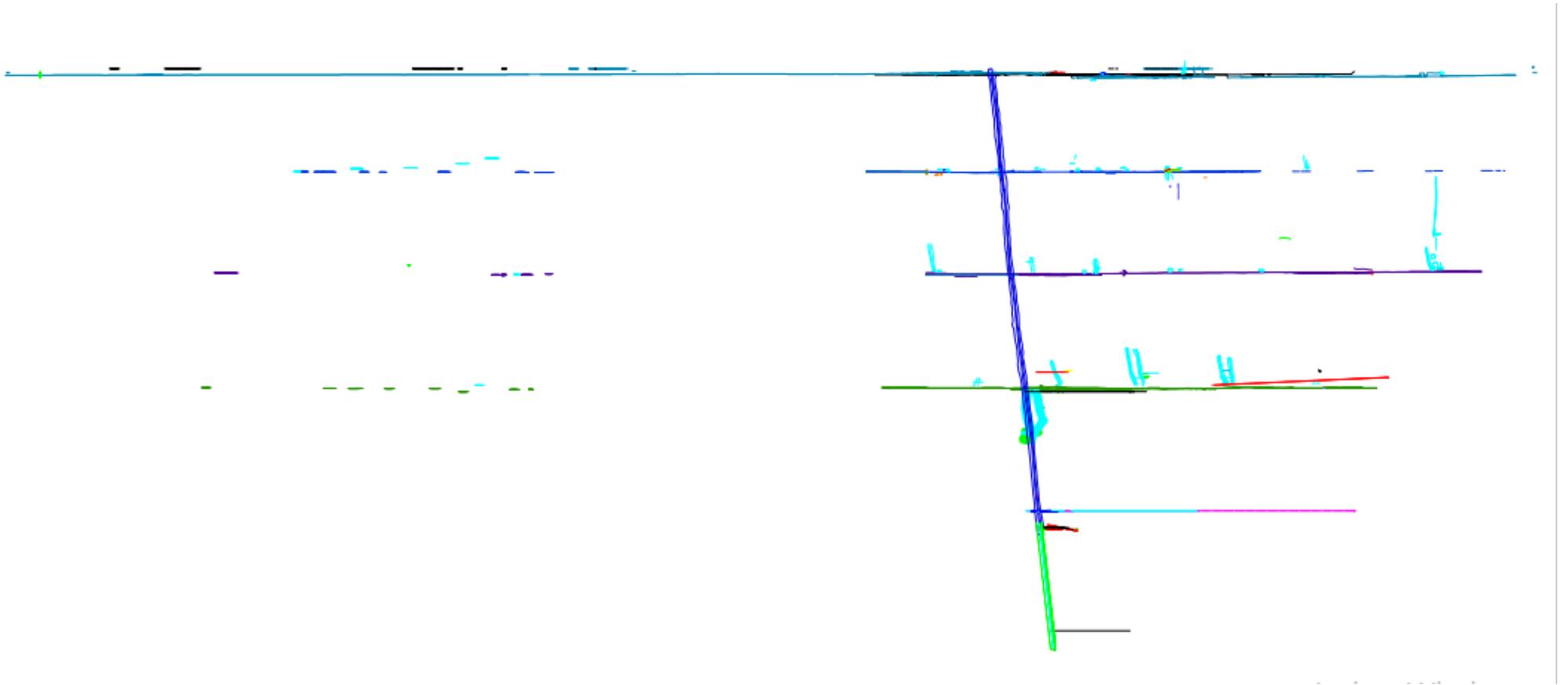
Vega, M. (2020). Geotecnia Minera. Presentación.

## ANEXOS

Anexo 1 Topografía Subterránea Vista Superior



Anexo 2 Topografía subterránea vista frontal



Anexo 3 Tipo de fortificación según sus categorías

Categoría de soporte	Tipo de soporte
1	EP (nt)
2	EP (nt)
3	EP (nt)
4	EP (nt)
5	EP (nt)
6	EP (nt)
7	EP (nt)
8	EP (nt)
9	EP (nt)
	ES (nt) 2.5 a 3 m
10	ES (nt) 2 a 3 m
	ES (nt) 1.5 a 2 m + ME
11	ES (t) 2 a 3 m
	ES (t) 1.5 a 2 m + ME
12	ES (t) 2 a 3 m
	ES (t) 1.5 a 2 m + ME
13	EP (nt)
	ES (t) 1.5 a 3 m
	ES (t) 1.5 a 2 m + HL de 2 a 3 cm
14	ES (t) 1.5 a 2 m + ME
	ES (t) 1.5 a 2 m + HL de (mr) de 5 a 10 cm
	ES (nt) 1.5 a 2 m + ME
15	ES (t) 1.5 a 2 m + ME
	ES (t) 1.5 a 2 m + HL de (mr) de 5 a 10 cm
16	ES (t) 1.5 a 2 m + ME
	ES (t) 1.5 a 2 m + HL de (mr) de 10 a 15 cm
17	EP (nt)
	ES (nt) 1 a 1.5 m
	ES (nt) 1 a 1.5 m + HL de 2 a 3 cm
	HL de 2 a 3 cm
18	ES (t) 1 a 1.5 m + ME
	ES (nt) 1 a 1.5 m + ME
	ES (t) 1 a 1.5 m + HL de 2 a 3 cm
	ES (nt) 1 a 1.5 m + HL de 2 a 3 cm
19	ES (t) 1 a 2 m + HL de (mr) de 10 a 15 cm
	ES (t) 1 a 1.5 m + HL de (mr) de 5 a 10 cm
20	ES (t) 1 a 2 m + HL de (mr) de 20 a 25 cm
	ES (t) 1 a 2 m + HL de (mr) de 10 a 20 cm
21	ES (t) 1 m + HL de 2 a 3 cm
	HL de 2.5 a 5 cm
	ES (nt) de 1 m
22	ES (nt) de 1 m + ME

	HL de 2.5 a 7.5 cm
	ES (nt) de 1 m + HL de (mr) de 2.5 a 5 cm
	ES (nt) de 1 m
23	ES (t) de 1 a 1.5m +HL (mr) de 10 a 15 cm.
	ES (nt) de 1 a 1.5m +HL (mr) de 5 a 10 cm.
24	ES (t) de 1 a 1.5m +HL (mr) de 15 a 30 cm.
	ES (t) de 1 a 1.5m +HL (mr) de 10 a 15 cm.
25	ES (nt) de 1 m + mr o ME
	ES (nt) de 1 m + HL (mr) de 5 cm
	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 5 cm
26	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 5 a 7.5 cm
	ES (nt) de 1 m + HL de 2.5 a 5 cm
27	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 7.5 a 10 cm
	ES (nt) de 1 m + HL (mr) de 5 a 7.5 cm
	HLA (ar) de 20 a 40 cm + ES (t) de 1 m
	HL (mr) de 10 a 20 cm + ES (t) de 1 m
28	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 30 a 40 cm
	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 20 a 30 cm
	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 15 a 20 cm
	HLA (ar) de 30 a 100 cm + ES (t) de 1 m
29	ES (nt) de 1 m + HL de 2 a 3 cm
	ES (nt) de 1 m + HL (mr) de 5 cm
	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 5 cm
30	ES (t) de 1 m + HL de 2.5 a 5 cm
	HL (mr) de 5 a 7.5 cm
	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 5 a 7.5 cm
31	ES (nt) de 1 m + HL (mr) de 5 a 12.5 cm
	HL (mr) de 7.5 a 25 cm
	HLA de 20 a 40 cm + ES (t) de 1 m
	HLA (ar) de 30 a 50 cm + ES (t) de 1 m
32	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 40 a 60 cm
	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 20 a 40 cm
33	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 2.5 a 5 cm
	HL (mr) de 5 a 10 cm
	HL (mr) de 7.5 a 15 cm
34	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 5 a 7.5 cm
	HL (mr) de 7.5 a 15 cm
	HL (mr) de 15 a 25 cm
	HLA (ar) de 20 a 60 cm + ES (t) de 1 m
35	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 30 a 100 cm
	HLA de 60 a 200 cm + ES (t) de 1 m
	ES (t) de 1 m + HL (mr) de 20 a 75 cm
	HLA de 40 a 150 cm + ES (t) de 1 m
36	HL (mr) de 10 a 20 cm
	HL (mr) de 10 a 20 cm + ES (t) de 0.5 a 1 m

37	HL (mr) de 20 a 60 cm
	HL (mr) de 20 a 60 cm + ES (t) de 0.5 a 1 m
38	HLA (ar) de 100 a 300 cm
	HLA (ar) de 100 a 300 cm + ES (t) de 1 m
	HL (mr) de 70 a 200 cm

Anexo 4 Fotos



