



Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**  
**Facultad de la Energía, las Industrias  
y los Recursos Naturales no Renovables**

**Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**

**“Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisca Sarango, Código: 690680”.**

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

**AUTOR:**

Javier Alexander Cabrera Alvarado

**DIRECTOR:**

Ing. Hernán Luis Castillo García. PhD

Loja – Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 30 de abril de 2024

Ing. Hernán Luis Castillo García. PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Estudio Geológico-Geotécnico del Crucero Principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría del estudiante **Javier Alexander Cabrera Alvarado**, con **cédula de identidad Nro. 1105670879**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa

Ing. Hernán Luis Castillo García. PhD.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Javier Alexander Cabrera Alvarado**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1105670879

**Fecha:** 30-04-2024

**Correo electrónico:** [jacabrearaa@unl.edu.ec](mailto:jacabrearaa@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0981145457



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

**Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y /o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Javier Alexander Cabrera Alvarado**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **“Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisca Sarango, Código: 690680”**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los treinta días del mes de abril del dos mil veinte y cuatro

**Firma:**

**Autor:** Javier Alexander Cabrera Alvarado

**Cédula:** 1105670879

**Dirección:** Loja- El churo (Av. Santa Marianita de Jesús)

**Correo electrónico:** jacabrearaa@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0981145457

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Hernán Luis Castillo García. PhD.

## **Dedicatoria**

Mi agradecimiento profundo con Dios, por el amor inmenso y la sabiduría que me ha regalado.

A mis padres y hermanos con mucho cariño por el sacrificio que han hecho para darme educación y buenos valores, a mi esposa e hijo por el apoyo y amor incondicional.

Con amor ...

*Javier Alexander Cabrera Alvarado...*

## **Agradecimiento**

Mis agradecimientos sinceros a la Universidad Nacional De Loja, a la carrera de Geología Ambiental Y Ordenamiento Territorial, por su ferviente labor de formar profesionales de excelencia y calidad, y desde luego un inmenso y afectuoso saludo de agradecimiento a cada uno de los docentes de esta maravillosa carrera, que han sabido impartir sus conocimientos y experiencia con gran determinación y sin reserva alguna.

Al Ingeniero Hernán Castillo, director del trabajo de titulación y gran amigo, un saludo especial por ser un profesional de calidad y un gran ser humano, que ha sabido apoyarme y guiarme durante este proceso de titulación y etapa universitaria.

Finalmente, un saludo, a cada una de las personas que me supieron dar su apoyo de alguna manera, haciendo posible el desarrollo de este trabajo de investigación, infinitas gracias...

*Javier Alexander Cabrera Alvarado...*



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Índice de contenidos

Portada .....	i
Certificación.....	ii
Autoría .....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos .....	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
2. Resumen.....	2
3. Introducción .....	4
4. Marco teórico .....	7
4.1. Topografía.....	7
4.1.1. Operaciones topográficas .....	7
4.1.2. Levantamiento topográfico .....	7
4.1.4. Control.....	8
4.1.5. Tipos de levantamiento .....	8
4.1.6. Métodos topográficos.....	8
4.1.7. Fotogrametría .....	8
4.2. Geología.....	9
4.2.1. Geología estructural .....	9
4.2.2. Hidrogeología.....	9
4.3. Caracterización geotécnica .....	10
4.3.1. Geotecnia.....	10



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

4.3.2.	Estudio geológico – geotécnico.....	10
4.4.	Caracterización del macizo rocoso .....	10
4.4.1.	Estado tensional.....	11
4.4.2.	Tensiones naturales .....	11
4.5.	Métodos empíricos: Clasificación geomecánica.....	13
4.5.1.	Clasificación RMR de Bieniawski .....	14
4.5.2.	Q de Barton .....	19
4.5.3.	GSI (Hoek, 1994; Hoek, Kaiser y Brown, 1995) .....	26
4.6.	Métodos numéricos.....	27
4.7.	Métodos de construcción de chimeneas.....	28
4.7.1.	Diseños de chimeneas .....	29
4.7.2.	Diseño y construcción con el sistema PEM .....	29
4.8.	Sostenimiento en minería.....	30
4.8.1.	Entibación de madera .....	31
4.8.2.	Cuadros y cerchas metálicas .....	31
4.8.3.	Concreto .....	31
4.8.4.	Pernos de anclaje.....	31
4.8.5.	Sostenimiento de galerías con bulones.....	31
5.	Metodología .....	33
5.1.	Zona de estudio .....	33
5.1.1.	Ubicación .....	33
5.1.2.	Acceso.....	34
5.1.3.	Geología Regional .....	35
5.1.4.	Descripción de las actividades en el área de estudio .....	36
5.1.5.	Procedimiento .....	37





unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

6. Resultados .....	50
- Relieve .....	50
6.1. Topografía Superficial .....	50
6.2. Topografía subterránea .....	51
6.3. Geomorfología .....	52
6.4. Marco Geológico .....	53
6.4.1. Geología del área de estudio .....	53
6.5. Geotecnia local.....	61
6.5.1. Estaciones geotécnicas.....	61
6.5.2. Caracterización del Macizo Rocoso.....	61
6.6. Propuesta de diseño de chimenea .....	94
7. Discusión.....	98
8. Conclusiones .....	101
9. Recomendaciones .....	105
10. Bibliografía .....	106
Libros .....	106
Paginas Web.....	107
11. Anexos .....	108



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Índice de tablas:

<b>TABLA 1.</b> CLASIFICACIÓN DE LA ROCA DE ACUERDO A RQD.....	15
<b>TABLA 2.</b> VALORES DE PERSISTENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES .....	15
<b>TABLA 3.</b> RANGOS DE ABERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES.....	16
<b>TABLA 4.</b> RANGOS DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES .....	16
<b>TABLA 5.</b> RANGOS DE RELLENO DE LAS DISCONTINUIDADES .....	16
<b>TABLA 6.</b> RANGOS DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES .....	17
<b>TABLA 7.</b> PRESENCIA DE AGUA.....	17
<b>TABLA 8.</b> ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES.....	18
<b>TABLA 9.</b> CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO CON RELACIÓN AL ÍNDICE RMR .....	18
<b>TABLA 10.</b> CLASIFICACIÓN DEL MACIZO DE ACUERDO A Q DE BARTON.....	19
<b>TABLA 11.</b> ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA.....	20
<b>TABLA 12.</b> VALORES DEL ÍNDICE DE DIACLASADO (JN) .....	20
<b>TABLA 13.</b> VALORES DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES (JR).....	21
<b>TABLA 14.</b> VALORES DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (JA) .....	22
<b>TABLA 15.</b> ÍNDICE REDUCTOR POR LA PRESENCIA DE AGUA (JW).....	23
<b>TABLA 16.</b> VALORES DE REDUCCIÓN POR TENSIONES (SRF) .....	24
<b>TABLA 17.</b> PROGRAMAS COMERCIALES PARA LA MODELIZACIÓN NUMÉRICA. ....	27
<b>TABLA 18.</b> VÉRTICES DEL ÁREA DE ESTUDIO, REFERENCIA EN WGS 84 .....	34
<b>TABLA 19.</b> VÉRTICES DEL ÁREA DE ESTUDIO, REFERENCIA EN PSAD 56.....	34
<b>TABLA 20.</b> PUNTOS DE LA RED GEODÉSICA LOCAL .....	37
<b>TABLA 21.</b> CARTILLA DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO.....	42
<b>TABLA 22.</b> CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN RMR <sub>89</sub> .....	44
<b>TABLA 23.</b> TABLA DE VALORACIÓN RMR <sub>89</sub> .....	45
<b>TABLA 24.</b> CLASIFICACIÓN DEL MACIZO DE ACUERDO A LA Q DE BARTON .....	45
<b>TABLA 25.</b> RESUMEN DE DATOS GEOTÉCNICOS TOMADOS EN CAMPO .....	47
<b>TABLA 26.</b> VÉRTICES DEL ÁREA DE ESTUDIO, REFERENCIA EN WGS 84 .....	51
<b>TABLA 27.</b> PUNTOS TOPOGRÁFICOS INTERIOR MINA EN WGS 84.....	51
<b>TABLA 28:</b> CATEGORÍAS DE RMR LAUBSCHER 1990.....	62



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Índice de figuras:

<b>FIGURA 1.</b> DEFINICIÓN ILUSTRATIVA DE MACIZO ROCOSO Y ESTRUCTURA .....	10
<b>FIGURA 2:</b> ESTADO TENSIONAL EN EL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO EN UNA GALERÍA.....	12
<b>FIGURA 3:</b> EFECTOS QUE CONTRIBUYEN A SEPARAR EL CAMPO DE TENSIÓN NATURAL DEL ELÁSTICO Y QUE DEBEN SER TENIDOS EN CUENTA PARA ESTIMAR DICHO CAMPO).....	12
<b>FIGURA 4:</b> TENSIÓN VERTICAL EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD, A PARTIR DE MEDIDAS DEL CAMPO TENSIONAL NATURAL “IN SITU”).....	13
<b>FIGURA 5:</b> ORIENTACIÓN DE LA EXCAVACIÓN EN RELACIÓN A LAS CAPAS .....	19
<b>FIGURA 6.</b> TABLA DE VALORACIÓN DE GSI.....	26
<b>FIGURA 7.</b> MÉTODOS PARA EXCAVAR CHIMENEAS.....	28
<b>FIGURA 8.</b> SECUENCIA DEL CICLO DE MINADO DEL SISTEMA PEM. ....	30
<b>FIGURA 9:</b> CREACIÓN DEL EFECTO ARCO CON EL BULONAJE. ....	32
<b>FIGURA 10.</b> UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	33
<b>FIGURA 11.</b> ACCESO HACIA EL ÁREA DE ESTUDIO.....	35
<b>FIGURA 12.</b> ACCESO HACIA EL ÁREA DE ESTUDIO.....	36
<b>FIGURA 13.</b> ARRASTRE DE LA POLIGONAL ABIERTA HASTA LA BOCAMINA .....	38
<b>FIGURA 14.</b> LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO INTERIOR MINA .....	39
<b>FIGURA 15.</b> PRESENTACIÓN PREVIA DEL CRUCERO PRINCIPAL GABY .....	39
<b>FIGURA 16.</b> LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO SUPERFICIAL .....	40
<b>FIGURA 17.</b> ESQUEMA DE TOPOGRAFÍA SUPERFICIAL .....	40
<b>FIGURA 18.</b> TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES INTERIOR MINA .....	41
<b>FIGURA 19.</b> TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES EN AFLORAMIENTO ROCOSO .....	42
<b>FIGURA 20.</b> CRITERIOS PARA DETERMINAR EL GSI .....	46
<b>FIGURA 21.</b> MUESTRAS RECOLECTADAS EN CAMPO .....	47
<b>FIGURA 22:</b> INGRESO DE DATOS EN EL PROGRAMA PHASE 2.....	48
<b>FIGURA 23:</b> INGRESO DE DATOS ESTRUCTURALES Y TENSO-DEFORMACIONALES EN EL SOFTWARE UNWEDGE .....	49
<b>FIGURA 24.</b> CAMPAMENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	50
<b>FIGURA 25.</b> PANORÁMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	51
<b>FIGURA 26.</b> VISTA DEL CRUCERO GABY .....	52
<b>FIGURA 27.</b> GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	53



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

<b>FIGURA 28.</b> AFLORAMIENTO DE ANDESITA BASÁLTICA .....	54
<b>FIGURA 29.</b> EJEMPLO DE ANDESITA BASÁLTICA CON TEXTURA PORFIRÍTICA .....	54
<b>FIGURA 30.</b> AFLORAMIENTO DE ANDESITA PORFIDÍTICA, CON PRESENCIA DE DIACLASAS RELLENAS .....	55
<b>FIGURA 31.</b> TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES (DIP, DIP/DIRECTION).....	55
<b>FIGURA 32.</b> CONCRECIONES DESARROLLADAS EN LA ROCA ANDESÍTICA.....	56
<b>FIGURA 33.</b> ALTERACIONES DE LA ROCA, INTERIOR MINA .....	57
<b>FIGURA 34.</b> LIXIVIACIONES EN LA ROCA .....	57
<b>FIGURA 35.</b> VETA ANITA.....	59
<b>FIGURA 36.</b> VETA ANITA Y MINERALES ASOCIADOS.....	59
<b>FIGURA 37.</b> FALLA NORMAL IDENTIFICADA EN CAMPO.....	60
<b>FIGURA 38:</b> DISEÑO DE CHIMENEA.....	97

### Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b> Formato de mapeo geológico –estructural.....	108
<b>Anexo 2.</b> Formato de mapeo geotécnico.....	110
<b>Anexo 3.</b> Mapa de la topografía superficial.....	112
<b>Anexo 4.</b> Mapa de pendientes.....	113
<b>Anexo 5.</b> Mapa de Topografía subterránea.....	114
<b>Anexo 6.</b> Mapa geomorfológico.....	115
<b>Anexo 7.</b> Mapa de la geología superficial.....	116
<b>Anexo 8.</b> Mapa de la geología estructural subterránea.....	117
<b>Anexo 9.</b> Mapa geotécnico según la clasificación RMR.....	118
<b>Anexo 10.</b> Mapa geotécnico según Q de Barton.....	119
<b>Anexo 11.</b> Diseño de Chimenea.....	120
<b>Anexo 12.</b> Certificado de traducción del resumen.....	121



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

## 1. Título:

**“Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680”.**

## 2. Resumen

La mina Narcisa establece sus operaciones de producción desde el año 2013, mediante el sistema de minado subterráneo, utilizando el método de cámaras y pilares con una variante de “Sublevel Stopping” y por corte y relleno ascendente; se ubica en la parte suroccidental de la parroquia La Victoria, perteneciente al Cantón Macará, provincia de Loja y el proceso de beneficio mineral lo realiza en Portovelo, en el sector El Pache.

Describiendo la infraestructura interior mina, no cuenta con sostenimiento adecuado, además, el sistema de ventilación utilizado es natural y en ciertas ocasiones por aire comprimido, actualmente su mayor reto es la evacuación rápida de gases de voladura, consecuentemente el rendimiento de las operaciones no es el óptimo ni el requerido, transmitiendo estas falencias a su personal.

Por otra parte, la falta de un control topográfico, geológico y geotécnico sumado a la ausencia de una planificación minera, hace que los trabajos realizados sean obsoletos y económicamente perjudiciales para la empresa minera.

El presente trabajo radica en la preocupación por parte del personal administrativo en hacer un estudio para mejorar la selectividad de las operaciones de producción y continuar el minado para la extracción de mineral, tomando en cuenta establecer las condiciones óptimas de trabajo en las cuales sobresale una buena ventilación de las labores, un buen sostenimiento, las cuales deben estar sujetas a requerimientos técnicos que cumplan las respectivas normativas y parámetros de seguridad y salud ocupacional.

En este contexto, se hace necesario el estudio geológico - geotécnico para determinar el lugar idóneo el cual permita desarrollar la construcción de la chimenea 240, para abastecer un aire limpio en calidad y cantidad que vaya acorde a las necesidades de la empresa, tomando en cuenta el personal, equipos y eficiencia de producción.

**Palabras claves:** Parada de Subnivel, Gases explosivos, Geotécnico.

## **Abstract**

The Narcisa mine establishes its production operations since 2013, through the subway mining system, using the method of chambers and pillars with a variant of "Sublevel Stopping" and by upward cut and fill; it is located in the southwestern part of the parish La Victoria, belonging to the Macará Canton, province of Loja and the mineral benefit process is carried out in Portovelo, in the El Pache sector.

Describing the mine interior infrastructure, it does not have adequate support, in addition, the ventilation system used is natural and sometimes by compressed air, currently its biggest challenge is the rapid evacuation of blasting gases, consequently the performance of operations is not optimal or required, transmitting these shortcomings to its staff.

On the other hand, the lack of topographic, geological and geotechnical control added to the absence of mining planning, makes the work done obsolete and economically detrimental to the mining company.

This work is based on the concern of the administrative personnel to carry out a study to improve the selectivity of the production operations and continue mining for the extraction of ore, taking into account the establishment of optimal working conditions in which stand out a good ventilation of the workings, a good support, which must be subject to technical requirements that comply with the respective regulations and parameters of safety and occupational health.

In this context, a geological-geotechnical study is necessary to determine the ideal place to develop the construction of chimney 240, to supply clean air in quality and quantity according to the needs of the company, taking into account the personnel, equipment and production efficiency.

**Keywords:** Sublevel Stopping, blasting gases, geotechnical.

### 3. Introducción

El Ecuador, un país rico mineralógicamente, ha venido desarrollando minería desde hace ya algunos siglos, desde la llegada en 1986 de la empresa SADCO en Portovelo, se ha generado un auge en la explotación de oro y otros minerales a través de la pequeña minería. Actualmente con la subida del precio del oro se ha desatado una ola de explotación del mineral en todo el país, y la parte sur no es la excepción.

No obstante, este auge de exploración y explotación se ha venido desarrollando de manera artesanal y de forma anti técnica, lo que ha generado diversos accidentes laborales y problemas sociales a nivel local y nacional.

Al sur del país en el sector de la Victoria perteneciente al Cantón Macará, se encuentra ubicada la concesión minera “Narcisa Sarango, Código: 690680”. que viene realizando minería artesanal, sin llevar un control técnico lo que les ha generado poca rentabilidad económica y en algunos casos pérdidas que los ha llevado a parar los trabajos, por las bajas condiciones de seguridad en las labores mineras relacionadas a la mala práctica técnica al momento de explotar el recurso mineral, perjudicando al personal que se queda sin una fuente de trabajo.

En este contexto el presente trabajo de investigación denominado “Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680”. El mismo que se enfoca en determinar las características geotécnicas y geomecánicas del macizo rocoso con la finalidad de ver un sitio ideal que cumpla ciertas condiciones técnicas para hacer una chimenea que logre resolver los problemas de ventilación y así lograr conectar otras galerías y seguir en el avance de exploración y explotación del recurso mineral, pero esta vez de una forma ordenada y técnica.

En relación a la idea anterior, el trabajo empieza con la recolección de información existente de la zona de estudio, para luego continuar con la realización de la topografía a detalle tanto de la parte superficial como subterránea; seguidamente se ha realizado la identificación y análisis de estructuras geológicas, geotécnicas, geomecánicas y mineralógicas dentro de la zona de estudio mediante la valoración de distintos parámetros empleando los sistemas de clasificación más comunes como el RMR de Bieniawski, Q de Barton y GSI de Hoek y Brown.

En cada una de las partes se describe la metodología, los equipos empleados, softwares, los procedimientos realizados, así como los resultados obtenidos y su análisis, todo esto



debidamente respaldado a través de los anexos. Finalmente se establece el diseño de la chimenea de ventilación que ayudará a la optimización y seguridad del trabajo para todas las personas que laboran en esta concesión.

## **Objetivos:**

### **Objetivo General**

Desarrollar el estudio geológico - geotécnico del macizo rocoso del Crucero Principal Gaby para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240.

### **Objetivos Específicos**

- Sobre la base del levantamiento topográfico superficial e interior mina realizar el mapeo Geológico – Geotécnico del Crucero Principal Gaby, aplicando las metodologías de clasificación geomecánica del macizo rocoso: RMR (Bieniawski, 1989), Q de Barton y GSI.
- Analizar e interpretar la información obtenida en campo y laboratorio con el fin de generar el mapa de zonificación geotécnica del Crucero Principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240.
- Proponer el diseño de la Chimenea de Ventilación 240 en el crucero principal Gaby.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Topografía

“La topografía se la considera una ciencia que estudia una serie de procedimientos para representar los detalles y elementos de un levantamiento, de tal forma que se represente de forma práctica y sencilla una parte de la superficie terrestre.

Gámez, 2010 indica que el objetivo de la topografía es calcular y medir distancias de la superficie terrestre para posteriormente plasmarla en un plano. Consecuentemente, describe cómo determinar las separaciones horizontales y verticales entre puntos y objetos en la superficie de la tierra, de tal forma que se puede medir ángulos y permite colocar puntos en ángulos y separaciones predeterminados (diseño). (Gámez Morales, 2010)

#### 4.1.1. Operaciones topográficas

En el método topográfico, en las mediciones de campo se exceptúa la forma real de la Tierra, sino que se utilizan simplemente modelos cercanos a la realidad. (Rincón Villalba, Vargas Vargas, & Gonzáles Vergara, 2017, pág. 2).

#### 4.1.2. Levantamiento topográfico

(Rincón Villalba, Vargas Vargas, & Gonzáles Vergara, 2017). Manifiestan que un levantamiento topográfico es “una serie de métodos y procedimientos que permiten medir, procesar y afinar los datos obtenidos en el terreno, por lo tanto, nos faculta de manera técnica y sencilla representar con mayor detalle y exactitud estos datos en un plano, que van a escala de acorde al trabajo, y sobre todo resalta los puntos que tengas algún tipo de interés relevante para el técnico en función. “Cabe señalar que el conjunto de operaciones incluye: Selección del método de levantamiento; Elección del equipo a utilizar, Realización de mediciones en terreno, Cálculo y procesamiento de datos, Elaboración de planos.” (pág. 3)

#### 4.1.3. Replanteo

Según (Rincón Villalba, Vargas Vargas, & Gonzáles Vergara, 2017) una vez realizado el levantamiento topográfico y teniendo como resultado un plano, los técnicos elaboran proyectos sobre estos, los cuales posteriormente serán materializados en el campo, entonces, podemos decir que la operación de replanteo consiste en ubicar en campo (norte – este- cota), es decir cada uno de los puntos definidos con anterioridad en el proyecto.

#### **4.1.4. Control**

Es el conjunto de operaciones técnicas que permiten verificar en campo la forma de cómo se va ejecutando en el terreno el proyecto previamente diseñado.

#### **4.1.5. Tipos de levantamiento**

Dentro de los levantamientos topográficos se encuentran:

##### **4.1.5.1. Topografía de minas.**

Su finalidad es básicamente coordinar los trabajos subterráneos con los de superficie ajustando y controlando sus posiciones. (Rincón Villalba, Vargas Vargas, & Gonzáles Vergara, 2017, pág. 3)

#### **4.1.6. Métodos topográficos**

Cuando hablamos de métodos topográficos hacemos referencia a trabajar en superficies de terreno básicamente pequeñas, para no tener que incurrir en la reducción de observables como los son los ángulos y distancias, de tal forma que se trabaje en un sistema de referencia local para poder elaborar los planos deseados.

##### **4.1.6.1. Altimetría.**

La altimetría se caracteriza por tener en cuenta la diferencia entre distintos niveles con respecto a una superficie que nos sirva como referencia, tal es el caso del nivel del mar.

##### **4.1.6.2. Cota o altura.**

Al igual que el termino anterior, esta (cota) hace mención a un plano de referencia en el cual nos vamos a regir para determinar la diferencia de niveles.

##### **4.1.6.3. Perfiles.**

“Los perfiles son la intersección grafica de un tipo de plano en sentido vertical, siguiendo una línea establecida respecto de la superficie terrestre”. (MacCormac, 2004)

#### **4.1.7. Fotogrametría**

(Corredor Daza, 2015), manifiesta que “La fotogrametría es una técnica para determinar el tamaño y la posición de objetos en el espacio a partir de fotografías aéreas y se obtiene desde el punto de intersección de dos o más fotografías para producir un MDT”. (pág. 4)

## **4.2. Geología**

Según (Tarbuck & Lutgens, 2010), La geología se divide en geología física y geología histórica”; la geología física estudia la materia que constituye la tierra e intenta comprender los diversos procesos que operan debajo y encima de la superficie terrestre. En cuanto a la geología histórica, intenta comprender el origen de la superficie terrestre. (pág. 2)

Recientemente (Duque Escobar, 2017) precisa a la Geología como “la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, esta describe los materiales que la forman para comprender tanto su historia y su evolución, así como la causa de los fenómenos endógenos y exógenos que se generan”. (pág. 10)

### **4.2.1. Geología estructural**

La geología estructural se define como un campo de la geología que se direcciona a comprender las diversas relaciones que se generan entre las rocas que forman la corteza terrestre, así como también cómo están organizadas. En términos sencillos la geología estructural se enfoca en el estudio, análisis e interpretación de las estructuras generadas en la corteza terrestre, como consecuencia de los diversos movimientos tectónicos propios de la geodinámica,

### **4.2.2. Hidrogeología**

De acuerdo a (Gonzales, 2002). Los mapas geotécnicos prestan especial atención a las consideraciones hidrogeológicas, que se ocupan principalmente de la planificación del uso del suelo, la explotación de recursos hídricos o la elección de ubicaciones para proyectos o acciones directamente relacionadas con las condiciones hidrogeológicas, como la ubicación de vertederos urbanos u otro tipo de desechos, embalses.

Cualquier tipo de estudio, ya sea geológico o geotécnico, debe tener en cuenta este factor porque está bien establecido que la presencia de agua en los materiales geológicos afecta a cada una de sus propiedades y comportamiento mecánico. Debido a que está bien establecido que la presencia de agua en los materiales geológicos afecta cada una de sus propiedades y comportamiento mecánico, cualquier tipo de estudio, ya sea geológico o geotécnico, debe tener en cuenta este factor. (Gonzales, 2002).

### **4.3. Caracterización geotécnica**

#### **4.3.1. Geotecnia**

Es una rama de la geología que se caracteriza por estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas de cada uno de los materiales del medio geológico que a su vez son utilizados en el campo de la construcción. Es de vital importancia para la construcción de obras civiles como puentes, edificaciones, túneles vías.

#### **4.3.2. Estudio geológico – geotécnico**

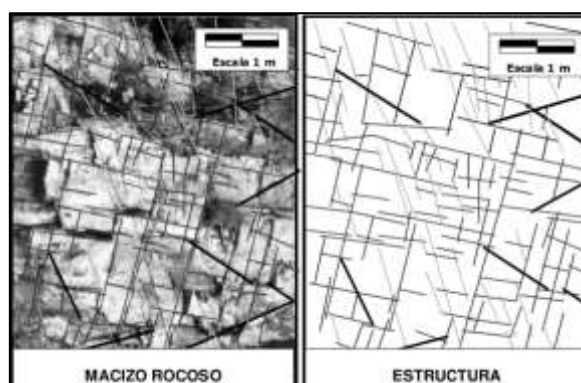
Conjunto de estudios y ensayos realizados en el terreno, y la interpretación de los datos obtenidos en ellos que permiten caracterizar los diferentes suelos presentes en el área de estudio y sus propiedades en función de los objetivos y características del proyecto, además de identificar las características geológicas del suelo, también reconoce el comportamiento de los geo-materiales desarrollados a través de su fisiología. (Cantabria, 2010)

### **4.4. Caracterización del macizo rocoso**

En la corteza terrestre, las rocas exhiben frecuentemente una serie de características geológicas estructurales y discontinuidades, como estratificación, pliegues, fallas, etc. Debido a esto, el conjunto de estas discontinuidades que atraviesan la roca se denomina "estructura de macizo rocoso".

Autores como (Ramírez & Alejano, 2004) definen al macizo rocoso como “la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural”, Por lo tanto, la roca y su estructura definirán el macizo rocoso, que tendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros rasgos estructurales. (página 1)

**Figura 1.** Definición ilustrativa de macizo rocoso y estructura



**Fuente:** Tomado de (Ramírez & Alejano, 2004)

En las rocas o macizo rocoso las roturas y/o fisuras, se van propagando en sentido de los planos de discontinuidad es decir en donde la roca presenta mayor debilidad.

A nivel de macizo rocoso las deformaciones y roturas se suelen producir a favor de los planos de discontinuidad o debilidad. De esta manera, el conocimiento de las tensiones y deformaciones que el material rocoso puede soportar bajo condiciones específicas permite evaluar el comportamiento mecánico y abordar el diseño de estructuras y obras ingenieriles. Se debe tener en cuenta las características físicas y mecánicas de los macizos rocosos al investigarlo. (González de Vallejo, 2002)

#### **4.4.1. Estado tensional**

De acuerdo con (LOM, 2015), una excavación subterránea puede estar sujeta a tensiones tanto inducidas como naturales. Lo que quiere decir que; en cualquier punto dentro de un macizo rocoso antes de la excavación, existe un estado tensional inicial, que corresponde a los procesos tectónicos y gravitacionales. (pág. 15)

#### **4.4.2. Tensiones naturales**

“La tensión vertical a lo largo de cualquier punto de la corteza terrestre sería de una magnitud comparable a la provocada por el peso de los materiales suprayacentes si las tensiones gravitacionales fueran las únicas presentes”. (LOM, 2015, pág. 15)

$$\sigma_V = \rho \cdot g \cdot h$$

Dónde:

- $\sigma_V$  Componente vertical del estado tensional.
- $\rho$  =Densidad media de los materiales supra yacentes
- $g$  =Aceleración de la gravedad.

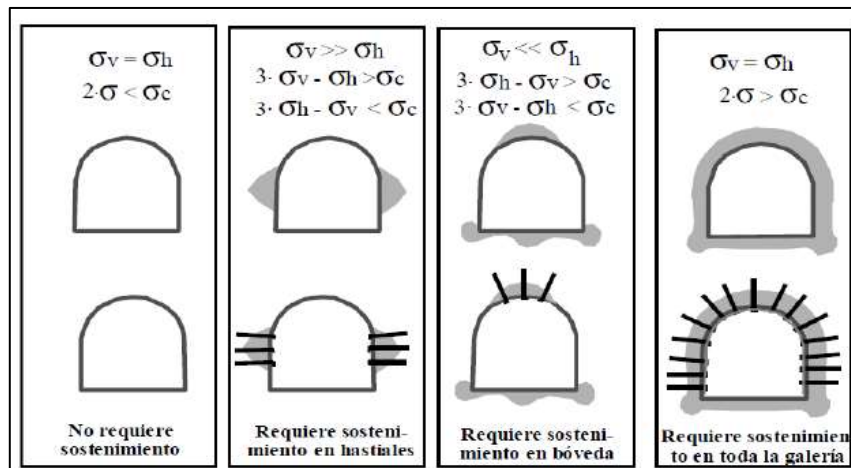
$h$  Profundidad respecto a la superficie.

- $\gamma$  Peso específico medio de los materiales supra yacentes. (LOM, 2015, pág. 16)

Muchas de las veces el estado tensional de la zona a excavar juega un papel fundamental para el diseño de los sostenimientos de las galerías. (Ver figura 2).

También existen otros factores, que afectan de forma decisiva al estado tensional inicial, como son: topografía, erosión, anisotropía, tensión residual, efectos de diques, efectos de las discontinuidades, efectos de la tectónica. (LOM, 2015)

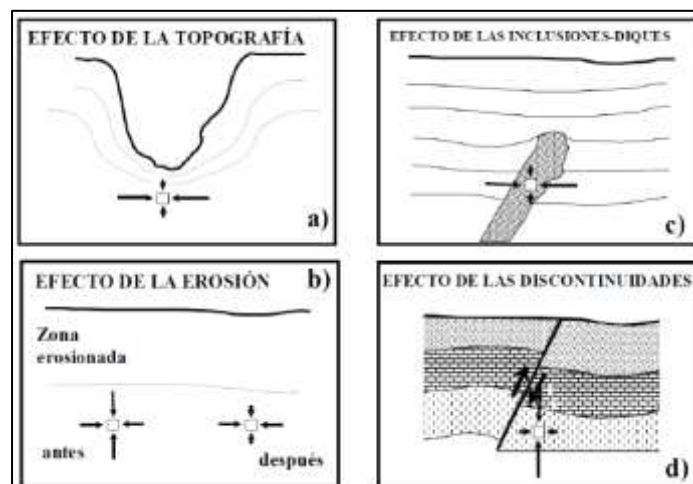
**Figura 2:** Estado tensional en el diseño del sostenimiento en una galería.



**Fuente:** (Ramírez & Alejano, 2004)

En síntesis, con lo anteriormente expuesto y en concordancia con (LOM, 2015), el estado tensional de un macizo rocoso no puede cuantificarse a priori, por lo que debe determinarse experimentalmente.

**Figura 3:** Efectos que contribuyen a separar el campo de tensión natural del elástico y que deben ser tenidos en cuenta para estimar dicho campo).

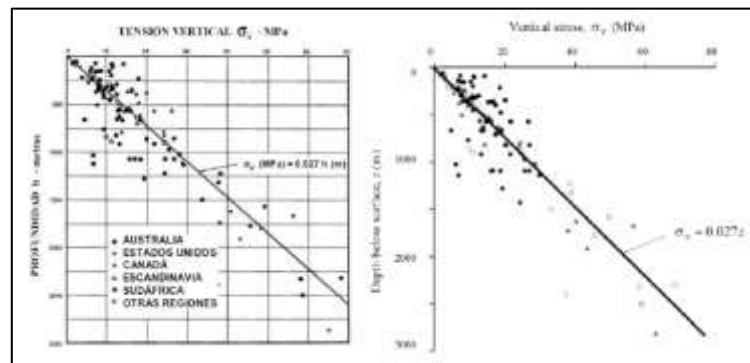


**Fuente:** (Ramírez & Alejano, 2004)



Debido a la dificultad para estimar el campo tensional, se ha recogido a nivel mundial varios datos reales medidos in situ de los campos tensionales, con la finalidad de establecer o estandarizar valores, como resultado de esta toma de datos tenemos referencias magistrales como lo es la de Hoek y Brown en 1980, y los hallazgos más importantes se muestran a continuación.

**Figura 4:** Tensión vertical en función de la profundidad, a partir de medidas del campo tensional natural “in situ”).



*Fuente:* Tomado de Hoek y Brown (1980), y Hoek (2006).

#### 4.5. Métodos empíricos: Clasificación geomecánica

Sin duda, las clasificaciones geomecánicas juegan un papel importante en la caracterización geomecánica de los macizos rocosos. Estas clasificaciones fueron necesarias para parametrizar observaciones y datos empíricos con el fin de evaluar métodos de soporte en túneles. Son una técnica de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de macizos rocosos y, a partir de ahí, calcular los parámetros de diseño geotécnico y el tipo de soporte del túnel. (LOM, 2015)

Ante esto (González de Vallejo, 2002) sostiene que las clasificaciones geomecánicas constituyen un procedimiento para la caracterización de los macizos rocosos a partir de datos de afloramientos y sondeos, y que se aplican principalmente a los túneles, debido a la dificultad del estudio de los macizos rocosos en profundidad. (Gonzales de Vallejo, 2002, p. 230).

Para determinar de forma cuantitativa la calidad de los macizos rocosos, los sistemas de clasificación geomecánica dividen los macizos rocosos en grupos de comportamiento similar para evaluar sus características a partir de observaciones en campo y ensayos sencillos. Para su caracterización, es necesario conocer los siguientes parámetros:

- Resistencia y comportamiento de la roca.

- Familias de discontinuidades existentes.
- Espaciado de los planos de discontinuidad y fracturación del macizo.
- Caracteres geomecánicos de las discontinuidades: continuidad, rugosidad, separación y resistencia de los labios, meteorización y relleno.
- Condiciones del agua en las juntas.
- Tensiones in situ, naturales o inducidas.
- Alteraciones producidas en el macizo rocoso por las excavaciones.

Dos de los muchos sistemas de clasificación geomecánica que existen, el RMR de Bieniawski y el sistema Q de Barton, Lien y Lunde, son los más populares en la actualidad.

Ambos fueron creados de manera independiente en 1973 y 1974 con el objetivo de cuantificar preliminarmente las propiedades del macizo rocoso a partir de descripciones geológicas cualitativas.

La elección del soporte del túnel depende principalmente de las clasificaciones geomecánicas mencionadas, pero nunca debe diseñarse solo basándose en ellas; también debe diseñarse utilizando herramientas analíticas y técnicas de observación. (LOM, 2015)

#### **4.5.1. Clasificación RMR de Bieniawski**

Para evaluar la calidad del macizo rocoso, se divide en dominios estructurales, o áreas separadas por discontinuidades geológicas, donde la estructura es esencialmente homogénea. La estructura del macizo está compuesta por fallas, uniones, pliegues y otras características geológicas específicas de una región. El índice RMR (Rock Mass Rating), que establece la clasificación, va de 0 a 100 y evalúa la calidad del macizo rocoso utilizando los siguientes criterios. (LOM, 2015)

##### **4.5.1.1.RQD.**

El RQD es un porcentaje modificado de testigo recuperado, que castiga los sectores en que la roca se presenta muy meteorizada, fracturada o diaclasada. Se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$RQD = \frac{\Sigma \text{ longitud de trozos de testigo sólido mayores a } 10 \text{ cm}}{\text{Largo del tramo}}$$

Para la definición de los trozos de testigo no se deben incluir las fracturas inducidas por perforación y manipulación, sólo las estructuras naturales. La clasificación de RQD se indica en la siguiente tabla

**Tabla 1.** Clasificación de la roca de acuerdo a RQD

RQD %	Calidad
<25	Muy Mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Excelente

*Fuente: Tomado de Deere, 1989*

Palmström (Palmström 1974, en Palmström 1982) sugirió que se podría hacer una estimación de su valor para el macizo rocoso, aunque este índice está destinado a ser utilizado para perforaciones. Este RQD equivalente se puede calcular utilizando la relación que se muestra a continuación.

$$RQD \text{ equivalente} = 115 - 3,3 * jv$$

Donde  $J_v$  es el total de diaclasas por metro cúbico. Si  $J_v < 4,5$ ,  $RQD=100$ .

Como medida de la fractura del macizo, el RQD se incluye en los cálculos de RMR y Q

#### 4.5.1.2. Parámetro: Condiciones de las discontinuidades.

En este apartado se tienen en cuenta los siguientes parámetros: continuidad, apertura, tamaño, rugosidad, relleno y alteración.

##### 4.5.1.2.1. Persistencia de las discontinuidades.

**Tabla 2.** Valores de persistencia de las discontinuidades

Grado	Descripción	Continuidad	Valoración
1	Muy baja	< 1m	6
2	Baja	1 – 3 m	4



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

3	Media	3 – 10 m	2
4	Alta	10 – 20 m	1
5	Muy alta	>20 m	0

*Fuente: Tomado de Vallejo, 2002.*

#### 4.5.2. Abertura de las discontinuidades.

**Tabla 3.** Rangos de abertura de las discontinuidades

Grado	Descripción	Separación de las caras	Valoración
1	Abierta	>5 mm	0
2	Moderadamente abierta	1 – 5 mm	1
3	Cerrada	0,1 – 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0,1 mm	5
5	Ninguna	0	6

*Fuente: Tomado de Vallejo, 2002.*

##### 4.5.2.1.1. Rugosidad de las discontinuidades.

**Tabla 4.** Rangos de rugosidad de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

*Fuente: Tomado de Vallejo, 2002.*

##### 4.5.2.1.2. Relleno de las discontinuidades.

**Tabla 5.** Rangos de relleno de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Blando >5 mm	0
2	Blando <5 mm	2
3	Duro >5 mm	2
4	Duro <5 mm	4
5	Ninguno	6

*Fuente: Tomado de Vallejo, 2002.*

#### 4.5.2.1.3. Alteración de las discontinuidades.

**Tabla 6. Rangos de alteración de las discontinuidades**

Grado	Descripción	Valoración
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

*Fuente: Tomado de Vallejo, 2002.*

Para calcular el valor del parámetro según las condiciones de las discontinuidades se suman los valores obtenidos en las cinco tablas descritas anteriormente.

#### 4.5.2.2. Parámetro: Presencia de agua.

Medido cuantitativamente (midiendo el flujo o la presión del agua) o cualitativamente (mediante observación directa).

La tabla que se proporciona a continuación se utiliza como guía a la hora de determinar la valoración en función de la presencia de agua.

**Tabla 7. Presencia de agua.**

Caudal por 10 m de túnel	Relación presión – agua Tensión ppal mayor	Descripción	Valoración
Nulo	0	Completamente Seco	15
< 10 litros/min	<0,1	Ligeramente húmedo	10
10-25 litros/min	0,1 – 0,2	Húmedo	7
25-125 litros/min	0,2 – 0,5	Goteando	4
>125 litros/min	>0,5	Agua fluyendo	0

*Fuente: Tomado de Vallejo, 2002.*

#### 4.5.2.3. Parámetro: Orientación de las discontinuidades

Para medir este parámetro, la roca debe clasificarse según su rumbo y buzamiento con respecto al eje de la excavación. Esta clasificación se indica a continuación.



**Tabla 8. Orientación de las discontinuidades**

ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES (F) FACTOR DE CORRECCIÓN EN TÚNELES & MINERÍA							
<b>6</b>	RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACIÓN				RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACIÓN		Buza. 0 - 20° independiente del rumbo
	Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento				
	Bz.	Bz.	Bz.	Bz.	Bz.	Bz.	
	45° - 90°	20 - 45	45 - 90	20 - 45	45 - 90	20 - 45	
	Muy favorable	favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Desfavorable
<b>VALOR</b>	<b>0</b>	<b>-2</b>	<b>-5</b>	<b>-10</b>	<b>-12</b>	<b>-5</b>	<b>-10</b>

*Fuente: Tomado de Vallejo, 2002.*

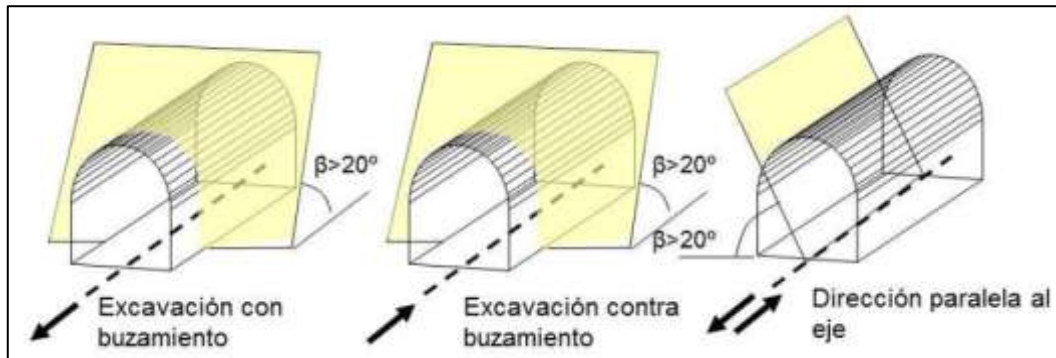
Las categorías a las que pertenece el macizo rocoso se determinan utilizando la siguiente tabla, una vez completados los cálculos de los parámetros mencionados anteriormente.

**Tabla 9. Calidad del macizo rocoso con relación al índice RMR**

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA FINAL (Bieniawski)		
R.M.R.	Descripción	Clase
81 – 100	Muy buena	I
61 – 80	Buena	II
41 – 60	Regular	III
21 - 40	Mala	IV
0 - 20	Muy mala	V

*Fuente: Tomado de Vallejo, 2002.*

**Figura 5:** Orientación de la excavación en relación a las capas



*Fuente:* Tomado de Vallejo, 2002

#### 4.5.3. *Q* de Barton

La clasificación del macizo rocoso a utilizar en túneles proporcionada por el índice de calidad de roca *Q* de Barton (1974) puede utilizarse para determinar el tipo de soporte requerido durante la excavación. Hace uso de seis parámetros, que están conectados por la expresión:

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) * \left( \frac{J_r}{J_a} \right) * \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$$

O, equivalentemente

$$Q = (\text{Tamaño de bloque}) * (\text{Resistencia al corte entre bloques}) * (\text{Influencia del estado tensional})$$

El valor de *Q* varía entre 0,001 y 1000, con la siguiente categorización (tabla 10)

**Tabla 10. Clasificación del macizo de acuerdo a *Q* de Barton**

<b>Q (rock mass quality)</b>	<b>Valoración</b>	<b>Código</b>
0.001 – 0.01	Excepcionalmente mala	<b>A</b>
0.01 – 0.1	Extremadamente mala	<b>B</b>
0.1 – 1.0	Muy mala	<b>C</b>
1.0 - 4	Mala	<b>D</b>
4 – 10	Regular	<b>E</b>
10 – 40	Buena	<b>F</b>
40 – 100	Muy buena	<b>G</b>
100 – 400	Extremadamente buena	<b>H</b>



400 – 1000	Excepcionalmente buena	I
------------	------------------------	---

**Fuente:** Bieniawski, 1989.

Cada factor se describe brevemente a continuación, junto con su tabla de puntuación asociada:

**RQD:** Refleja el grado de fracturamiento de la roca. El RQD porcentual se utiliza para calcular Q.

**Tabla 11. Índice de calidad de la roca**

Descripción	RQD %
MUY POBRE	0 - 25
POBRE	25 - 50
REGULAR	50 - 75
BUENA	75 - 90
EXCELENTE	90 - 100

Nota: Si el RQD es menor de 10, emplear un valor nominal 10

**Fuente:** Tomado de Vallejo, 2002.

**Jn:** Índice de diaclasado que muestra la severidad de la fractura en una roca maciza. El número de diaclasas observadas aumenta su valor numérico Los valores de Jn se encuentran en la siguiente tabla 12.

**Tabla 12. Valores del índice de diaclasado (Jn)**

Descripción	J n
Masiva o con muy poca discontinuidad	0.5 - 1.0
Un sistema de discontinuidad	2
Un sistema de principal y uno secundario	3
Dos sistemas de discontinuidad	4
Dos sistemas principales y uno secundario	6
Tres sistemas de discontinuidades	9
Tres sistemas principales y uno secundario	12
Cuatro sistemas de discontinuidades o mas (roca muy fracturada)	15
Roca triturada (Terrosa)	20

**Fuente:** Tomado de Vallejo, 2002.



**Jr:** índice de rugosidad de las discontinuidades. Su valor decrece con la planeidad de las estructuras, de acuerdo a la siguiente tabla 13.

**Tabla 13. Valores de rugosidad de las discontinuidades (Jr)**

	DESCRIPCIÓN	Jr
A	Diaclasas discontinuas	4
B	Rugosas e irregulares, onduladas	3
C	Lisas, Onduladas	2
D	Lustrosas Ondulantes	1.5
E	Rugosas o irregulares, planares	1.5
F	Lisas, Planares	1
G	Lustrosas, Planares	0.5

**Nota:** La descripción se refiere a escalas pequeñas e intermedias, en ese orden

	Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	
H		1
	Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	
J		1

**Nota:** En los grupos A hasta G, el contacto entre las superficies de la discontinuidad se logra con desplazamientos de cizalla inferiores a los 10 cm.

Las descripciones se refieren a las características de pequeña escala y características de escala intermedia, en ese orden.

En los grupos H y J no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla.

\*Agregar 1.0 cuando el espaciamiento medio de las diaclasas fuera superior a 3 cm

\*Jr=0.5 puede ser usado para juntas planares lustrosas que tienen alineaciones, siempre que las alineaciones están orientadas para la resistencia mínima.

**Fuente:** Tomado de Vallejo, 2002.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

**Ja:** índice relacionado con la alteración o relleno de las discontinuidades; aumenta con el espesor y blandura del relleno.

**Tabla 14. Valores de alteración de las discontinuidades (Ja)**

<b>FACTOR DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
<b>Ja</b>		
<b>a) Contacto entre superficies de la discontinuidad (sin relleno de mineral, solo recubrimientos)</b>		
A	Ajustadas, rellenas con material compacto	0.75
B	Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación	1
C	Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca.	2
D	Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequeña fracción cohesiva.	3
E	Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica cloritas, etc.) cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1- 2 mm de espesor	4
<b>b) Contacto entre superficies de la discontinuidad se produce después de 10cm de (relleno de mineral fino)</b>		
F	Relleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de partículas arcillosas	4
G	Material con alto grado de consolidación, relleno continuo (hasta de 5mm. de espesor) de material arcilloso completo	6
H, I	Relleno continuo (hasta de 5mm. De espesor) de material arcillosos compacto con bajo grado de consolidación	8

Continúa



	Relleno continuo de arcilla expansivas (Montmorillonita) el valor de Ja dependerá del % de expansión, el tamaño de las partículas arcillosas, la accesibilidad del agua, etc.	8 - 12
J		
<b>c) No contacto entre superficies de la discontinuidad después de cizalla relleno de mineral grueso)</b>		
K, L.	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla)	6 - 8 o 8 - 12
M		
N	Zona de arcilla limosa o arenosa	5
O, P,	Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla)	10 - 13 o 13 - 20.
Q		

Fuente: Tomado de Vallejo, 2002.

J<sub>w</sub>: índice reductor por la presencia de agua; su valor disminuye con la afluencia de agua, como muestra la siguiente tabla 15.

Tabla 15. Índice reductor por la presencia de agua (J<sub>w</sub>)

<b>FACTOR DE REDUCCIÓN POR CONTENIDO DE AGUA EN FRACTURAS</b>		
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>J<sub>w</sub></b>
A	Secas o flujos bajos (5 l/min)	1
B	Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno	0.66
C	Flujos o presiones altas en roca competente con diaclasas sin relleno	0.5
D	Flujos a presiones altas con erosión considerable del material de relleno	0.33
E	Flujos o presiones excepcionalmente altas luego de la voladura disminuyendo con el tiempo	0.2 - 0.1



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

		0.1 -
F	Flujos o presiones excepcionalmente altas sin que ocurra una disminución en el tiempo	0.05

*Fuente: Tomado de Vallejo, 2002.*

**SRF:** Coeficiente relacionado con la influencia del estado tensional del macizo rocoso; los puntajes posibles se encuentran en la siguiente tabla 16.

**Tabla 16. Valores de reducción por tensiones (SRF)**

DESCRIPCIÓN		SRF
a) Las zonas débiles interceptan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando		
A	Muchas zonas débiles de arcilla con evidencias de desintegración química, roca circundante muy suelta cualquier profundidad.	10
B	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad menor 50 m)	5
C	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50m	2,5
D	Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta (cualquier profundidad)	7,5
E	Zona de falla aislada en roca competente menor a 50m	5
F	Zona de falla aislada en roca competente mayor a 50m	2,5
G	Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada, en terrones, cualquier profundidad.	5
<b>Nota:</b> Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de fallas influyen, pero no intersectan la excavación.		
<b>b) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas</b>		
		$\sigma_c/\sigma_1$ $\sigma_\theta/\sigma_1$ SRF
H	Tensiones bajas, poca profundidad, diaclasas abiertas	>200    <0.01    2,5
J	Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables	200-10    0.01-3    1

Continúa



	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10-5	0.3-0.4	0.5-2
K				
L	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5-3	0.5-0.65	5-50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de pocos minutos en rocas masivas	3-2	0.65-1	50-200
N	Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	<2	>1	200-400

**Nota:** Para campos in situ fuertemente anisotrópico (si se ha medido); cuando  $5 \leq \sigma_1, \sigma_3 \leq 10$ , reducir  $\sigma_c$  en  $0,75 \sigma_c$ , cuando  $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$ , reducir  $\sigma_c$  a  $0,5 \sigma_c$ , donde  $\sigma_c$  es el esfuerzo compresivo sin confirmar,  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  son los esfuerzos principales mayores y menores y  $\sigma_\theta$  = esfuerzo tangencial máximo (estimado de la teoría de la elasticidad).

Existen algunos registros disponibles que señalan que la altura del techo de la excavación a superficie es mejor que el ancho de la labor. Para estos casos se sugiere incrementar de 2.5 a 5 para estos casos (ver H)

<b>c) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente a altas presiones litostáticas</b>		<b><math>\sigma_\theta / \sigma_c</math></b>	<b>SRF</b>
O	Presión de deformación suave	1 – 5	5 – 10
P	Presión de deformación intensa	>5	10 - 20

**Nota:** Casos de deformaciones de roca pueden ocurrir para profundidades  $H > 350 * Q^{(1/3)}$ . La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada como  $q = 7 * r * Q^{(1/3)}$ , donde  $r$  = densidad de la roca (gm/cc)

d) Rocas expansivas: Actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua			
R	Presión de expansión suave		5 -10
S	Presión de expansión intensa		10 - 15





**Fuente:** Tomado de Vallejo, 2002.

#### 4.5.4. GSI (Hoek, 1994; Hoek, Kaiser y Brown, 1995)

Según Hoek (Hoek, Kaiser y Brown, 1995), el Índice de Resistencia Geológica (GSI) se basa en las características de los fragmentos o bloques de roca intactos, así como en el potencial de estos fragmentos de rotar o deslizarse bajo diversas circunstancias. La configuración geométrica de estos bloques de roca, así como el estado de las superficies de las estructuras de soporte, tienen un impacto en esto. Se representa mediante un código de letras (Criterio H&B) y un número GSI, que se obtienen al analizar la frecuencia de fracturas en rocas macizas en comparación con su rugosidad, erosión y relleno.

La tabla de clasificación de GSI para macizos diaclasados se muestra en la siguiente figura. En la parte superior se observa la estructura del piso rocoso, que se caracteriza por I, que significa "Intacto", mientras que en la parte horizontal se evalúa la condición de las discontinuidades, que oscilan entre VG, que significa "Muy Buena", y VP, que significa "Muy Pobre".

**Figura 6.** Tabla de valoración de GSI

(GSI) MODIFICADO		CONDICIÓN SUPERFICIAL	
De los códigos de letra definidos que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, seleccione el cuadro apropiado de esta tabla. Estime el valor típico del índice Geológico de Resistencia GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mejor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 38 a 42, es más realista que indicar un único valor por ejemplo 38.		<p>100 (VG) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD &gt; 25%)</p> <p>75 (VG) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD 15-25%)</p> <p>50 (VG) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD 5-15%)</p> <p>25 (VG) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD 5-15%)</p> <p>10 (VG) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD 5-15%)</p> <p>0 (VG) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD 5-15%)</p> <p>100 (VP) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD &gt; 25%)</p> <p>75 (VP) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD 15-25%)</p> <p>50 (VP) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD 5-15%)</p> <p>25 (VP) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD 5-15%)</p> <p>10 (VP) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD 5-15%)</p> <p>0 (VP) Intactamente rocoso, fresco y sin alteraciones, con pocas y pequeñas discontinuidades (RQD 5-15%)</p>	
ESTRUCTURA			
 <p><b>LEVEMENTE FRACTURADA</b> Tres o menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 95%) (2 a 6 fracturas por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)</p>	 <p><b>MODERADAMENTE FRACTURADA</b> Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)</p>	 <p><b>MUY FRACTURADA</b> Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)</p>	 <p><b>INTENSAMENTE FRACTURADA</b> Pagamentada y fallada con muchas discontinuidades intercaptales formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0-25%) (Más de 20 fracturas por metro)</p>
 <p><b>TRITURADA O BRECHADA</b> Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente distinguibles, angulosos y redondeados. (Sin RQD)</p>			

*Fuente: Tomado de Hoek y Marinos, 2002.*

#### 4.6. Métodos numéricos

(LOM, 2015), explica que para solucionar los problemas de redistribución de tensiones alrededor de excavaciones de un medio continuo o no continuo, se utiliza técnicas de análisis numérico, sin embargo, para las deformaciones asociadas se utiliza modelos constitutivos propios del terreno. (pág. 65)

Finalmente (LOM, 2015) concluye que: “los modelos numéricos también replican el fenómeno de interacción suelo-apoyo porque la formulación numérica también incluye componentes de soporte, cada uno con una ley de comportamiento única”. (pág. 65)

Los métodos numéricos para el análisis de problemas geomecánicos de tensión deformación se pueden dividir en dos grupos principales:

- **Métodos Integrales o Métodos de Contorno** (Boundary Elements Method, BEM), se caracteriza porque la excavación se la considera como un medio semi – infinito; y solo se procede a discretizar el contorno de la excavación para el análisis correspondiente. (LOM, 2015, pág. 67)
- **Métodos- Diferenciales o Métodos de Dominio**, se divide el interior de macizo rocoso en elementos discretos, lo que provoca que se comporte de manera particular y específica, lo que genera la replicación de este comportamiento en todo el dominio. Por lo tanto, la "malla del modelo numérico" es la colección de elementos y nodos de intersección entre esos elementos en la malla del modelo numérico donde el dominio ha sido discretizado. (LOM, 2015, pág. 67)

**Tabla 17. Programas comerciales para la modelización numérica.**

Programa	Dimensiones	Método	Referencia
PHASE2	2D	Elementos finitos	www.rocscience.com
FLAC		Diferencias finitas	www.itascacg.com
PLAXIS	2D/3D		www.plaxis.nl
MIDAS GTS		Elementos finitos	www.midasoftce.com

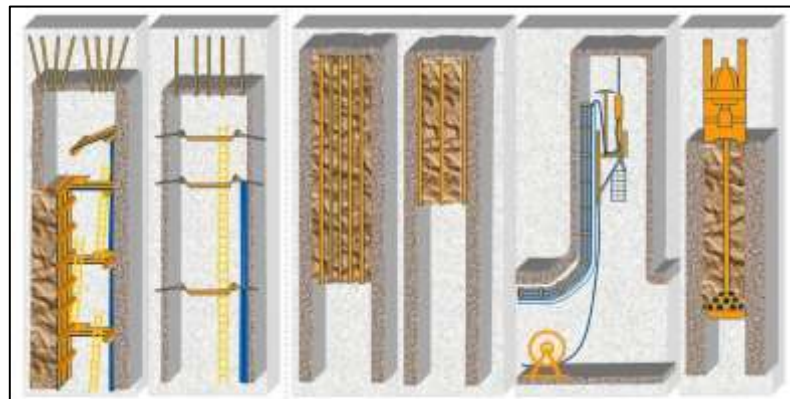
*Fuente:* Adaptado de (LOM, 2015)

#### 4.7. Métodos de construcción de chimeneas.

De acuerdo con (ATR, 2008), estos métodos están relacionados de forma directa al sistema convencional de minado. De esta forma, nos permite catalogarlos en dos grandes grupos:

- **Método convencional:** se lo realiza usando puntales de avance, plataforma de madera, y máquina perforadora. (Huaylla, 2012)
- **Método mecanizado de construcción:** Por lo general, se utilizan plataformas para trepar y herramientas llamadas Raiser Borer. (Huaylla, 2012)

**Figura 7.** Métodos para excavar Chimeneas.



*Fuente:* a) convencional, b) PEM, c) taladros largos, d) plataforma trepadora, e) perforación rotativa. Adaptado de ATR, 2008.

##### 4.7.1. Diseños de chimeneas

(Huaylla, 2012) manifiesta que al momento de diseñar la chimenea que se elevará mediante el método tradicional, se debe tener en consideración 4 parámetros fundamentales: tipo de roca, longitud, medidas estructurales, y finalmente la sección.

Desde el concepto más general, las chimeneas son construcciones verticales que cumplen una función específica en las minas. (Huaylla, 2012)

- Establece el rango de explotación.
- Contribuye a la ventilación.
- Apoyar en el proceso de relleno detrítico.
- Sirve como chimenea de servicio; camino, pase de tubos de aire comprimido, agua, etc.



En base a lo expuesto anteriormente, las chimeneas se las puede clasificar de acuerdo a:

- Su forma
- Su sección
- Su longitud

#### **4.7.1.1. Alturas máximas de construcción de chimeneas**

Para la construcción de chimeneas, la altura máxima juega un papel determinante, ya que está basada en reglamentos y decretos que toman forma de acuerdo a la región o país en donde se las va a llevar a cabo. Entonces tenemos:

- **Chimenea convencional:** El Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (RESOLUCIÓN Nro. ARCERNNR-013/2020). Artículo 50° estipula que: “Las chimeneas que se construyan con el sistema convencional usando plataformas, deberán tener como máximo 50 metros de altura”. (ARCERNNR, 2020)

Las chimeneas gemelas (chimeneas en forma de H), que son chimeneas sencillas de un solo compartimento espaciadas entre 10 y 15 m y conectadas cada 20 m por un subnivel, generalmente se construyen para longitudes superiores a 50 m y hasta 100 m. (Telada, 2017). En esta situación, una de las chimeneas funciona como camino y la otra como cobertizo

- **Chimenea mecanizada:** Utilizando técnicas tradicionales, la construcción de chimeneas puede superar los 100 metros de longitud.

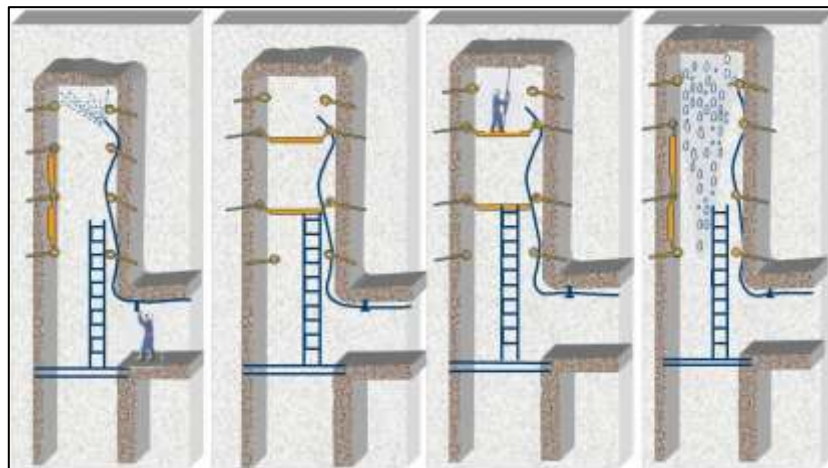
#### **4.7.2. Diseño y construcción con el sistema PEM**

Como todos sabemos, la construcción de chimeneas tradicionales es relativamente riesgosa y es fácil provocar más accidentes e incidentes. Por ello, la industria minera busca soluciones innovadoras, por lo que se ha realizado el estudio “Construcción de chimeneas mediante sistemas PEM” (Procedimiento de Escalera Metálica), el cual tiene como objetivo reducir costos de implementación y aumentar la eficiencia. (ATR, 2008)

Las chimeneas PEM son obras verticales o inclinadas que se construyen con plataformas y escaleras metálicas para preparar chimeneas de veta, ventilación, pasajes de minerales, pasajes de llenado, pilotos de pozo o inclinados, postes y servicios, drenaje y

arranque. No requieren largas cámaras y mecanismos ni importantes secciones adicionales de cabecera o base en comparación con las chimeneas preparadas con maquinaria especial. A diferencia de las chimeneas fabricadas con maquinaria especializada, no necesitan cámaras y mecanismos largos ni muchas más secciones de cabecera o base. (ATR, 2008).

**Figura 8. Secuencia del ciclo de minado del sistema PEM.**



*Fuente: a) Ventilación, b) Desatado, c) Perforación, d) desinstalación, voladura y limpieza.*

*Adaptado de ATR, 2008.*

#### **4.8. Sosténimiento en minería**

Durante toda la vida útil de la obra, los soportes de las obras subterráneas deberán permitir, regular y mantener la estabilidad de las excavaciones para protección del personal que trabaje en ellas o transite por ellas. (LOM, 2015)

Las condiciones de estabilidad y, en consecuencia, las medidas de soporte necesarias están determinadas por cómo responde el macizo rocoso a las acciones inducidas y naturales. El factor principal que determina esta respuesta son las propiedades geotécnicas del macizo rocoso. (LOM, 2015).

De acuerdo a (LOM, 2015), prácticamente no surgirán problemas durante las excavaciones si la roca es competente, tiene altas características mecánicas y resistentes y las juntas no son desfavorables. También puede comportarse de forma autoportante sin necesidad de refuerzo o soporte alguno. Pero, por otro lado, si la roca es débil, incompetente y tiene discontinuidades desfavorables, trabajar en ella será un poco complicado.

En contexto a lo citado anteriormente, para calcular el soporte de obras subterráneas se pueden utilizar métodos analíticos, empíricos, observacionales y numéricos. De tal manera que

no es una buena idea utilizar un único método como referencia y sería una buena idea comparar los modelos de soporte óptimos producidos por cada uno de los métodos. (LOM, 2015)

#### ***4.8.1. Entibación de madera***

Para este tipo de sostenimiento, a veces se utilizan apuntalamientos de madera muy flexibles como terreno suelto en pequeños tramos y en rocas en movimiento. El tipo de apuntalamiento es un marco con una distancia entre ellos de 0 a 1.50 metros, dependiendo del comportamiento del terreno.

#### ***4.8.2. Cuadros y cerchas metálicas***

Para (LOM, 2015), esta variedad de sostenimiento, además de dar al suelo una mayor estabilidad general, el soporte de la estructura metálica facilita su combinación con revestimientos de hormigón o metal que ofrecen protección contra deslizamientos de tierra menores.

#### ***4.8.3. Concreto***

Al ser un material caro y que requiere una ejecución laboriosa y lenta debido a las exigencias de encofrado y tiempos de fraguado, el hormigón sólo se utiliza ocasionalmente en zonas muy inestables y con mucho tránsito. Su aplicación puede realizarse mediante encofrado y refuerzo, o también puede aplicarse proyectado.

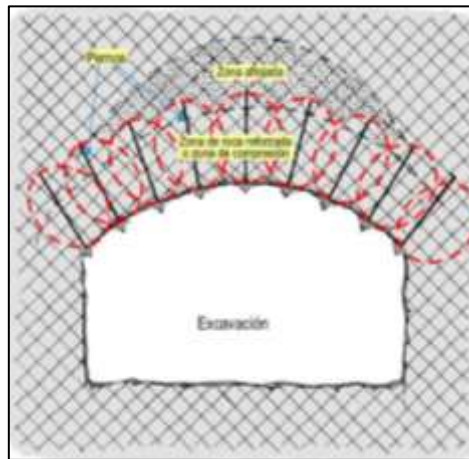
#### ***4.8.4. Pernos de anclaje***

(SNMPE, 2004, p. 101), sostiene que los sistemas de refuerzo de roca con pernos, reducen las deformaciones provocadas por la redistribución de tensiones en la roca que rodea la excavación, así como por el peso propio de la roca suelta.

#### ***4.8.5. Sostenimiento de galerías con bulones***

El bulonaje es un método de soporte que implica incrustar una barra de material resistente dentro de las rocas para proporcionar resistencia a la tracción y confinar el macizo rocoso, lo cual permite aprovechar las propiedades resistentes de las rocas, facilitando así su soporte. Evidentemente el atornillado sistemático cambia las propiedades del macizo que rodea el agujero en rocas incompetentes, lógicamente se altera el comportamiento del macizo rocoso, dando como resultado el aumento de la cohesión. (LOM, 2015).

**Figura 9: Creación del efecto arco con el bulonaje.**



*Fuente: Tomado de (S.N.M.P.E, 2004).*

#### **4.8.5.1. Cálculo de la longitud de los bulones.**

Las fórmulas para calcular el número de bulones, que se proporcionan a continuación solo deben tomarse a título orientativo"

##### **- Galerías de pequeñas secciones (sección <12m)**

Fórmula establecida por Gelzinski-Dudek.

$$l = \frac{2 * B^2 * P_v * S}{K * F * N * n}$$

L= longitud de los bulones

B(m)= Radio de galería

Pv (Mpa) = Presión de los terrenos

S = Coeficiente de seguridad adoptado

K = Coeficiente de reparto de tensiones

V = Coeficiente de Poisson

F (Mpa) = Coeficiente de Protodiakonov = R.C.S /10

N (KN) = Carga de rotura de los bulones

n = Nro. de bulones en un arco con separación longitudinal de 1 m.

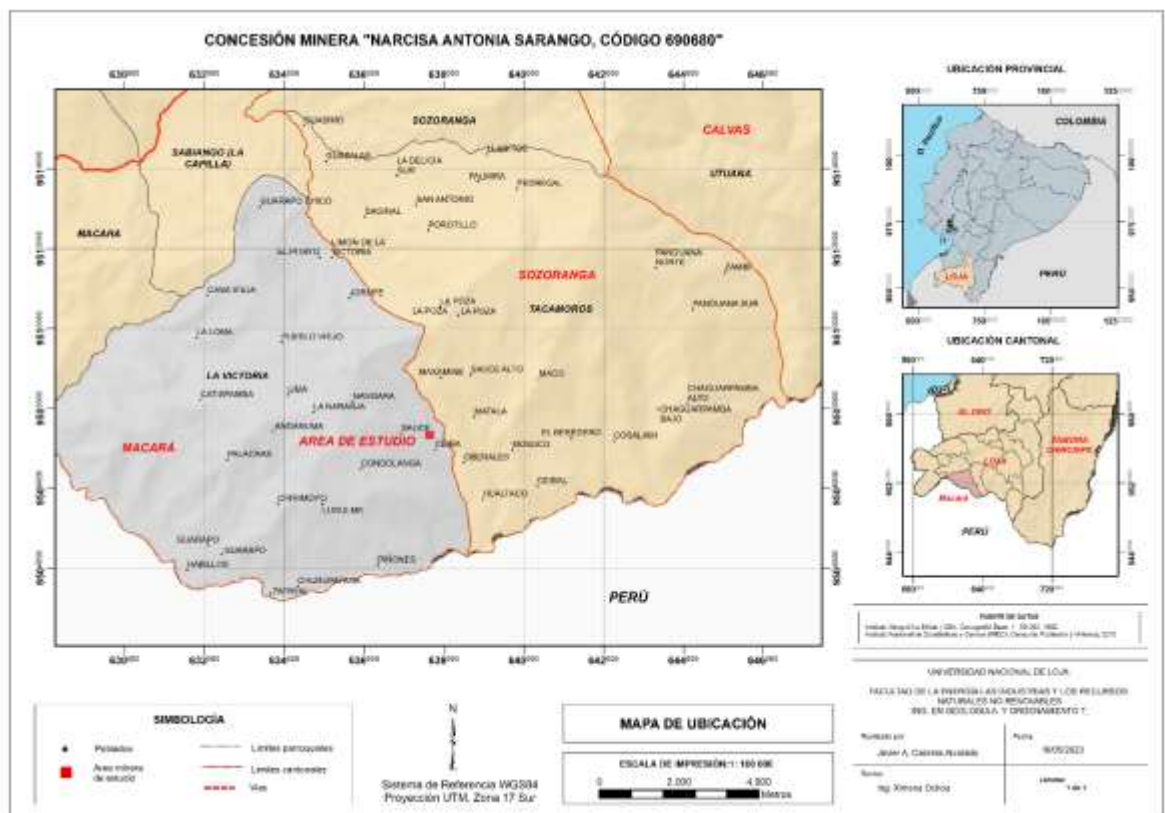
## 5. Metodología

### 5.1. Zona de estudio

#### 5.1.1. Ubicación

La concesión minera artesanal Narcisca Antonia Sarango (Código 690680) se ubicada en el sector “El Ceibal”, de la parroquia La Victoria perteneciente al cantón Macará de la provincia de Loja; a continuación, en la figura 10, se puede observar su ubicación exacta.

**Figura 10.** Ubicación del área de estudio



*Fuente: El Autor, 2024.*

El área minería artesanal cuenta con 4 hectáreas de superficie, los datos de sus vértices se presentan en la tabla 18 y 19.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

**Tabla 18.** Vértices del área de estudio, referencia en WGS 84

<b>PUNTO</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
<b>1</b>	637741.67	9507227.77
<b>2</b>	637541.67	9507227.77
<b>3</b>	637541.67	9507427.77
<b>4</b>	637741.67	9507427.77

*Fuente: Tomado del Catastro Minero (2023)*

**Tabla 19.** Vértices del área de estudio, referencia en PSAD 56

<b>PUNTO</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
<b>1</b>	638000	9507600
<b>2</b>	637800	9507600
<b>3</b>	637800	9507800
<b>4</b>	638000	9507800

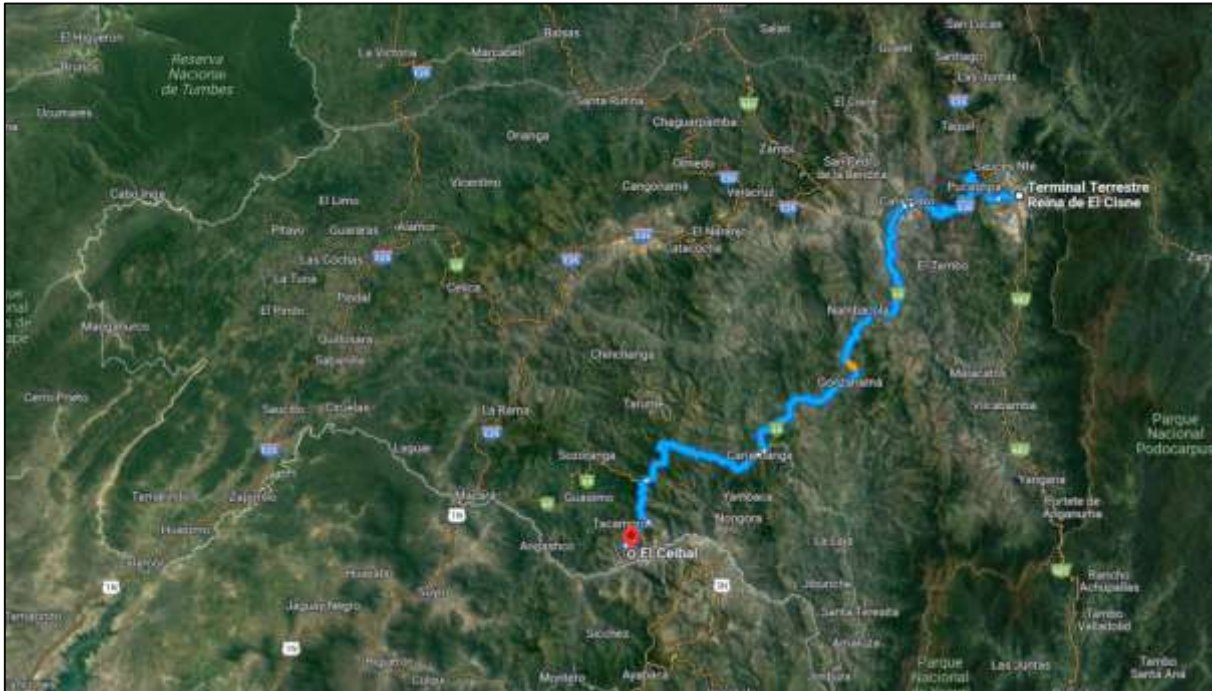
*Fuente: Tomado del Catastro Minero (2023)*

### **5.1.2. Acceso**

El acceso hacia el área de estudio se lo puede realizar desde el terminal de Loja tomando la vía Troncal de la Sierra, hasta la ciudad de Catamayo, para seguir por la ruta E69 (Vía Colectora Catamayo-Macarará), pasando por las ciudades de Gonzanamá y Cariamanga, llegando al Poblado de Utuna, aquí se toma el camino con dirección al sector El Ceibal, en este punto se sigue por un camino de tercer orden en dirección este – oeste y a unos 10 minutos se llega al sitio de estudio. El recorrido aproximado es de unas 4 horas desde la ciudad de Loja (ver Figura 11).



**Figura 11.** Acceso hacia el área de estudio



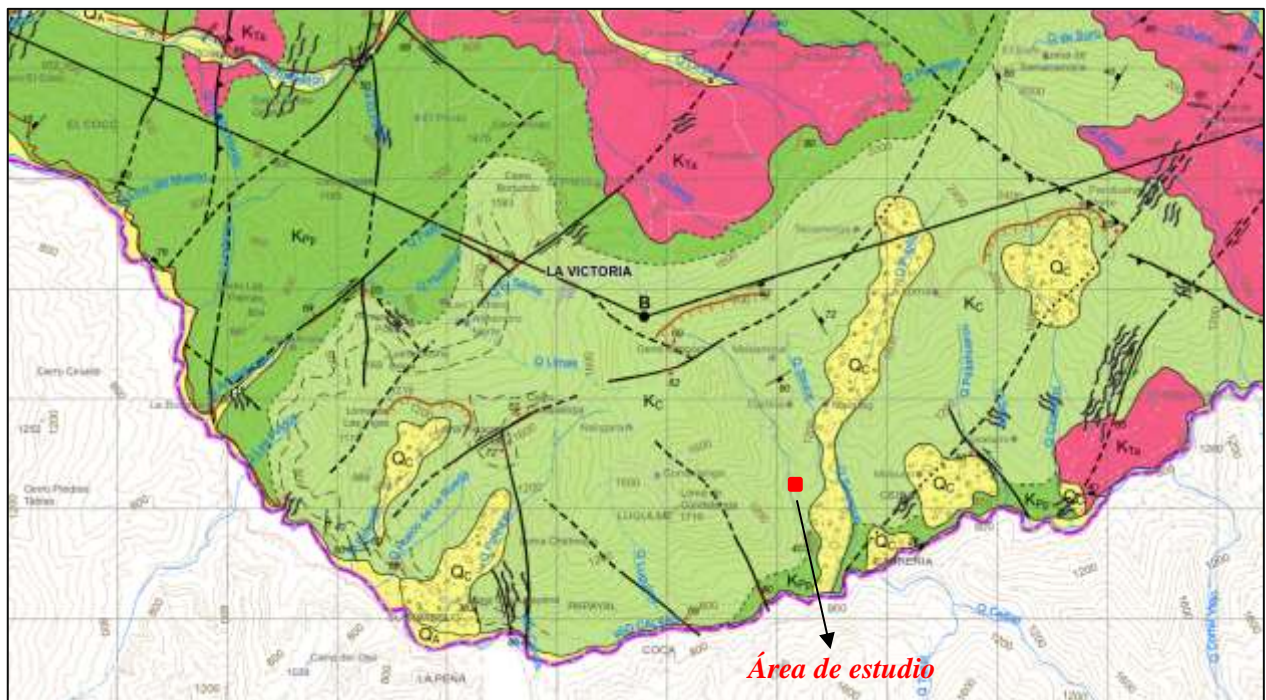
**Fuente:** Tomado de Google Earth (2023)

### 5.1.3. Geología Regional

La secuencia volcanoclástica en el área de estudio está dominada por la presencia de tobas de cristales de coloración verdosa de composición andesítica y andesita-basáltica, que a veces tienen amígdalas rellenas. También hay brechas volcánicas que se intercalan con mantos de lava de composición basáltico-andesítica.

Este tipo de rocas están presentes en el SO de La Victoria y forman parte de la Unidad Celica (KC), que incluye niveles sedimentarios subhorizontales de limolitas, lutitas carbonatadas y cherts. Según Jaillard, la Granodiorita Tangula invade esta unidad (unidad Celica) desde el este, superponiéndose transicionalmente a la Unidad Punta de Piedra y que a través de una correlación estratigráfica determinan que esta unidad posee una edad Albiense (INIGEMM, 2017).

**Figura 12. Acceso hacia el área de estudio**



*Fuente: Tomado del ex INIGEMM, (2017).*

#### **5.1.4. Descripción de las actividades en el área de estudio**

En la concesión minera Narcisca Sarango, se realizan actividades enfocadas en la extracción de mineral aurífero (Au), es del tipo subterránea, se aplica el método de explotación por corte y relleno en vetas con buzamientos mayores a  $50^\circ$  y cámaras y pilares en estructuras relativamente horizontales con un límite de inclinación de  $10 - 30^\circ$ .

Actualmente, el avance de las actividades mineras se desarrolla de forma lenta por una condición esencial, el gas generado por la voladura no se disipa rápidamente a pesar de tener ventilación auxiliar (mecánica generada por el compresor), además la situación estructural (macizo rocoso) que se observa en el crucero principal Gaby y labores de avance y explotación se conjuga desfavorablemente con la geología y genera condiciones de inestabilidad. Por ello, en esta investigación se realizará la zonificación geotécnica (medidas de sostenimiento) y con ello se definirá el sitio idóneo (por lo general en los últimos metrajés del crucero) para implementar la Chimenea de Ventilación 240, con parámetros técnicos referidos a topografía y el comportamiento del macizo rocoso durante la fase de construcción



### 5.1.5. Procedimiento

La metodología empleada en la presente investigación es detallada en los siguientes ítems:

**5.1.5.1. Metodología para el primer objetivo: “Sobre la base del levantamiento topográfico superficial e interior mina realizar el mapeo Geológico – Geotécnico del Crucero Principal Gaby, aplicando las metodologías de clasificación geomecánica del macizo rocoso: RMR (Bieniawski, 1989), Q de Barton y GSI.”.**

**- Levantamiento Topográfico**

Como primer paso, se realizó el levantamiento topográfico subterráneo, escala de detalle 1:500, con la ayuda de los siguientes equipos y materiales:

- Estación total marca Leica, precisión 5”
- Trípode de aluminio
- Mini prisma Leica con soporte GMP111
- Flexómetro
- Libreta de campo
- Plomada con tarjetas reflectivas
- Brújula tipo Brunton
- EPP de seguridad
- Martillo, clavos de acero, pintura en aerosol y en esmalte
- Monografías de los puntos topográficos fijos de la red geodésica local, en este caso existen 3, ubicados en las inmediaciones del campamento (S01 – S02 – S03)

**Tabla 20. Puntos de la red geodésica local**

<b>Punto</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Elevación</b>
S01	637755.958	9507294.534	1218.7
S02	637758.743	9507304.588	1219.09
S03	637746.828	9507321.294	1218.35

**Fuente:** Información otorgada por el Concesionario Minero (2023)

Con todos los requerimientos mencionados, la metodología consistió en estacionar el equipo Leica TCRP en el mojón S01; encenderlo, colimarlo e introducir las coordenadas planas respectivas (ver tabla 20); la georreferenciación se realizó con los puntos de referencia S02 y S03: orientada la máquina, se procedió levantar poligonal abierta, llevando los puntos desde la superficie, pasando por la bocamina y hasta el final del cruce principal Gaby, en cada cambio de estación se dejó puntos de control, etiquetados con el prefijo **E** seguido del número correspondiente (ejemplo **E1**), datos de referencia para el levantamiento geológico – geotécnico.

**Figura 13. Arrastre de la poligonal abierta hasta la bocamina**



**Fuente:** El Autor, 2024

La secuencia del levantamiento topográfico consistió en medir el piso, techo, lado derecho e izquierdo y secciones de cada labor de interés, facilitando luego el trabajo de oficina.

**Figura 14.** Levantamiento topográfico interior mina



*Fuente: El Autor, 2024*

Una vez terminado el levantamiento topográfico, la información fue descargada del equipo y procesada en el software AutoCAD Civil 3D, aquí se introdujo los puntos medidos en campo, y se generó un modelo topográfico previo de la mina.

**Figura 15.** Presentación previa del crucero principal Gaby



*Fuente: El Autor, 2024*

Obtenida la topografía subterránea, se procedió a replantear el crucero principal en superficie. Igual que en el objetivo anterior se partió con los puntos fijos (S01 – S02 – S03). Replanteado el crucero principal, se levantó la información del relieve natural a una distancia de 10 metros de su eje (derecha e izquierda), debido a que se necesita tener valores de alturas y referencias, datos que ayudaran a sugerir el punto de diseño y construcción de la chimenea.

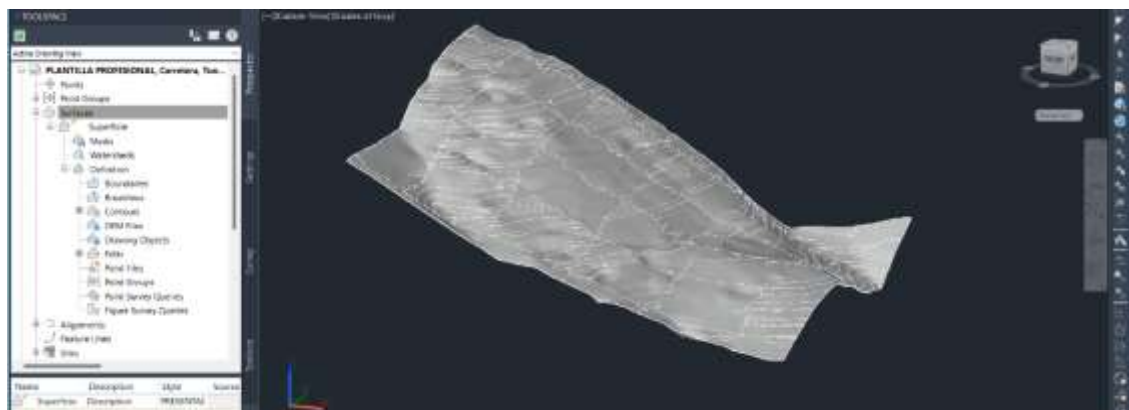
**Figura 16.** Levantamiento topográfico superficial



*Fuente: El Autor, 2024*

Igualmente, la información levantada fue procesada en software AutoCad Civil 3D, pero esta vez se usaron herramientas de interpolación (Create Surface) y correcciones de triangulación (Edit Surface) con el fin de generar las curvas de nivel (equidistancia = 1 metro).

**Figura 17.** Esquema de topografía superficial



*Fuente: El Autor, 2024*

### ***Levantamiento Geológico – Estructural***

Con la información levantada anteriormente y sus puntos topográficos de referencia ploteados, se efectuó la toma de datos geológicos – geotécnicos, con la ayuda de los siguientes equipos y materiales:

## Equipos

- Brújula Brunton
- Martillo geológico
- Martillo de Schmidt
- Equipos de protección personal

## Materiales e insumos

- Planos impresos a detalle con los puntos topográficos acotados
- Cartilla de levantamiento geológico – estructural
- Cartilla de levantamiento geotécnico
- Etiquetas para muestras geológicas y geomecánicas
- Fundas para muestras geológicas y geomecánicas
- HCl al 5%
- Pintura en aerosol y en esmalte
- Flexómetro de 5 metros
- Graduador 360
- Juego de escuadras

El mapeo geológico – estructural interior mina, consistió en situarse sobre una estación conocida, ubicarla en el plano y registrar información referente a: alteración, mineralogía, toma de datos litológicos y estructurales (diaclasas, fallas, veta falla etc.) como el buzamiento (dip) y la dirección del buzamiento (dip/dir).

**Figura 18.** Toma de datos estructurales interior mina



*Fuente: El Autor, 2024*



En cuanto, al mapeo geológico superficial, se lo realizó a través de la toma de datos en la mayor cantidad de afloramientos rocosos ubicados en las inmediaciones de la concesión minera, igual como se hizo anteriormente los datos levantados en cada punto son: datos estructurales, litología, potencia, alteración y algunas observaciones de ser el caso.

Los puntos de datos de campo se recolectaron utilizando el datum del Sistema Geodésico Mundial 84 (WGS 84) y el sistema de proyección geográfica Universal Transversal Mercator (UTM).

**Figura 19.** Toma de datos estructurales en afloramiento rocoso



*Fuente: El Autor, 2024*

Los datos levantados en campo se registraron en las cartillas de levantamiento geológico – estructural (ver tabla 21) y en gabinete se procesó la información e importo al software AutoCAD Civil 3D para generar el plano geológico – estructural del crucero principal Gaby, escala 1: 1000.

**Tabla 21.** Cartilla de levantamiento geológico

<b>Trabajo:</b>			
<b>Localización:</b>	<b>X:</b>	<b>Y:</b>	<b>Z:</b>
<b>Autor:</b>	<b>Cod.</b>	<b>Fecha:</b>	
<b>Observaciones:</b>			



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Fotografía	Esquema
<b>DESCRIPCIÓN GEOLOGICA:</b>	
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	
<b>DATOS ESTRUCTURALES:</b>	

*Fuente: El Autor, 2024*

- **Levantamiento Geotécnico.**

Con la información obtenida del levantamiento geológico-estructural se realizó el mapeo geotécnico a través de estaciones tipo celda o ventana, debido a la condición geológica del área de estudio (secciones donde la roca es similar), debido a la sección de las obras. y su accesibilidad.

El sistema GSI (2000) de Hoek y Brown, Q (1976) de Barton y RMR89 (1989) de Bieniawski fueron algunas de las clasificaciones geomecánicas que se utilizaron.

**RQD:** Se utilizará la fórmula de Palmstrom (1975) para calcular el RQD en cada celda.

$$RQD = 115 - 3,3 J_v \text{ (Palmstrom, 1975)}$$

Donde  $J_v$ , es el número de discontinuidades presentes por  $m^3$

• **RMR<sub>89</sub> de Bieniawski**



UNL

Universidad Nacional de Loja

**Tabla 22.** Criterios para la clasificación RMR<sub>89</sub>

1	<b>COMPRESIÓN SIMPLE</b>		> 250 Mpa	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	
	<b>VALOR</b>		<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	
2	<b>RQD</b>		90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%	
	<b>VALOR</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	
3	<b>ESPACIADO</b>		> 2m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,6	< 0,06 m	
	<b>VALOR</b>		<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	
4	<b>ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>	PERSISTENCIA		< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
		<b>VALOR</b>		<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
		ABERTURA		Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
		<b>VALOR</b>		<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
		RUGOSIDAD		Muy rugosa	Rugosa	Lig. rugosa	Ondulada	Suave
		<b>VALOR</b>		<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
		RELLENO		Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm
		<b>VALOR</b>		<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
5	<b>AGUA SUBTERRÁNEA</b>		Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo	
	<b>VALOR</b>		<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	
<b>ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES (F) FACTOR DE CORRECCIÓN EN TÚNELES &amp; MINERÍA</b>								
6	RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACIÓN				RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACIÓN		Buza. 0 - 20° independiente del rumbo	
	Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento					
	Bz.	Bz.	Bz.	Bz.	Bz.	Bz.		
	45° - 90°	20 - 45	45 - 90	20 - 45	45 - 90	20 - 45		
	Muy favorable	favorable	regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular		
<b>VALOR</b>	<b>0</b>	<b>-2</b>	<b>-5</b>	<b>-10</b>	<b>-12</b>	<b>-5</b>	<b>-10</b>	

*Fuente: Tomado de Vallejo (2002)*

Con la obtención de estos datos en campo, se los clasifica, asigna un valor individual (ver tabla 20) y el RMR se obtiene con la sumatoria de los mismos.



**Tabla 23.** Tabla de valoración RMR89

R.M. R	Descripción	Clase
81 – 100	Muy buena	I
61 – 80	Buena	II
41 – 60	Regular	III
21 - 40	Mala	IV
0 - 20	Muy mala	V

*Fuente: Tomado de Vallejo (2002)*

- **Q de Barton (1976)**

Utiliza seis parámetros, los que se relacionan por medio de la siguiente expresión:

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) * \left( \frac{J_r}{J_a} \right) * \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$$

O, equivalentemente

$$Q = (\text{Tamaño de bloque}) * (\text{Resistencia al corte entre bloques}) \\ * (\text{Influencia del estado tensional})$$






Cada una de los parámetros se detallan en el capítulo 4.7, y el cálculo de ellos arrojó un valor que se compara con la siguiente tabla 24.

**Tabla 24.** Clasificación del macizo de acuerdo a la Q de Barton

Q (rock mass quality)	Valoración	Código
0.001 – 0.01	Excepcionalmente mala	<b>A</b>
0.01 – 0.1	Extremadamente mala	<b>B</b>
0.1 – 1.0	Muy mala	<b>C</b>
1.0 - 4	Mala	<b>D</b>
4 – 10	Regular	<b>E</b>
10 – 40	Buena	<b>F</b>
40 – 100	Muy buena	<b>G</b>
100 – 400	Extremadamente buena	<b>H</b>
400 – 1000	Excepcionalmente buena	<b>I</b>

**GSI (Hoek y Brown):** El GSI, se calculó tomando en cuenta los siguientes parámetros.

Figura 20. Criterios para determinar el GSI

(GSI) MODIFICADO		CONDICIÓN SUPERFICIAL				
De los códigos de letra definidos que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, selección el cuadro apropiado es esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor por ejemplo 38.		MUY BUENA (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas, (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota)	BUENA (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta, (Rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota)	REGULAR (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta, (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota)	POBRE (moderadamente resist. moderam. alterad. superficie pulida o con estrías, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca, (Rc 25 a 50 MPa), (se indenta superficialmente)	MUY POBRE (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estrada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas, (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)
ESTRUCTURA		95	90	85	80	75
	<b>LEVEMENTE FRACTURADA</b> Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre si (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fractura por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)					
	<b>MODERADAMENTE FRACTURADA</b> Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)					
	<b>MUY FRACTURADA</b> Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)					
	<b>INTENSAMENTE FRACTURADA</b> Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 - 25%) (Más de 20 fracturas por metro)					
	<b>TRITURADA O BRECHADA</b> Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)					

Fuente: Hoek and Marinos, (2000)

Conforme, a estos criterios se establece la siguiente cartilla de levantamiento geotécnico, la cual es presentada en el Anexo 2.

- **Geomecánica**

Para determinar el comportamiento físico de la roca se tomaron muestras a las cuales se les realizó ensayos UCS, la cantidad tomadas fueron de dos, esto conforme al criterio técnico propio considerando la homogeneidad de la roca y su componente estructural.

La recolección de las muestras consistió en arrancar con el cincel un fragmento de aproximadamente 2 kilos de roca, seguidamente, etiquetarla tanto por dentro como por fuera de la envoltura, dejando rotulado el punto de la extracción con pintura en aerosol, para luego transportarlas al laboratorio, para que se realicen los ensayos pertinentes.

**Figura 21.** *Muestras recolectadas en campo*



*Fuente: El Autor, 2024*

**5.1.5.4. Metodología para el segundo objetivo: “Analizar e interpretar la información obtenida en campo y laboratorio con el fin de generar el mapa de zonificación geotécnica del Crucero Principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240”.**

La información levantada en campo (ver tabla 25) fue importada a una base de datos en Excel y posteriormente procesada en el software de graficación (AutoCAD Civil 3D) y de análisis estructural (Stereonet). Este último, permitió definir los principales sistemas estructurales, y con ayuda del software Unwedge 4.0, se modeló en 3D, calculó e identificó los eventos de falla que puedan desarrollarse en cuanto a los trabajos de avance minero.

**Tabla 25. Resumen de datos geotécnicos tomados en campo**

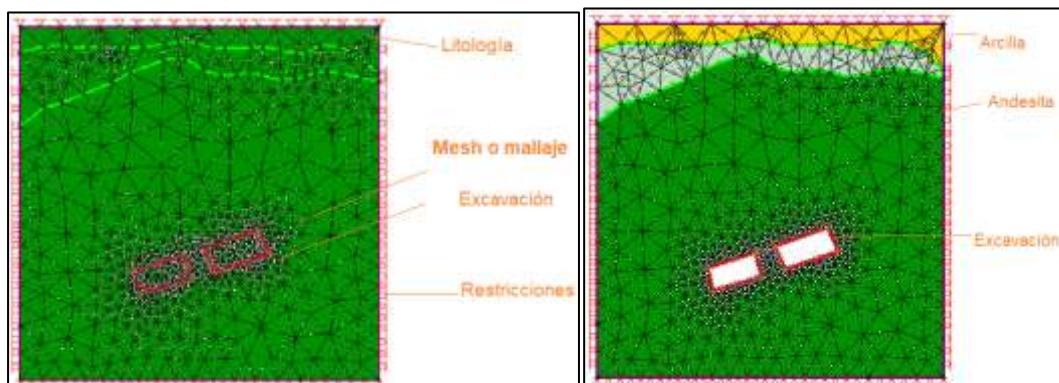
Estación	GSI	RMR	Q
E1	57	45 Regular III	10 Buena
E2	49	37 Mala IV	4.6 Regular
E3	57	55	10.8

		Regular III	Buena
E4	52	42	10.35
		Regular III	Buena
E5	53	41	4.6
		Regular III	Regular
E6	53	41	4.65
		Regular III	Regular
E7	61	59	4.6
		Regular III	Regular
E8	59	57	4.33
		Regular III	Regular
E9	55	53	4.13
		Regular III	Regular
E10	57	55	5.5
		Regular III	Regular
E11	50	42	3.35
		Regular III	Mala

*Fuente: El Autor, 2024*

El modelo de falla se completó con el análisis tensión-deformación utilizando los datos de Unwedge 4.0. Para realizar este proceso se utilizó el programa PHASE 2. Aquí se introdujo la sección de trabajo, datos geomecánicos (UCS, cohesión), geología y valores de altura. Utilizando el conjunto de datos, se modelaron y calcularon las fallas de las rocas.

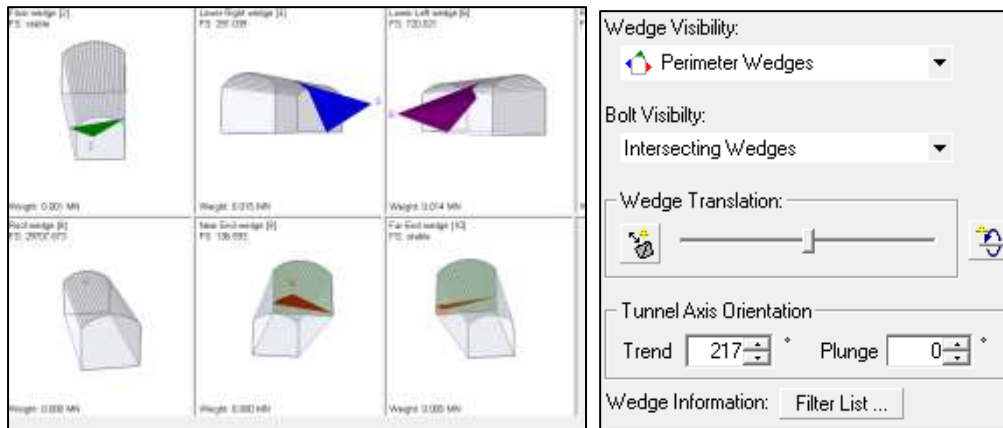
**Figura 22: Ingreso de datos en el programa Phase 2**



*Fuente: El Autor, 2024*

Con los valores del modelado de tensión-deformación como datos de entrada, se generan factores de seguridad, que luego se cargan en el software Unwedge 4.0 una vez más. Con estos valores es posible calcular y sugerir los tipos de apoyos actuales y los que se deben realizar durante la construcción de la chimenea.

**Figura 23:** Ingreso de datos estructurales y tenso-deformacionales en el software Unwedge



*Fuente: El Autor, 2024*

Al ingresar los datos estructurales, se utiliza el trend y plunge respectivamente.

#### **5.1.5.5. Metodología para el tercer objetivo: “Proponer el diseño de la Chimenea de Ventilación 240 en el cruceo principal Gaby”.**

Finalmente, con el modelo de zonificación geológico - geotécnico, se definió el sitio idóneo para implementar la construcción de la chimenea y con la ayuda de la topografía se calculó el diseño, se definió el rumbo, la inclinación, la longitud final y sección de la labor (datos del modelado numérico), para luego ser replanteada en campo.

Adicional se obtiene un costo estimado de la construcción de dicha chimenea de ventilación.



## 6. Resultados

### - *Relieve*

Conforme al levantamiento topográfico de campo se pudo determinar datos referentes: al metraje, relieve, dirección de las labores mineras, etc., estos valores se detallan en los siguientes ítems.

#### **6.1. Topografía Superficial**

El área de estudio presenta una topografía con pendientes relativamente suaves a empinadas, según la clasificación de Demek (1972), su cota más baja va desde los 1168 metros hasta los 1342 m s.n.m. En cuanto, a infraestructura el área de estudio cuenta con un campamento emplazado en una superficie de 492 m<sup>2</sup>, piscina, sitio para máquinas, parqueadero y una red de vías estimada en 1.2 km, en el anexo 3 se presenta el mapa de topografía superficial

**Figura 24.** *Campamento del área de estudio*



*Fuente: El Autor, 2024*

En cuanto, a la inclinación del relieve, según la clasificación de Demek (1972), existen pendientes en rangos, desde los  $>15^\circ$  hasta  $35^\circ$ , ocupando un área de 31746.77 m<sup>2</sup>, catalogadas como muy inclinadas, siendo la que mayor área ocupa y en menor superficie se sitúan pendientes catalogadas como ligeramente inclinadas, abarcando una superficie de 700.88 m<sup>2</sup>, en la tabla 26, se detalla los rangos de inclinación existentes y en el anexo 4 se puede observar el mapa de pendientes del área de estudio.

**Tabla 26. Vértices del área de estudio, referencia en WGS 84**

ID	Rangos	Descripción	Área (m <sup>2</sup> )
1	>0 - 5°	Ligeramente inclinado	700,88
2	>5 - 15°	Fuertemente inclinado	3313,29
3	>15 - 35°	Muy inclinado	31746,77
4	>35 - 55°	Empinado	4238.27

*Fuente: El Autor, 2024*

**Figura 25. Panorámica del área de estudio**



*Nota: Se muestra la topografía y relieve del área de estudio*

## 6.2. Topografía subterránea

En la siguiente tabla se muestran los puntos de control establecidos para el desarrollo de la topografía.

**Tabla 27. Puntos topográficos interior mina en WGS 84**

Id	Punto	Este	Norte	Elevación
1	E1	637721.75	9507244.04	1211.39
2	E2	637712.41	9507249.16	1211.10
3	E3	637693.20	9507260.53	1211.01
4	E4	637688.70	9507261.84	1211.05
5	E5	637674.15	9507259.16	1210.95
6	E6	637670.08	9507258.96	1212.80

7	E7	637665.82	9507270.70	1212.44
8	E8	637655.83	9507266.33	1215.85
9	E9	637651.33	9507266.47	1216.50
10	E10	637632.82	9507262.44	1217.36
11	E11	637626.11	9507251.88	1217.97

*Fuente: El Autor, 2024*

**Figura 26.** Vista del cruceo Gaby



*Fuente: El Autor, 2024*

### **6.3. Geomorfología**

El área de estudio, se sitúa sobre una vertiente heterogénea, se caracteriza por tener una forma cóncava-convexa e irregular, presenta zonas con pendientes suaves que ostentan los 5° a empinadas que bordean los 55° y una escasa disección, este tipo de geoforma se ha desarrollado sobre los materiales volcánicos de la Unidad Celica. En la figura 27 se puede observar lo mencionado y en el anexo 6 se muestra el mapa de geomorfología.



**Figura 27.** Geomorfología del área de estudio



*Fuente: El Autor, 2024*

#### **6.4. Marco Geológico**

El levantamiento geológico – estructural ejecutado en campo, determinó la presencia de una secuencia volcánica de composición andesítica y varias estructuras menores

##### **6.4.1. Geología del área de estudio**

###### ***Andesita (K<sub>ce</sub>)***

Este tipo de material está conformado por lavas andesíticas basálticas de color verde, y gris verdoso. Su textura varía de afanítica a porfirítica, con estructura masiva y poco a muy cohesivas.

**Figura 28.** *Afloramiento de andesita basáltica*



*Fuente: El Autor, 2024*

**Figura 29.** *Ejemplo de Andesita basáltica con textura porfirítica*



*Nota: Claramente se observa los fenocristales de plagioclasas que dan esta peculiar textura*

En el punto AE1 (UTM: 637722.56, 9507250.79,1214.75) se observa claro ejemplo de este tipo de roca (ver figura 30), caracterizada por sus tonalidades grises a verdosas y claras, esta última causada por la meteorización; en algunos puntos donde se encuentra diaclasada o lajada, se puede encontrar vetillas rellenas de cuarzo y arcilla, esta última como producto de alteración.

**Figura 30.** Afloramiento de andesita porfirítica, con presencia de diaclasas rellenas



*Nota:* Pequeñas vetillas, formadas en su mayoría por Qz, Plagioclasas

En algunos afloramientos como el punto AE4 (UTM: 637727.36, 9507272.49, 1221.726318), la roca muestra evidencias de concreciones, además el intemperismo y la erosión hacen que la andesita a pesar ser cohesiva se vuelva deleznable al tacto, además su edad se atribuye al Cretáceo y es correlacionada con la Unidad Celica, una secuencia volcánica marina, cuyos vestigios se pueden observar en campo.

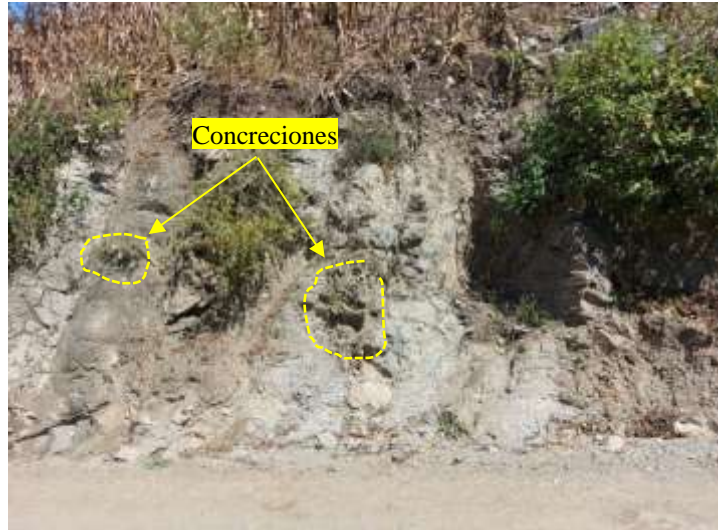
**Figura 31.** Toma de datos estructurales (dip, dip/direction)



*Nota:* En los afloramientos descritos en campo el sistema estructural tiende con preferencia al NO



**Figura 32.** *Concreciones desarrolladas en la roca andesítica*

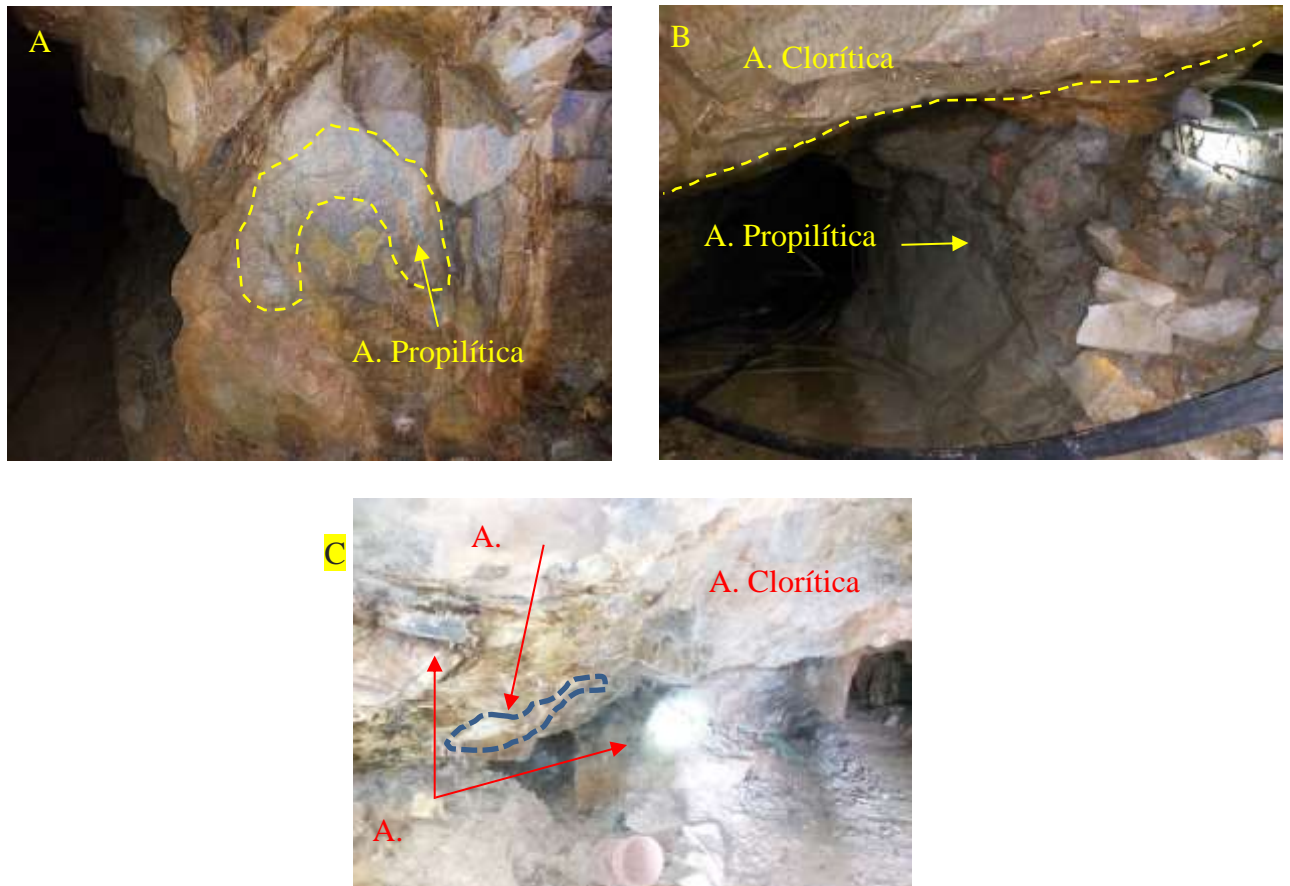


**Fuente:** *El Autor, 2024.*

#### **6.4.2 Geología de la galería de explotación**

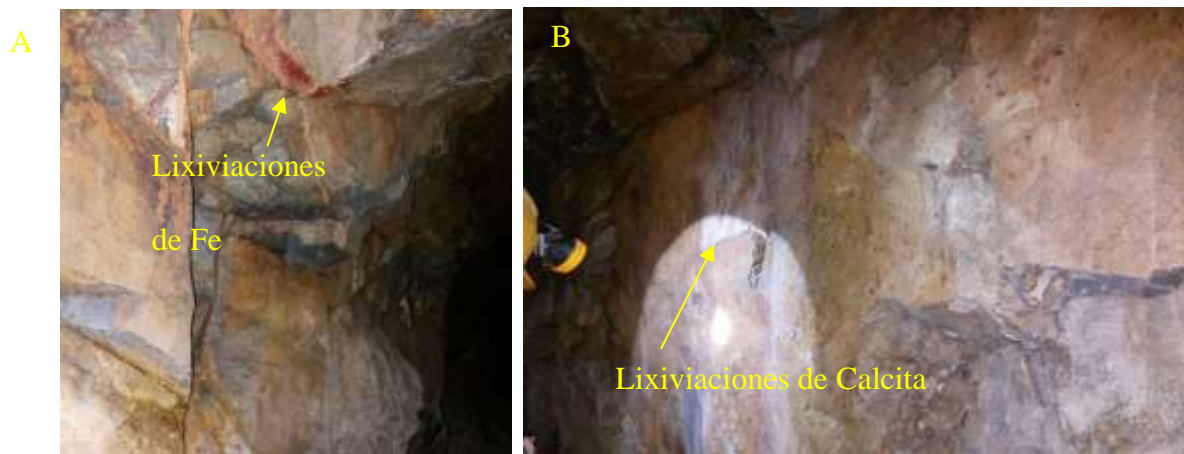
En interior mina se corrobora la presencia de andesitas basálticas, en gran parte mantienen la textura porfirítica, pero en ciertos tramos tiende a ser afanítica; claramente en sus paredes y techo se encuentran alteraciones del tipo cloritización media, cuarzo – sericitica, propilítica y lixiviaciones de calcita y hierro (capa rosa).

**Figura 33.** Alteraciones de la roca, interior mina



*Nota:* En la figura C), se puede apreciar los tres tipos alteración presentes en la roca, en este caso tonalidad de la roca blanca comprende al tipo sericítica, la verdosa intensa es propilítica y la arcilla a la clorítica.

**Figura 34.** Lixiviaciones en la roca



*Nota:* En la figura A) se percibe lixiviaciones de hierro, conocido como capa rosa en el dialecto minero, mientras que en B) se aprecia como un fluido de calcita que discurre por las paredes.

Para obtener datos de la geología interior mina se inició desde la estación JC – 01, en las coordenadas (637721.7528; 9507244.0357). se identifico roca andesita de textura porfirítica, con la presencia de minerales fundamentales de rocas ígneas a su vez se identifica diaclasamiento inclinado.

Continuando con la galería desde la estación JC-02 a la JC-06 (45.91m), con las coordenadas (637712.4123; 9507249.1579) y (637670.0823; 9507258.959). Se identifica roca de tipo andesítica desde el punto dos existe la presencia de meteorización con una textura porfirítica, el punto cinco existen porcas andesíticas con presencia de oxidación debido a la presencia de humedad en este sector, en el punto seis existen rocas andesíticas con presencia de alteraciones propilíticas.

En la estación JC – 07 con coordenadas (637665.8159; 9507270.6999). Se identifica la presencia de roca andesítica con textura porfirítica, en este punto de la galería existe una falla/veta Anita la misma que posee una mineralización de cuarzo con sulfuros, e impregnaciones de Au en la roca encajante, la veta tiene una textura crustiforme- coliforme con una potencia de 0.25m.

Seguido en la galería desde la estación JC – 08 hasta la estación JC – 11(45.33m) en las coordenadas (637655.8279; 9507266.3343) y (637626.1085; 9507251.8814). Se encuentra la presencia de roca Andesítica de textura porfirítica con varias alteraciones predominando la propilítica, en el ultimo punto once se observa que la roca andesítica tiene presencia de clorita, con textura porfirítica.

### ***Mineralogía***

El crucero Gaby, es atravesada por varias estructuras menores, pero la más importante es la falla/veta Anita (UTM: 637665.82, 9507270.70), la cual posee una mineralización de cuarzo con sulfuros, e impregnaciones de Au en la roca encajante, además, comprende un sistema de vetillas rellenas con material arcilloso.

**Figura 35. Veta Anita**



*Nota: veta con textura crustiforme, con potencia de 0.25 m*

Se lo define como un depósito hidrotermal de baja sulfuración, posee una textura crustiforme – coloforme, a nivel mineralógico contiene: pirita (py) de diferentes tonalidades, calcopirita (cpy), magnetita (mt), esfalerita, oro (Au), cuarzo (Qz) lechoso y cristalino, galena, calcita, clorita, epidota y bornita: y una ley mineral variable de 10 gr/ton hasta 60 gr/ton cuando se ensancha y forma estructuras tipo rosario.

**Figura 36. Veta Anita y minerales asociados**







*Nota:* Se puede observar en A, B, como el cuarzo cristalino y lechoso es el mineral que mayor porcentaje ocupa en la muestra, hasta forma cristales no muy desarrollados, mientras que, en C, se tiene Bornita y óxidos de hierro.

### ***Estructuras***

Se identificó varias fallas de importancia menor, todas son del tipo inversa, pero en superficie no fueron posible corroborarlas ya que no afloran o el intemperismo las oculta. En el punto UTM 637672.12, 9507259.06; se puede observar claramente este tipo de estructura, tienen una dirección preferencial NW-SE con el buzamiento hacia el Oeste, con una inclinación de 60°, se encuentra rellena de roca molida y arcilla con presencia de alteración.

**Figura 37.** Falla normal identificada en campo



**Fuente:** El Autor, 2024



Aunque la roca es atravesada por una falla, la cohesión que tiene soporta claramente este fenómeno, lo que se puede observar es como paralelo a la falla se forman diaclasas en la misma dirección de la estructura producto de la formación de la misma.

## 6.5. Geotecnia local

### 6.5.1. Estaciones geotécnicas.

Se completó la construcción de 11 estaciones geotécnicas, espaciadas a intervalos específicos. Cada estación fue construida con la intención de ser una representación precisa del macizo rocoso en el lugar donde se colocó, incorporando así tantas variaciones en los parámetros geotécnicos como fuera técnicamente factible. La ubicación de cada estación se determinó utilizando la referencia topográfica; se muestra en la tabla 27 a continuación.

**Tabla 27: Coordenadas de ubicación de estaciones Geotécnicas**

<b>Id</b>	<b>Punto</b>	<b>Cod.</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Elevación</b>
1	E1	JC-01	637721.75	9507244.04	1211.39
2	E2	JC-02	637712.41	9507249.16	1211.10
3	E3	JC-03	637693.20	9507260.53	1211.01
4	E4	JC-04	637688.70	9507261.84	1211.05
5	E5	JC-05	637674.15	9507259.16	1210.95
6	E6	JC-06	637670.08	9507258.96	1212.80
7	E7	JC-07	637665.82	9507270.70	1212.44
8	E8	JC-08	637655.83	9507266.33	1215.85
9	E9	JC-09	637651.33	9507266.47	1216.50
10	E10	JC-10	637632.82	9507262.44	1217.36
11	E11	JC-11	637626.11	9507251.88	1217.97

*Fuente: El Autor, 2024*

### 6.5.2. Caracterización del Macizo Rocosó

Las 11 estaciones geotécnicas a lo largo de toda la línea o crucero conocida como Gaby se utilizaron para recolectar los datos que sirven para caracterizar el macizo rocoso.

Se tiene en cuenta tres métodos de clasificación geomecánica para caracterizar el macizo rocoso antes mencionado.

Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski, el índice Q de Barton y GSI. En los cálculos del RMR se consideraron condiciones de humedad y se incluyeron los ajustes por orientación de estructuras.

El RMR divide el macizo rocoso en 5 clases, las que se indican en la Tabla 28.

**Tabla 28: Categorías de RMR Laubscher 1990.**

Clase	1	2	3	4	5
Rating	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
Descripción	Muy	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
Color					

*Fuente:* Tomado de (González de Vallejo, 2002)

Por otro lado, el Q de Barton distingue nueve categorías de calidad de macizo rocoso Tabla 29.

**Tabla 29: Categorías de RMR Laubscher 1990.**

Q entre	Clasificación
0,001-0,01	Roca excepcionalmente mala
0,01-0,1	Roca extremadamente mala
0,1	Roca muy mala
1-4	Roca mala
4-	Roca media
10-40	Roca buena
40-100	Roca muy buena
100-400	Roca extremadamente buena
400-1000	Roca excepcionalmente buena

*Fuente:* Tomada de (González de Vallejo, 2002)

#### 6.5.2.1. Designación de la calidad de las rocas

El índice de volumen conjunto (Jv) (número de discontinuidades por unidad de volumen) se puede utilizar como sustituto de las perforaciones cuando no se dispone de ellas, como es el caso, ya que estas discontinuidades se pueden observar directamente en afloramientos o mediante la excavación de pozos de sondeo.

Dado que el RQD puede aproximarse de esta manera, se ha aplicado la expresión de Palmström.

$$RQD=115 - 3.3Jv$$



UNL

Universidad Nacional de Loja

Donde Jv es el número de juntas por metro lineal.

**Tabla 30: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 01**

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 1</b>	<b>JC - 01</b>	<b>20/7/2023</b>
<b>PROYECTO:</b>		
Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680”.		
<b>RESPONSABLE:</b> Javier Cabrera Alvarado		
<b>UNIDAD:</b>	<b>LITOLOGÍA:</b> Andesita Porfirítica	
<b>COORDENADAS</b>	<b>X:</b> 637721.7528	<b>Y:</b> 9507244.0357 <b>Z:</b> 1211.39
<b>DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN:</b> 175°	<b>RQD=115 - 3.3(Jv)</b>	
<b>Jv</b>	<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
Λ	%	75-90
12	75.4	Buena

*Fuente: El Autor, 2024*

**Tabla 31: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 02**

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 2</b>	<b>JC - 02</b>	<b>20/7/2023</b>
<b>PROYECTO:</b>		
Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680”.		
<b>RESPONSABLE:</b> Javier Cabrera Alvarado		
<b>UNIDAD:</b>	<b>LITOLOGÍA:</b> Andesita	
<b>COORDENADAS</b>	<b>X:</b> 637712.4123	<b>Y:</b> 9507249.1579 <b>Z:</b> 1211.097
<b>DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN:</b> 304°	<b>RQD=115 - 3.3(Jv)</b>	
<b>Jv</b>	<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
Λ	%	50 – 75
14	69	Media



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Fuente: El Autor, 2024

**Tabla 32: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 03**

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 3</b>	<b>JC - 03</b>	<b>20/7/2023</b>
<b>PROYECTO:</b>		
Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680".		
<b>RESPONSABLE:</b> Javier Cabrera Alvarado		
<b>UNIDAD:</b>	<b>LITOLOGÍA:</b> Andesita	
<b>COORDENADAS</b>	<b>X:</b> 637693.204	<b>Y:</b> 9507260.5322 <b>Z:</b> 1211.011
<b>DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN: 200°</b>	<b>RQD=115 - 3.3(Jv)</b>	
<b>Jv</b>	<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
Λ	%	50 – 75
13	72.1	Media

Fuente: El Autor, 2024

**Tabla 33: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 04**

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 4</b>	<b>JC - 04</b>	<b>20/7/2023</b>
<b>PROYECTO:</b>		
Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680".		
<b>RESPONSABLE:</b> Javier Cabrera Alvarado		
<b>UNIDAD:</b>	<b>LITOLOGÍA:</b> Andesita	
<b>COORDENADAS</b>	<b>X:</b> 637688.7024	<b>Y:</b> 9507261.8364 <b>Z:</b> 1211.053
<b>DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN: 265°</b>	<b>RQD=115 - 3.3(Jv)</b>	
<b>Jv</b>	<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
Λ	%	50 - 75
14	69	Media

Fuente: El Autor, 2024



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

**Tabla 34: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 05**

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 5</b>	<b>JC - 05</b>	<b>20/7/2023</b>
<b>PROYECTO:</b>		
Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680".		
<b>RESPONSABLE:</b> Javier Cabrera Alvarado		
<b>UNIDAD:</b>	<b>LITOLOGÍA:</b> Andesita	
<b>COORDENADAS</b>	<b>X:</b> 637674.1503	<b>Y:</b> 9507259.1575 <b>Z:</b> 1211.053
<b>DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN: 265°</b>		<b>RQD=115 - 3.3(Jv)</b>
<b>Jv</b>	<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
Δ	%	50 - 75
14	69	Media

**Tabla 35: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 06**

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 6</b>	<b>JC - 06</b>	<b>20/7/2023</b>
<b>PROYECTO:</b>		
Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680".		
<b>RESPONSABLE:</b> Javier Cabrera Alvarado		
<b>UNIDAD:</b>	<b>LITOLOGÍA:</b> Andesita con alteración propi lítica	
<b>COORDENADAS</b>	<b>X:</b> 637670.0823	<b>Y:</b> 9507258.959 <b>Z:</b> 1212.804
<b>DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN: 319°</b>		<b>RQD=115 - 3.3(Jv)</b>
<b>Jv</b>	<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
Δ	%	50 - 75
14	69	Media

*Fuente: El Autor, 2024*

**Tabla 36: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 07**



UNL

Universidad Nacional de Loja

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 7</b>	<b>JC - 07</b>	<b>20/7/2023</b>
<b>PROYECTO:</b>		
Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680".		
<b>RESPONSABLE:</b> Javier Cabrera Alvarado		
<b>UNIDAD:</b>	<b>LITOLOGÍA:</b> Andesita	
<b>COORDENADAS</b>	<b>X:</b> 637665.8159	<b>Y:</b> 9507270.6999
		<b>Z:</b> 1212.435
<b>DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN:</b> 276°		<b>RQD=115 - 3.3(Jv)</b>
<b>Jv</b>	<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
Λ	%	50 - 75
14	69	Media

*Fuente: El Autor, 2024*

**Tabla 37: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 08**

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 8</b>	<b>JC - 08</b>	<b>20/7/2023</b>
<b>PROYECTO:</b>		
Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680".		
<b>RESPONSABLE:</b> Javier Cabrera Alvarado		
<b>UNIDAD:</b>	<b>LITOLOGÍA:</b> Andesita	
<b>COORDENADAS</b>	<b>X:</b> 637655.8279	<b>Y:</b> 9507266.3343
		<b>Z:</b> 1215.852
<b>DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN:</b> 272°		<b>RQD=115 - 3.3(Jv)</b>
<b>Jv</b>	<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
Λ	%	50 - 75
15	65.5	Media

*Fuente: El Autor, 2024*

**Tabla38: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 09**

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 9</b>	<b>JC - 09</b>	<b>20/7/2023</b>



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

**PROYECTO:**

Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680”.

**RESPONSABLE:** Javier Cabrera Alvarado

**UNIDAD:**

**LITOLOGÍA:** Andesita

**COORDENADAS**                      **X:** 637651.33                      **Y:** 9507266.4666                      **Z:**  
1216.497

**DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN:** 256°                      **RQD=115 - 3.3(Jv)**

<b>Jv</b>	<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
Λ	%	50 - 75
16	62.2	Media

*Fuente: El Autor, 2024*

**Tabla 39: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 10**

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 10</b>	<b>JC - 10</b>	<b>20/7/2023</b>

**PROYECTO:**

Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680”.

**RESPONSABLE:** Javier Cabrera Alvarado

**UNIDAD:**

**LITOLOGÍA:** Andesita con alteración propilítica

**COORDENADAS**                      **X:** 637632.8157                      **Y:** 9507262.4383                      **Z:**  
1217.362

**DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN:** 256°                      **RQD=115 - 3.3(Jv)**

<b>Jv</b>	<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
Λ	%	50 - 75
15	66	Media

*Fuente: El Autor, 2024*

**Tabla 40: CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)/ JC - 11**

CLASIFICACIÓN RQD (Rock Quality Designation)	CODIGO	Fecha
<b>ESTACIÓN GEOTÉCNICA Nro. 11</b>	<b>JC - 11</b>	<b>20/7/2023</b>



UNL

Universidad Nacional de Loja

**PROYECTO:**

Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680”.

**RESPONSABLE:** Javier Cabrera Alvarado

**UNIDAD:**

**LITOLOGÍA:** Andesita

**COORDENADAS**

**X:** 637626.1085

**Y:** 9507251.8814

**Z:**

1217.969

**DIRECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN:** 256°

**RQD=115 - 3.3(Jv)**

**Jv**

**RQD**

**CALIDAD DE ROCA**

Λ

%

75 - 90

12

75.4

Buena

*Fuente: El Autor, 2024*

**6.5.2.2. Valoración del Macizo Rocoso**

Como se había mencionado en el apartado anterior, la caracterización del macizo rocoso del área de estudio (crucero Gaby), se lo realizó a través de las clasificaciones de Bieniawski (RMR), GSI (índice de calidad del macizo rocoso), y clasificación de Barton.

**Calculo RMR.**

Para la presente investigación, se calculó el RMR para las 11 estaciones levantadas en las labores subterráneas de acuerdo a la metodología y tablas de puntajes.

Para cada labor subterránea se obtuvo los siguientes cálculos:

**Tabla 41: Categorías de la RMR – Crucero Gaby**

Id	Punto	Ubicación Topográfica			Elevación	Valor	Clasificación RMR	
		Este	Norte	Categoría			Labor Minera	
1	JC-1	637721.75	9507244.04	1211.39	45	Regular III	C. Gaby	
2	JC-2	637712.41	9507249.16	1211.10	37	Mala IV	C. Gaby	
3	JC-3	637693.20	9507260.53	1211.01	55	Regular III	C. Gaby	
4	JC-4	637688.70	9507261.84	1211.05	42	Regular III	C. Gaby	
5	JC-5	637674.15	9507259.16	1210.95	41	Regular III	C. Gaby	
6	JC-6	637670.08	9507258.96	1212.80	41	Regular III	C. Gaby	
7	JC-7	637665.82	9507270.70	1212.44	59	Regular III	C. Gaby	
8	JC-8	637655.83	9507266.33	1215.85	57	Regular III	C. Gaby	
9	JC-9	637651.33	9507266.47	1216.50	53	Regular III	C. Gaby	



10	JC-10	637632.82	9507262.44	1217.36	55	Regular III	C. Gaby
11	JC-11	637626.11	9507251.88	1217.97	42	REGULAR III	C. Gaby

*Fuente: El Autor, 2024*

**Figura 35:** Muestra, de izquierda a derecha, la apariencia de 2 estaciones con distinta calidad geotécnica: mala (JC -2 Crucero Gaby) y una de calidad regular



*Nota: En la figura del lado izquierdo, se Fuente: la oxidación y humedad, que hace que la roca se deteriore más rápido y se vuelva incompetente.*

### **Cálculo Índice Q de Barton**

Igual que el sistema RMR, también se calculó el Índice Q de Barton, para las 11 estaciones; del mismo modo la metodología y tablas de puntajes se las puede revisar en anexo 2 se presenta las tablas de valoración completas. A continuación, se detalla las categorías por cada una de las estaciones.

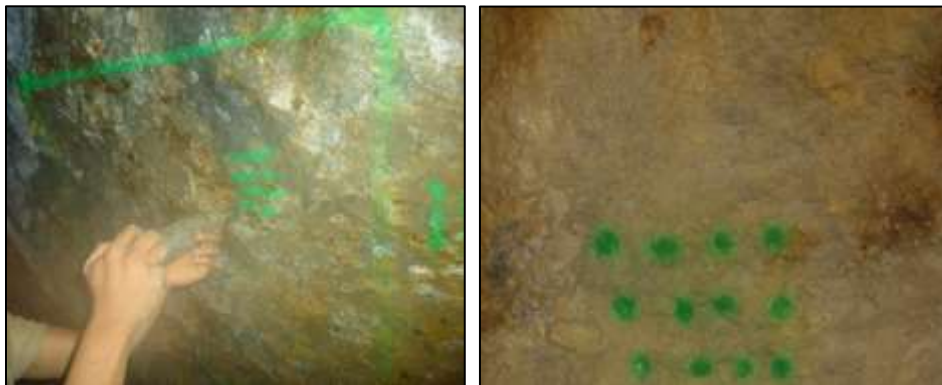
**Tabla 42:** *Categorías de la Q de Barton – Crucero Gaby*

Id	Punto	Ubicación Topográfica			Valor	Clasificación Q	
		Este	Norte	Elevación		Categoría	Labor Minera
1	JC-1	637721.75	9507244.04	1211.39	10	Buena	C. Gaby
2	JC-2	637712.41	9507249.16	1211.10	4.6	Regular	C. Gaby
3	JC-3	637693.20	9507260.53	1211.01	10.8	Buena	C. Gaby
4	JC-4	637688.70	9507261.84	1211.05	10.35	Buena	C. Gaby
5	JC-5	637674.15	9507259.16	1210.95	4.6	Regular	C. Gaby
6	JC-6	637670.08	9507258.96	1212.80	4.65	Regular	C. Gaby
7	JC-7	637665.82	9507270.70	1212.44	4.6	Regular	C. Gaby
8	JC-8	637655.83	9507266.33	1215.85	4.33	Regular	C. Gaby
9	JC-9	637651.33	9507266.47	1216.50	4.13	Regular	C. Gaby
10	JC-10	637632.82	9507262.44	1217.36	5.5	Regular	C. Gaby
11	JC-11	637626.11	9507251.88	1217.97	3.35	Mala	C. Gaby

*Fuente: El Autor, 2024*

La Figura 36, muestra, de izquierda a derecha, la apariencia de dos estaciones con distinta calidad geotécnica: una con calidad regular, otra con calidad buena, según la Q de Barton es de categoría Regular.

**Figura 36:** Ejemplos de macizos con valoración; A: roca con categoría Regular del Crucero Gaby (JC – 08) y B: roca de categoría Regular, (JC – 04)



*Fuente: El Autor, 2024*

Los cálculos realizados en cada una de las estaciones geotécnicas y sus respectivos valores se muestran en la cartilla del anexo 2, mientras tanto, se indica un resumen de los valores obtenidos en las tres clasificaciones.

En la estación JC – 01, existe un tipo de andesita porfírica, la cual presenta una resistencia a la compresión simple de 42.7 Mpa, con un RQD de 75.4 %, según su RMR que es de 45, que equivale a una calidad de roca Regular de clase III, mientras que Barton lo considera un macizo rocoso Bueno, tal y como se ve en la siguiente tabla.

**Tabla 43: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 01**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
<b>Estación JC - 01</b>	
Resistencia a la compresión simple	42.7
RQD (%)	75.4
RMR BASICO	57
RMR Corregido	45
RMR Seco	62
Q de Barton	10
GSI	57

*Fuente: El Autor, 2024*

En la estación JC – 02, nos encontramos un tipo de roca andesítica con aparente meteorización, ésta presenta una resistencia a la compresión simple de 38.4 Mpa, el RQD de 69%, el RMR de 37 es equivalente a un tipo de roca Mala de Clase IV, de acuerdo a la clasificación de Barton su valor es de 4.6 que significa que estamos en un macizo rocoso regular.

**Tabla 44: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 02**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
Estación JC - 02	
Resistencia a la compresión simple	38.4
RQD (%)	69
RMR BASICO	37
RMR Corregido	57
RMR Seco	62
Q de Barton	4.6
GSI	49

*Fuente: El Autor, 2024*

En la estación JC – 03, a lo largo de su tramo, está compuesta por rocas andesíticas, que presentan una resistencia a la compresión de 46 Mpa, el RQD es de 72% que representa a una roca Regular de Clase III, según Barton corresponde a un tipo de roca Buena.

**Tabla 45: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 03**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
Estación JC - 03	
Resistencia a la compresión simple	46.0
RQD (%)	72
RMR BASICO	57
RMR Corregido	55
RMR Seco	62
Q de Barton	10.8
GSI	57

*Fuente: El Autor, 2024*



La estación JC – 04 está conformada por rocas de tipo andesítica, con una resistencia de 40Mpa, se encuentra en los rangos característicos de este tipo de roca, el RQD es de 69%, su RMR es de 52 que está dentro del rango de rocas irregulares de clase III, mientras que en la clasificación de Barton corresponde a un tipo de roca Buena.

**Tabla 46: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 04**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
Estación JC - 04	
Resistencia a la compresión simple	40
RQD (%)	69
RMR BASICO	52
RMR Corregido	42
RMR Seco	57
Q de Barton	10.35
GSI	52

*Fuente: El Autor, 2024*

La estación geomecánica JC – 05, está representada por rocas andesíticas con presencia de oxidación, esta roca tiene una resistencia a la compresión de 38 Mpa, el RQD al igual que la estación anterior es de 69%, lo que significa que es casi similar el tipo de roca, el RMR lo califica como una roca Regular de Clase III, al igual que Barton que con 4.6 entra en la categoría Regular.

**Tabla 47: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 05**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
Estación JC - 05	
Resistencia a la compresión simple	38
RQD (%)	69
RMR BASICO	53
RMR Corregido	41
RMR Seco	58
Q de Barton	4.6
GSI	53

*Fuente: El Autor, 2024*

La estación JC – 06, presenta andesitas con alteraciones propilíticas, tienen una resistencia a la compresión simple de 40 Mpa, su RQD es de 69% por tener el Jv de 14, el RMR es de 53, dando como resultado una roca de tipo Regular de Clase III, Barton también lo califica como un macizo rocoso de tipo Regular

**Tabla 48: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 06**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
Estación JC – 06	
Resistencia a la compresión simple	40
RQD (%)	69
RMR BASICO	53
RMR Corregido	41
RMR Seco	58
Q de Barton	4.6
GSI	53

*Fuente: El Autor, 2024*

La estación JC – 07 presenta un tipo de roca andesítica, su resistencia a la compresión simple es de 38, el RQD es de 69%, y el RMR es de 61, dando como resultado un macizo rocoso regular Clase III al igual que la clasificación de Barton; tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 49: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 07**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
Estación JC – 07	
Resistencia a la compresión simple	38
RQD (%)	69
RMR BASICO	61
RMR Corregido	59
RMR Seco	66
Q de Barton	4.6
GSI	61

*Fuente: El Autor, 2024*

La estación geomecánica JC – 08, está conformada por rocas andesíticas, que tienen una resistencia a la compresión simple de 34 Mpa, un poco menor que las estaciones anteriores;

posee un RQD s de 65%, el RMR es de 59 que lo coloca como un macizo Regular De Clase III, por su parte en la clasificación de Barton también lo ubican como un macizo rocoso Regular 4.33.

**Tabla 50: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 08**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
Estación JC – 08	
Resistencia a la compresión simple	34
RQD (%)	65
RMR BASICO	59
RMR Corregido	57
RMR Seco	64
Q de Barton	4.33
GSI	59

*Fuente: El Autor, 2024*

La estación JC – 09 presenta un tipo de roca andesítica, su resistencia a la compresión simple es de 33, el RQD es de 62%, y el RMR es de 55, dando como resultado un macizo rocoso regular Clase III al igual que la clasificación de Barton que con un valor de 4.13 colocándolo en un rango de macizo rocoso Regular; tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 51: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 09**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
Estación JC – 09	
Resistencia a la compresión simple	33
RQD (%)	62
RMR BASICO	55
RMR Corregido	53
RMR Seco	60
Q de Barton	4.13
GSI	55

*Fuente: El Autor, 2024*

La estación JC – 10 presenta un tipo de roca andesítica con visible alteración propilítica, su resistencia a la compresión simple es de 38, el RQD es de 66%, y el RMR es de 55, dando

como resultado un macizo rocoso regular Clase III al igual que la clasificación de Barton que con un valor de 5.5 colocándolo en un rango de macizo rocoso Regular.

**Tabla 52: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 10**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
Estación JC – 10	
Resistencia a la compresión simple	38
RQD (%)	66
RMR BASICO	57
RMR Corregido	55
RMR Seco	62
Q de Barton	5.5
GSI	57

*Fuente: El Autor, 2024*

La estación JC – 11 presenta un tipo de roca andesítica con presencia de clorita, su resistencia a la compresión simple es de 36, el RQD es de 75.4%, y el RMR es de 52, dando como resultado un macizo rocoso de calidad Mala de Clase IV, mientras que la clasificación de Barton nos da un valor de 3.35, lo cual nos refleje que el macizo rocoso es de tipo Pobre; tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 53: Resumen del cálculo geomecánico / JC- 11**

<b>MAPEO GEOMECÁNICO</b>	
Estación JC – 11	
Resistencia a la compresión simple	36
RQD (%)	75.4
RMR BASICO	52
RMR Corregido	40
RMR Seco	57
Q de Barton	3.35
GSI	52

*Fuente: El Autor, 2024*

A continuación, se muestra un resumen del resultado de las clasificaciones geomecánicas que han sido calculadas a lo largo del cruce Gaby, estos valores posteriormente nos servirán para realizar el mapa geotécnico de la zona de estudio.

**Tabla 54: Resumen de la valoración de las estaciones geomecánicas del Cruce Gaby**

ESTACION	GSI	BIENIAWSKI RMR	BARTON
GEOMECANICA	GSI	RMR	Q
JC – 01	57	45 REGULAR III	10 BUENA
JC – 02	49	37 MALA IV	4.6 REGULAR
JC – 03	57	55 REGULAR III	10.8 BUENA
JC – 04	52	42 REGULAR III	10.35 BUENA
JC – 05	53	41 REGULAR III	4.6 REGULAR
JC – 06	53	41 REGULAR III	4.65 REGULAR
JC – 07	61	59 REGULAR III	4.6 REGULAR
JC – 08	59	57 REGULAR III	4.33 REGULAR
JC – 09	55	53 REGULAR III	4.13 REGULAR
JC – 10	57	55 REGULAR III	5.5 REGULAR
JC – 11	50	42 REGULAR III	3.35 MALA

*Fuente: El Autor, 2024*

### 6.5.2.3. Análisis del Estado Actual del Macizo Rcoso

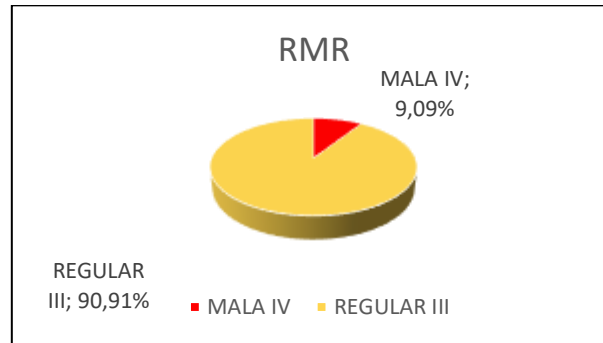
#### - Clasificación RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski

De acuerdo al levantamiento geotécnico por el método de Bieniawski (RMR), se determinó que el macizo rocoso posee dos categorías; Regular y Mala.

Analizando estas categorías, en su mayoría el macizo tiene un valor REGULAR, abarcando el 90.91% del área topográfica levantada, seguidamente el 9.09% representado por rocas de MALA calidad tal como se indica en la figura 37.



**Figura 37:** Porcentajes de la clasificación RMR



*Fuente: El Autor, 2024*

- **Clasificación Q de Barton**

De acuerdo al levantamiento geotécnico por el método de Barton (Q), se determinó que el macizo rocoso posee dos categorías; buena y regular. Analizando las dos categorías, en su mayoría el macizo tiene un valor REGULAR, abarcando el 64% del área topográfica levantada, seguidamente del 27.27% representado por rocas de BUENA calidad según esta clasificación y tan solo un 9.09 % de calidad Mala.

**Figura 38:** Porcentajes de la clasificación de Barton



*Fuente: El Autor, 2024*

**Tabla 55:** Comparación de valores obtenidos mediante la metodología de Bieniawski y Barton

CLASIFICACIÓN	BUENA	REGULAR	MALA
BIENIAWSKI	0	90.91 %	9.09%
BARTON	27%	64 %	9.09%

*Fuente: El Autor, 2024*

Debido a que las dos clasificaciones RMR y Q coinciden en que la mayor parte del macizo rocoso se encuentra en estado regular, es posible ver en la tabla anterior que existe una singularidad en las condiciones de la roca. Por otra parte, los siguientes factores pueden utilizarse para explicar la aparente discrepancia entre la clasificación del macizo rocoso (clasificación) realizada por las estaciones geotécnicas. (ver anexo 9 - 10)

- La excavación del crucero supuso la apertura de fracturas que previamente habían sido rellenadas con materiales de falla y otros materiales blandos o suaves.
- En algunas estaciones geomecánicas existe la presencia de agua y este parámetro aumenta su valor para la categorización, por lo que puede variar de una a otra metodología.

#### 6.5.2.4. Análisis cinemático de las estructuras

A través del análisis cinemático se pudo examinar y evaluar las condiciones estructurales del macizo rocoso, ya que, al existir discontinuidades en el mismo, se producen diversos tipos de roturas que se deben puntualizar y determinar para su posterior estabilidad. De acuerdo al mapeo estructural de campo, se obtuvieron los siguientes datos (ver tabla 56).

**Tabla 56: Datos estructurales del Crucero Gaby**

CRUCERO GABY			
Estación Geotécnica	Dip	Dip Direction	Tipo Estructura
JC - 01	70	35	Diaclasa
	66	260	Diaclasa
	46	69	Diaclasa
JC - 02	62	212	Diaclasa
	32	136	Diaclasa
	22	300	falla inversa
JC - 03	40	233	Diaclasa
	32	340	Diaclasa
			Diaclasa
JC - 04	66	145	Diaclasa
	18	230	falla inversa



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

---

	62	148	Diaclasa
JC - 05	22	226	falla inversa
	26	241	Diaclasa
	69	67	Diaclasa
JC - 06	24	64	Diaclasa
	58	195	Diaclasa
	56	58	Veta
JC - 07	44	140	Diaclasa
	28	216	Diaclasa
	56	88	Diaclasa
JC - 08	24	239	Diaclasa
	28	216	falla inversa
	77	96	Diaclasa
JC - 09	34	240	Diaclasa
	86	320	Diaclasa
	54	83	Diaclasa
JC - 10	30	236	Diaclasa
	43	223	Diaclasa
	80	94	Diaclasa
JC - 11	34	230	Diaclasa
	82	315	Diaclasa

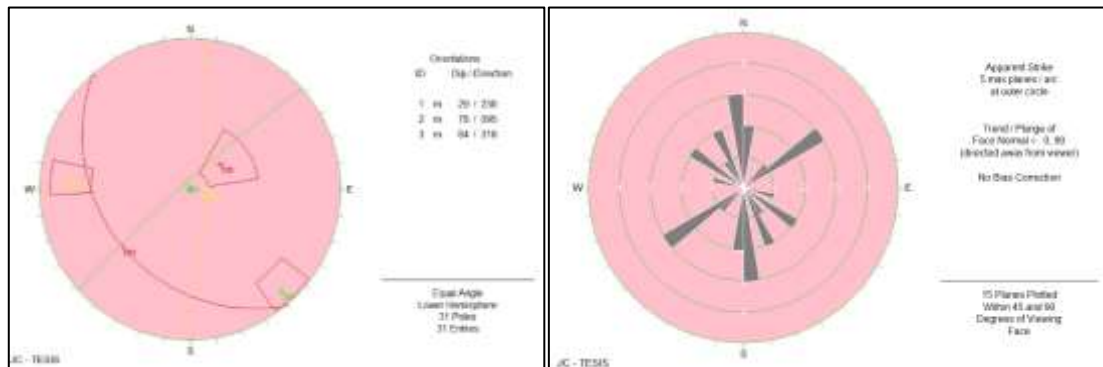
---

**Fuente:** El Autor, 2024

El levantamiento estructural permitió recolectar información de 4 fracturas tipo falla inversa, 26 diaclasas, y 1 dato estructural de la veta; lo cuales se han graficado mediante estereogramas dando como resultado la conformación de 3 sets principales de estructuras.

El set número 1, tiene un manteo hacia el SW, sub horizontal, es el set principal que determina una tendencia hacia el SW, posee un dip / dip-direction de (29/230, con 10 polos) ver figura (39), este set posee la mayor cantidad de polos con respecto a los demás sets, aunque cabe mencionar que no abarca la veta, solo diaclasas y fallas. El set número dos se define por un manteo hacia el E, es sub vertical (78/095, con 2 polos), y por último el set número tres tiene un manteo hacia el NW, sub vertical (84/1318, con 2 polos),

**Figura 39:** Estereograma con datos del Crucero Gaby



*Fuente: El Autor, 2024*

En la figura anterior, figura 39b que distingue un diagrama de rosetas, la misma que indica la dirección preferencial hacia el SW, mientras que los demás sets se intersectan entre sí, lo que da como resultado fracturamiento de tipo cuña tal y como se muestra en el crucero (ver figura 40).

**Figura 40:** Desprendimiento de roca tipo cuña



*Fuente: El Autor, 2024*

A continuación, se resume cada una de los valores del set en el Crucero Gaby:

**Tabla 57.** Datos estructurales del Crucero Gaby.

SECTOR CRUCERO GABY				
Set	Dip	Dip/Dir	Rumbo	Manteo
1	29	230	N40°W	29°SW
2	78	095	N5°E	78°SE
3	84	318	N48°E	84°NW

*Fuente: El Autor, 2024*

### 6.5.2.5 Análisis de riesgos geológicos estructurales

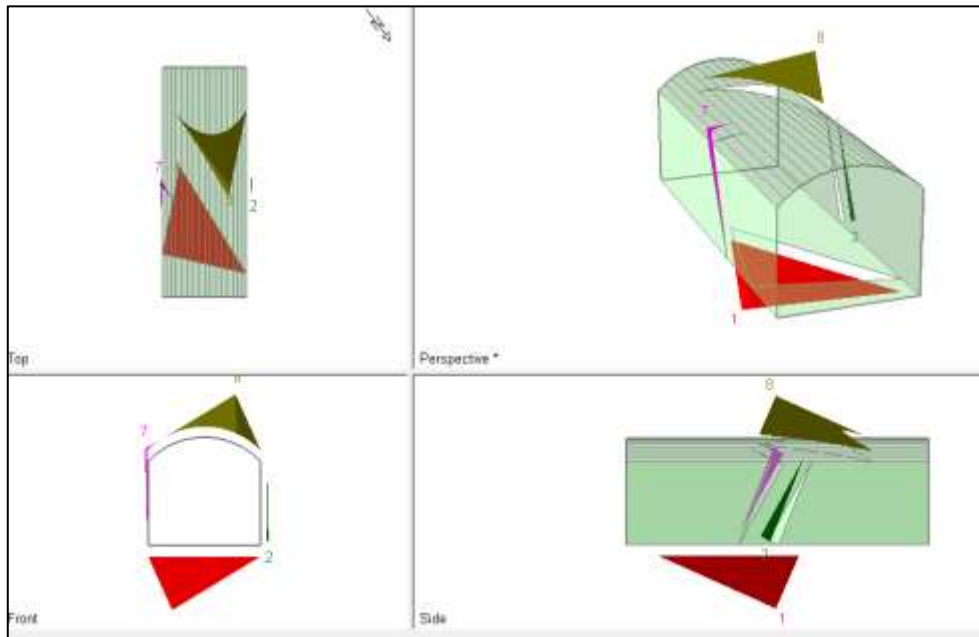
La posibilidad de caída de cuñas o bloques fue identificada como uno de los escenarios de riesgo en nuestro macizo rocoso y, como tal, es analizada mediante el programa Unwedge. En base a la continuidad de los planos, este programa permite fragmentar el tamaño de las cuñas. La cuña más grande para la sección homogénea resulta en una dirección de 217°, porque la orientación del eje del túnel que varía entre 217° y 260°; en consecuencia, se utilizó esta dirección para evaluar las cuñas. Los datos estructurales son tomados del resultado de la interacción de estructuras mediante estereogramas anteriormente descrita:

**Tabla 58:** Sets estructurales del Crucero Gaby

Set	Dip	DipDir	Rumbo
1	29	230	N40°W
2	78	095	N5°E
3	84	318	N48°E

*Fuente: El Autor, 2024*

**Figura 40:** Desprendimiento de roca tipo cuña



*Fuente: El Autor, 2024*

En la figura anterior se muestra como la cuña número 8, está causando una afectación sobre el techo del túnel y su factor de seguridad es nulo o 0, por lo que se tendría que aplicar algún método de sostenimiento y estabilidad, con el objetivo de ir aumentando considerablemente el factor de seguridad.

Ahora bien, si tomamos como referencia el factor de seguridad con un valor de 1.3 para el desprendimiento de bloques o cuñas que se generan y propagan en el cruceo Gaby, cada zona con valores inferiores a este número 1.3, corren el riesgo de sufrir algún tipo de afectación o fallamiento. Entonces, al analizar las tensiones sufridas durante la excavación, se realiza nuevamente el análisis del desprendimiento o afectación con su respectivo método de sostenimiento para ver si en efecto se ha logrado estabilizar la zona y el riesgo sea nulo.

#### **6.5.2.6. Análisis de esfuerzos y tensiones**

En este apartado se ha realizado el modelamiento de algunas secciones de la zona en estudio, en este caso la concentración de tensiones en algunos pilares corridos pertenecientes a las estaciones geotécnicas JC-02; JC-03; JC - 04

Se tomaron en consideración dos escenarios clave para el desarrollo de este modelo: uno sin excavación subterránea y otro con excavación subterránea. Esto se hizo para ilustrar o confirmar cómo podrían comportarse cada uno de estos modelos.

Este modelado también se lo ha realizado en base a cada sector identificado en este proyecto, definiendo los materiales y obteniendo sus valores en laboratorio y mediante el uso del software RocLab de la firma Rocscience.

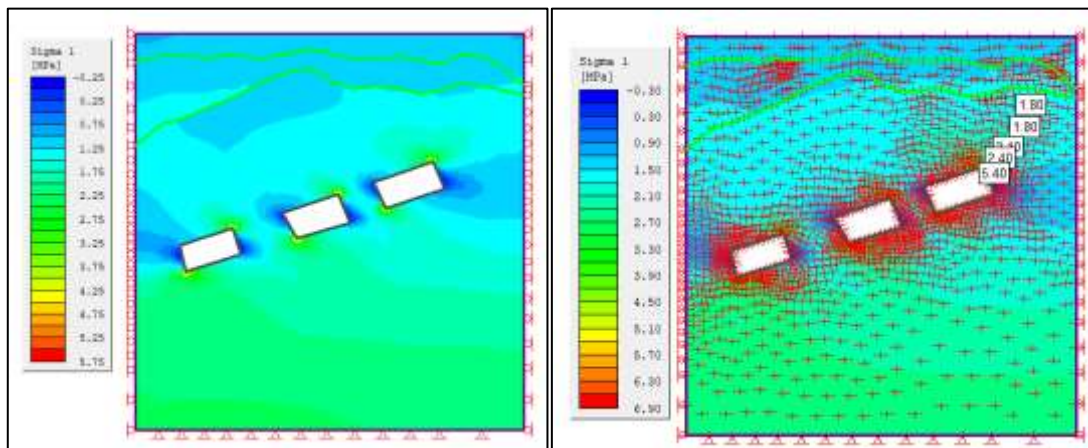
**Tabla 59: Materiales utilizados en el modelamiento**

	ARCILLA	VETA MIN	ANDESITA
<b>Material type:</b>	Isotropico	isotropico	isotropico
<b>Young's modulus</b>	7447 MPa	46.7 MPa	17782.79 MPa
<b>Poisson's ratio</b>	0.2	0.2	0.2
<b>Failure criterion:</b>	Mohr-Coulomb	Hoek-Brown	Hoek-Brown
<b>Tensile strength</b>	0 Mpa	0 MPa	0 MPa
<b>Peak friction angle</b>	24.12 degrees	0.094	67.56
<b>Peak cohesion</b>	1.445 Mpa	1,00E-05	1.335
<b>Material type:</b>	Elastic	Elastic	Elastic

*Fuente: El Autor, 2024*

### *Esfuerzos principales Sigma 1*

**Figura 41: Modelamiento – esfuerzos principales**



*Fuente: El Autor, 2024*

Se observa una concentración de tensiones (sigma 1) expresado en mega pascales (MPa), esto se da en forma de espas que va en tendencia a una rotura uniaxial en los pilares



como si fuera un ensayo de compresión simple, a medida que nos vamos acercando hacia las excavaciones va aumentando los esfuerzos principales especialmente en las paredes y ángulos de los techos, estos esfuerzos oscilan entre 1.8 hasta llegar a 5 Mpa. A través del software también se puede observar con claridad como los esfuerzos se van a una dirección preferencial en las excavaciones y por lo tanto los pilares que se encuentran separando una excavación o cámara se van deteriorando poco a poco hasta llegar a un punto de rotura.

In situ se evidencia la deformación y desgaste de un pilar ver figura 42.

**Figura 42:** a. Cámara y b. pilar desgastado



*Fuente: El Autor, 2024*

La Cámara y el pilar modelado en el software: en donde se demuestra que los esfuerzos actúan principalmente en el pilar por su dimensión menor en relación a la separación de las cámaras. El pilar se encuentra debilitado.

### ***Factor de resistencia***

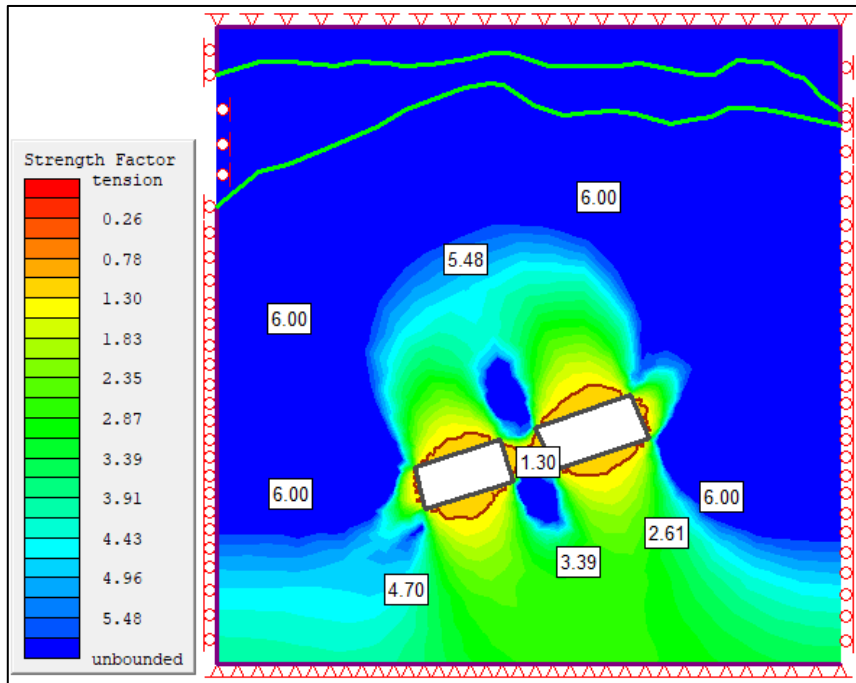
Este parámetro se conoce como la proporción entre la tensión confinante o inducida y la resistencia de un material rocoso cuando las unidades son iguales. En este modelo, existen materiales que están por debajo de este parámetro y la tensión del material supera la resistencia del material, lo que significa que el material fallaría. La tendencia del material a fallar disminuye a medida que aumenta el factor de resistencia y mejoran sus propiedades de resistencia. El análisis de esta relación es proporcionado por este modelo.

En la figura 43 se aprecia que existen valores mayores a 1.0 y también valores por debajo del 1.0, lo cual refleja que ya existen zonas de fallo y rotura en el pilar, la zona roja entre las dos cámaras que representa el pilar, nos demuestra que este ya está en fase de colapso,



y que se necesita de medidas de estabilización para aumentar el FS y así poder evitar riesgos de caídas de roca.

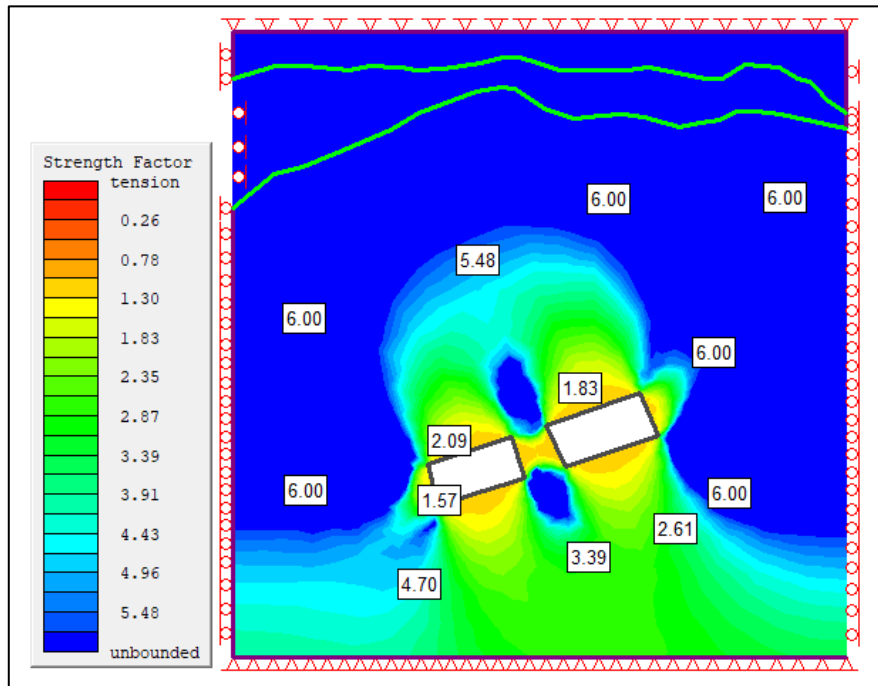
**Figura 43:** Modelamiento – factor de resistencia



*Fuente:* El Autor, 2024

En la figura 43, se observa que existen aureolas de plastificación o de rotura alrededor del material, dentro de esta isolínea de plastificación nos denota que existen valores límites por debajo de 1.3 de strength factor, y que estamos con tendencia al fallamiento de los materiales, por el contrario, si el factor de resistencia aumenta, el material poseerá mejores propiedades y por ende mayor resistencia.

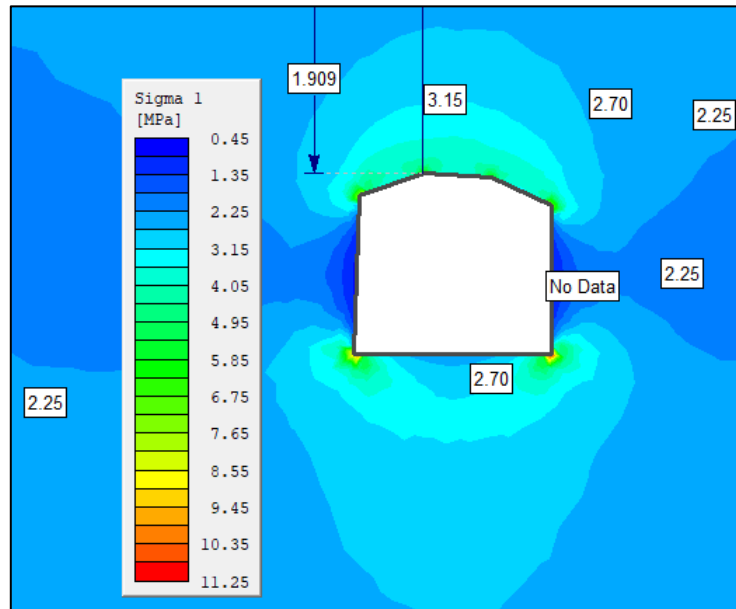
**Figura 44:** Modelamiento – factor de resistencia



*Fuente: El Autor, 2024*

Si bien es cierto la presencia de debilidades de algunas zonas dentro del crucero, conlleva a la necesidad de buscar un macizo rocoso idóneo para la construcción de una chimenea que es el objetivo principal de la presente investigación, es por ello que en la estación geotécnica y geomecánica JC – 10, a través del modelamiento nos indica la trayectoria de los esfuerzos a través del macizo rocoso, y como estos van direccionándose hacia la excavación de la galería. Figura (45)

**Figura 45:** Modelamiento – factor de resistencia en estación geotécnica JC/10

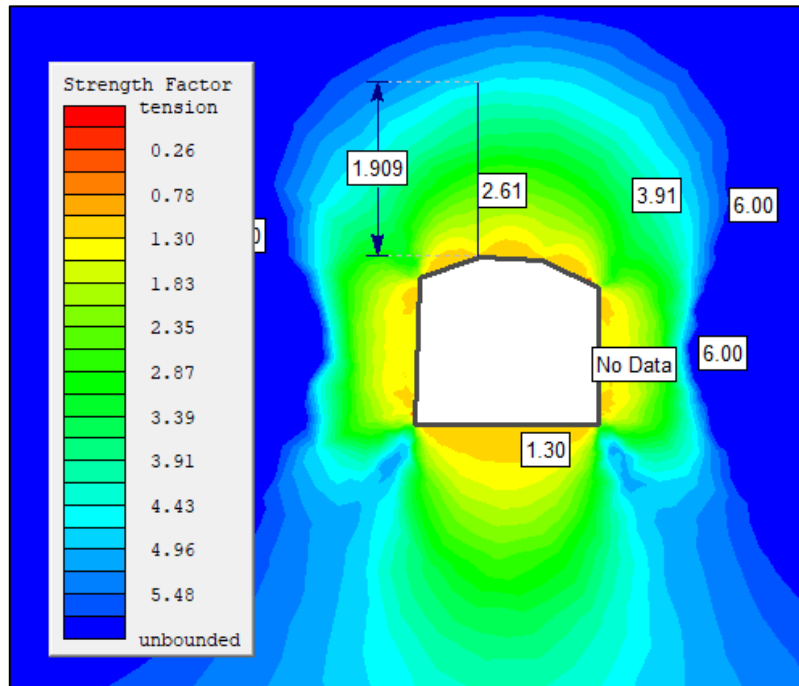


*Fuente:* El Autor, 2024

Como se puede observar, las tensiones son iguales en el plano alejado de la galería de 3 Mpa, pero la tensión principal es nula en el eje normal a la apertura de la galería de 0 Mpa, que concretamente se encuentra en la parte superior de la excavación.

En cambio, al considerar el factor resistencia o strength factor, se puede ver que la tensión inducida es mayor que la resistencia de los materiales del techo y paredes, siendo necesario realizar una corrección y la aplicación de una cierta cantidad de soporte que nos permita trabajar con seguridad.

**Figura 46:** Modelamiento – factor de resistencia/ JC-10



*Fuente:* El Autor, 2024

Los valores inferiores a 1.0 Mpa están resaltados en rojo en la figura anterior, y se concentran en el techo y las paredes, siendo las aureolas de deformación las que reflejan cómo va cediendo al aplicarle estas tensiones, sin embargo, se debe aplicar algún método de sostenimiento para que el factor de seguridad se reduzca, hasta llegar al límite permitido.

**Figura 47:** Contorno de excavación en el sector JC-10, cruceo Gaby



*Fuente: El Autor, 2024*

#### **6.5.2.7. Análisis de estabilización del macizo rocoso**

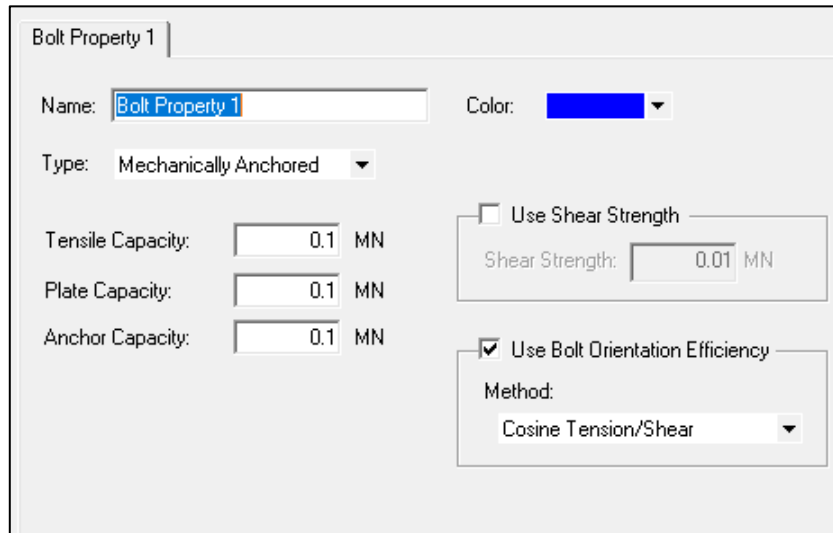
Para estabilizar y sostener áreas vulnerables, los sistemas de discontinuidad dominantes que forman cuñas podrían identificarse mediante el modelado y el análisis de estereogramas del punto anterior. Luego, estos sistemas se estudiaron en tres dimensiones utilizando un software unwedge.

Al realizar el análisis en el software, se puede ver que existen la presencia de 10 cuñas en las paredes, piso y techo, siendo la cuña numero 8 ubicada en el techo de la excavación, la única que genera inconvenientes provocando caídas de bloques de rocas, lo que significa que tiene un factor de seguridad nulo o por debajo de 1.5, para lo cual se procedió a aplicar una medida de seguridad que aumente el factor de seguridad en la zona de estudio.

Se ve claramente el aumento de  $F_s$ , de 0 a 15, completamente estabilizante, cuando se aplican al modelo pernos tipo Swellex Mn24 (carga de rotura 200 kN) o similar y tipo corrugado, de 4 m de largo en un formato de 1,5 (T) x 1,5 m (L) malla, que debe colocarse inmediatamente después de la capa selladora. Según los resultados, sería la mejor opción de estabilización.

Los datos utilizados para los cálculos son los siguientes:

**Figura 48:** Propiedades de bulones utilizados para estabilizar el sector JC-10, cruceo Gaby



Bolt Property 1

Name: Bolt Property 1 Color: ■

Type: Mechanically Anchored

Tensile Capacity: 0.1 MN

Plate Capacity: 0.1 MN

Anchor Capacity: 0.1 MN

Use Shear Strength  
Shear Strength: 0.01 MN

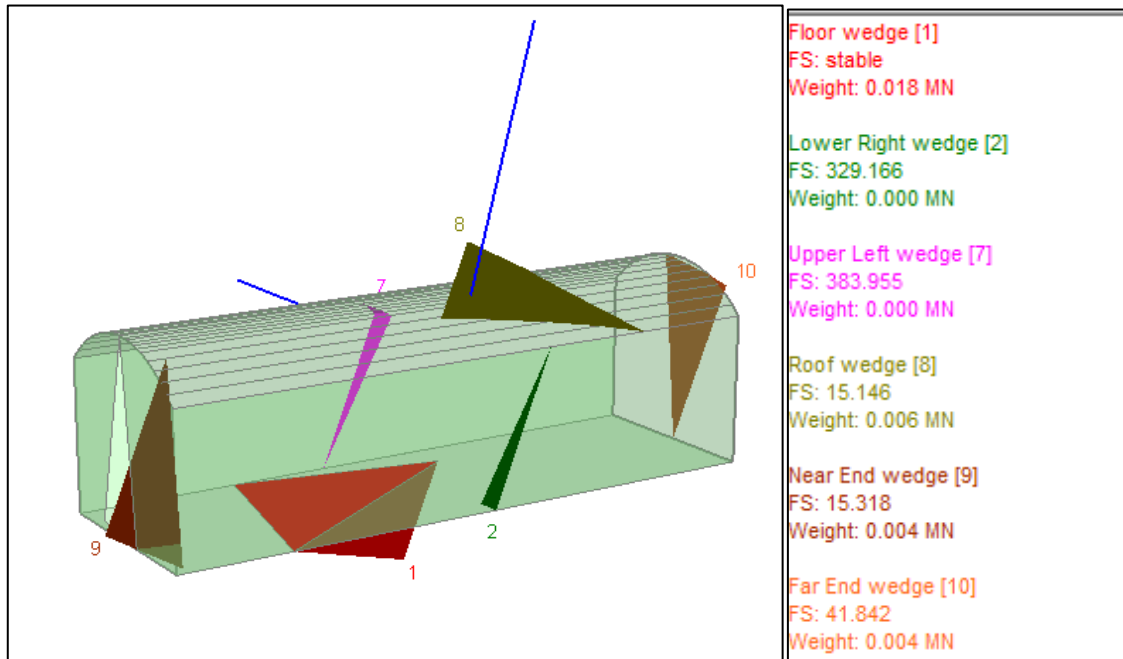
Use Bolt Orientation Efficiency  
Method: Cosine Tension/Shear

*Fuente: El Autor, 2024*

Otro método de estabilización es el hormigón proyectado, que tiene una densidad de 0.024 MN/m<sup>3</sup> y un espesor de 5 cm, pero en esta comparación de costos y métodos no se tiene en cuenta.

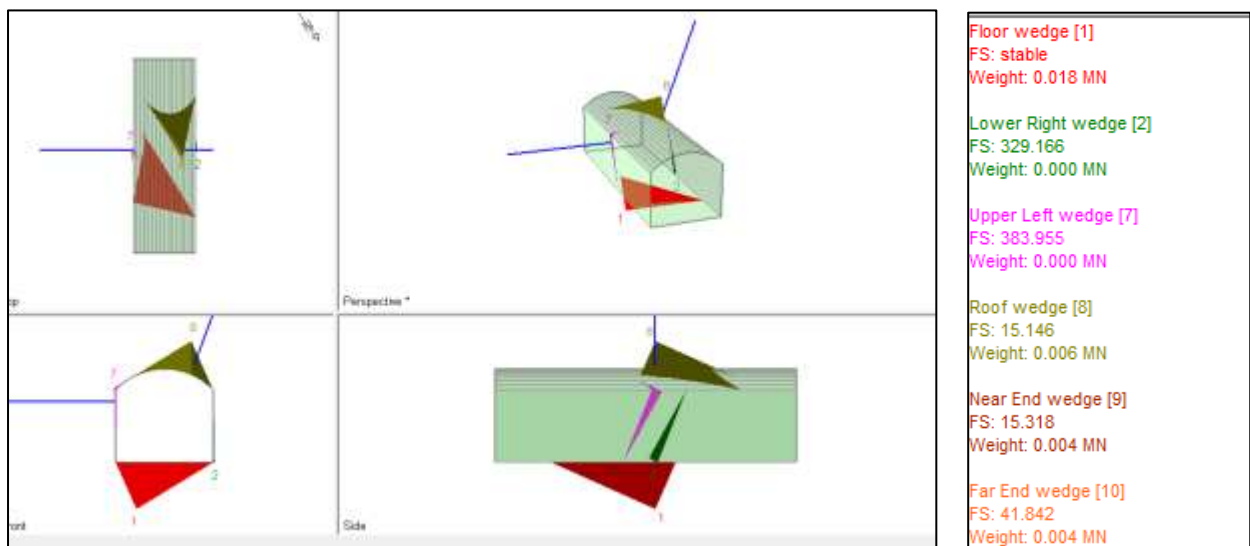
En la figura 49, se indica de forma tridimensional la colocación de los bulones (líneas azules) de manera estratégica en la excavación con la finalidad de estabilizar la presencia de cuñas.

**Figura 49:** Bulones en la excavación para estabilizar el sector JC-10, cruceo Gaby



*Fuente: El Autor, 2024*

**Figura 50:** Vista general de Bulones en la excavación para estabilizar el sector JC-10, cruceo Gaby



*Fuente: El Autor, 2024*



Claramente se observa que la aplicación de este tipo de bulonaje, hace que se aumenta drásticamente su F.S; Por lo tanto, no hay riesgo de que las cuñas se suelten con el soporte proyectado porque no existe un factor de seguridad inferior a 1.3.; entonces se llega a la conclusión de que nuestra excavación ha sido estabilizada y el método se o puede considerar valido o efectivo.

A continuación, se muestra un cuadro comparativo entre las cuñas con y sin sostenimiento.

**Tabla 60: Factor de seguridad de las cuñas con y sin sostenimiento**

Zona Afectada	Cuña	Peso NM	F.S sin sostenimiento	F.S con sostenimiento
Piso	1	0.018	> 10	No aplica
Pared Der	2	0.000	> 10	No aplica
-	No formada	-	Estable	No aplica
-	No formada	-	Estable	No aplica
-	No formada	-	Estable	No aplica
-	No formada	-	Estable	No aplica
Pared Izq	7	0.266	> 10	No aplica
Techo	8	7.2	< 1	>15.14
Techo y piso	9	0.55	> 10	No aplica
Piso	10	74	> 10	No aplica

*Fuente: El Autor, 2024*

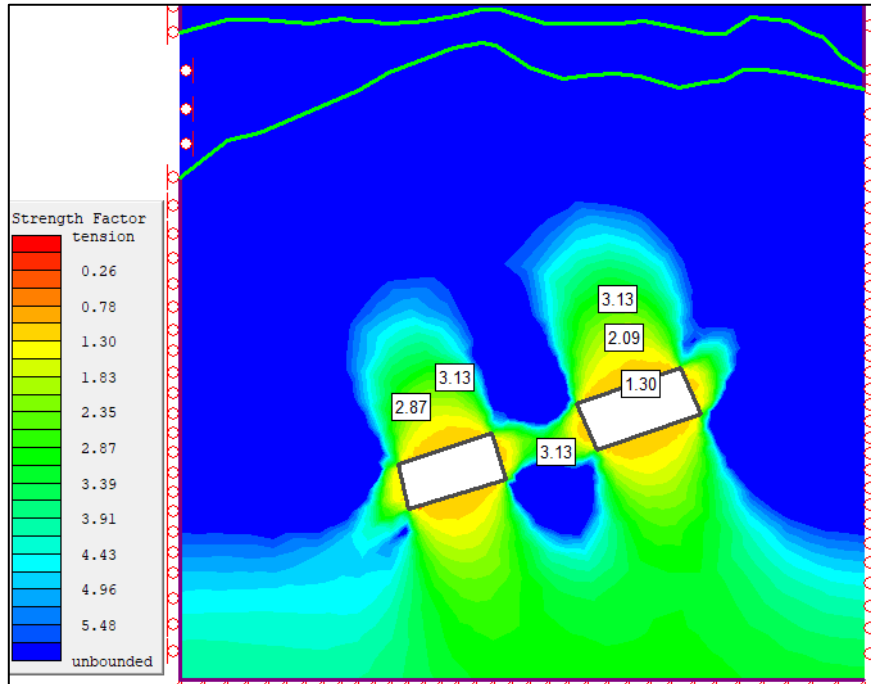
En la tabla anterior se reflejan los valores obtenidos que son prácticamente seguros con los métodos de sostenimiento, con un aumento en el factor de seguridad de la cuña número 8, que va de 0 a 15.14, lo cual significa un cambio exponencial en cuanto a la seguridad y estabilidad del macizo rocoso.

De esta forma se procede a modelar y ver cómo actúan los esfuerzos y deformaciones una vez que se hayan aplicado ciertas medidas de estabilización; en este caso los bulones anteriormente mencionados.

- Para el caso de las estaciones JC-02-03-04, en donde aparecen ciertas excavaciones de tipo cámaras y pilares, simplemente se ha aumentado el tamaño del pilar entre una excavación de la otra es decir de 3 a 5 metros de separación, de esta manera disminuye

la tensión en el pilar y aumenta el factor de seguridad a rangos mayores de 1.3, lo cual significa que no habrá rotura, tal como se presenta en la siguiente figura.

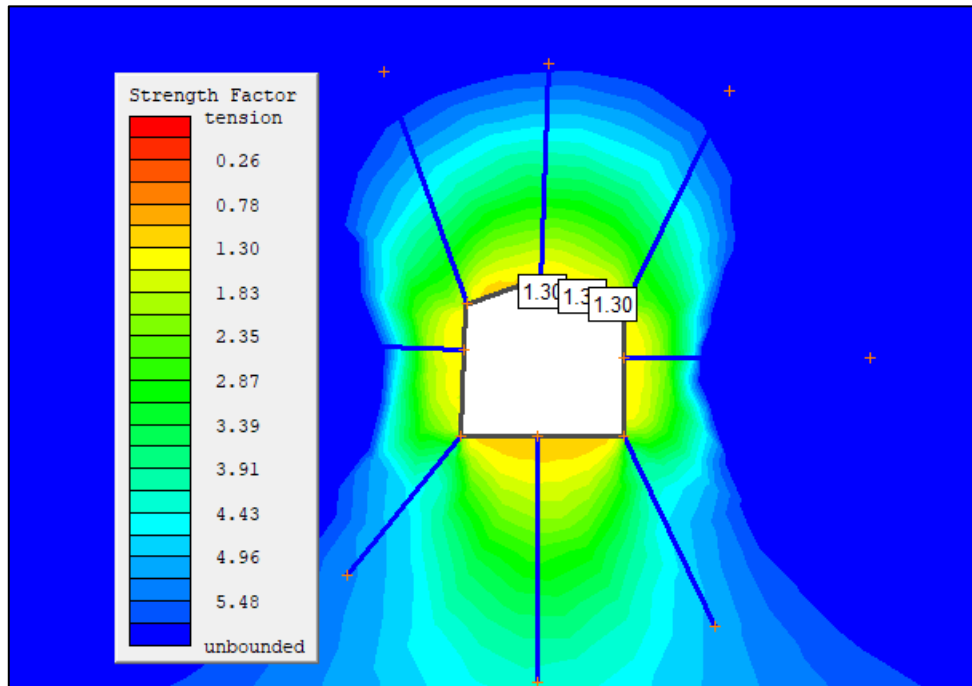
**Figura 51:** Modelamiento de esfuerzos con pilares reforzados



*Fuente: El Autor, 2024*

- Para el modelamiento de la estación JC-10 en donde se va a realizar la chimenea se ha procedido a modelar mediante la aplicación de bulones en tal caso de pernos swellex, los mismos que son idóneos para estabilizar rocas. De esta manera como vemos que aumenta el factor de seguridad a más de 1.3 en toda la excavación, se puede decir que el sostenimiento propuesto cumple perfectamente con los requerimientos que se necesitan para la excavación.

**Figura 52:** Modelamiento de esfuerzos de la excavación con bulones.



*Fuente: El Autor, 2024*

### 6.5.2.8. Evaluación geomecánica para la implementación de la chimenea

A partir de mapeos geomecánicos y datos complementarios de laboratorio generados sobre las muestras de rocas recolectadas durante el tramo, se caracterizó la sección longitudinal del macizo rocoso del crucero Gaby, donde se construirá la chimenea. Es así que, se obtuvo los siguientes resultados.

**Tabla 61:** Clasificación geomecánica de zona de construcción de chimenea.

Clasificación geomecánica de zona de construcción de chimenea.							
ESTACIÓN	TRAMO	ROCA	RQD	RMR	Q	CLASE	CALIDAD Rx
JC-09	0 + 84 m	Andesita Porfírica	62.20%	53	4.13	III	Regular
JC-10	0 + 100 m	Andesita Porfírica	66%	55	5.5	III	Regular

*Fuente: El Autor, 2024*

### 6.6. Propuesta de diseño de chimenea

Dentro de la minería subterránea es importante una buena ventilación ya que esta es responsable de que exista un buen rendimiento de los trabajadores, ya que existen factores que influyen en la ventilación y la vuelven deficiente. Tales como los gases que emanan de los explosivos.

Con los resultados obtenidos en campo del macizo rocoso, se determina que en esta galería se encuentra presente el tipo de roca III que es una roca regular con una densidad de 2.6, lo que conlleva a tener cuidado al momento de perforar y volar la roca puesto que esta roca puede colapsar y debe estar correctamente sostenida mediante el método de bulonaje. Con ayuda del software AutoCAD Civil 3D se diseñó la chimenea de ventilación.

Se diseñó una chimenea de tipo convencional la misma que podrá ventilar correctamente las labores mineras de manera natural. La chimenea es de tipo convencional y su uso es solo para la ventilación de la galería y conexión entre galerías.

**Tabla 62:** Dimensiones para la construcción de chimenea.

CHIMENEA	LONGITUD	UNIDAD
Alto	1.5	Metro
Ancho	1.2	Metro
Longitud	35.13	Metro
Angulo de inclinación	60	Grados

*Fuente:* El Autor, 2024

Tomando en cuenta que la mina de interés trabaja con el método de explotación de minería artesanal, la chimenea tendrá una altura de 1.5 m, además se optó por darle un ancho de 1.2 m. Debido a que la función de la chimenea es solo para ventilar las labores mineras y conexión entre galerías no se admite el paso el personal debido a las dimensiones propuestas no es viable. Tendrá una longitud vertical de 35.13 metros puesto que llegaría a la superficie, la misma que tiene un ángulo de inclinación de 60° esto debido a varios factores, pero principalmente a la geología que presenta la estación JC – 10 siendo la roca andesítica con alteraciones propilíticas las que predominan en esta estación. Otra razón importante para trabajar con este ángulo de inclinación es por la evacuación de aire viciado la chimenea debe contar con cierta inclinación para que la ventilación sea optima y rápida.

Al tener un tipo de roca regular con características intermedia, las dimensiones de la chimenea se estiman para que los taludes o perfiles sean tan resistentes como puedan y cumplan

sus funciones correctamente. Esto, se lo hizo con el fin de que el sostenimiento de la chimenea se económico y eficiente a la hora de evacuar los gases productos de la voladura de roca.

### 6.6.1. Análisis de Costos.

Teniendo en cuenta las dimensiones de la chimenea y las características del macizo rocoso se puede estimar un costo para la construcción de la chimenea de ventilación, cuyos valores se verán reflejados en la **Tabla 63**.

**Tabla 63:** Estimación de Costos para la construcción de la chimenea de ventilación

DESCRIPCION	COSTO POR AVANCE	COSTO TOTAL
Maquina perforadora	70	630
Explosivos	60	1740
Madera	4	116
Mano de Obra	120	3480
Total	<b>254</b>	<b>5966</b>

*Fuente: El Autor, 2024*

Para la estimación de costos en la construcción de la chimenea de ventilación del crucero principal Gaby se tomaron en cuenta algunos aspectos los cuales se detallan a continuación:

Teniendo en cuenta que la concesión minera cuenta con maquina de barrenar se estimó el costo únicamente que se invertiría en barreno, corona y diesel; los costos fueron divididos por metro de avance y costo total dando así un valor de 70 USD por metro de avance y 630 USD costo total.

Los explosivos que se usaran para la voladura tienen un costo por metro de avance de 60 USD, mientras que por la totalidad de la construcción de la chimenea de ventilación se estima un valor de 1740 USD.

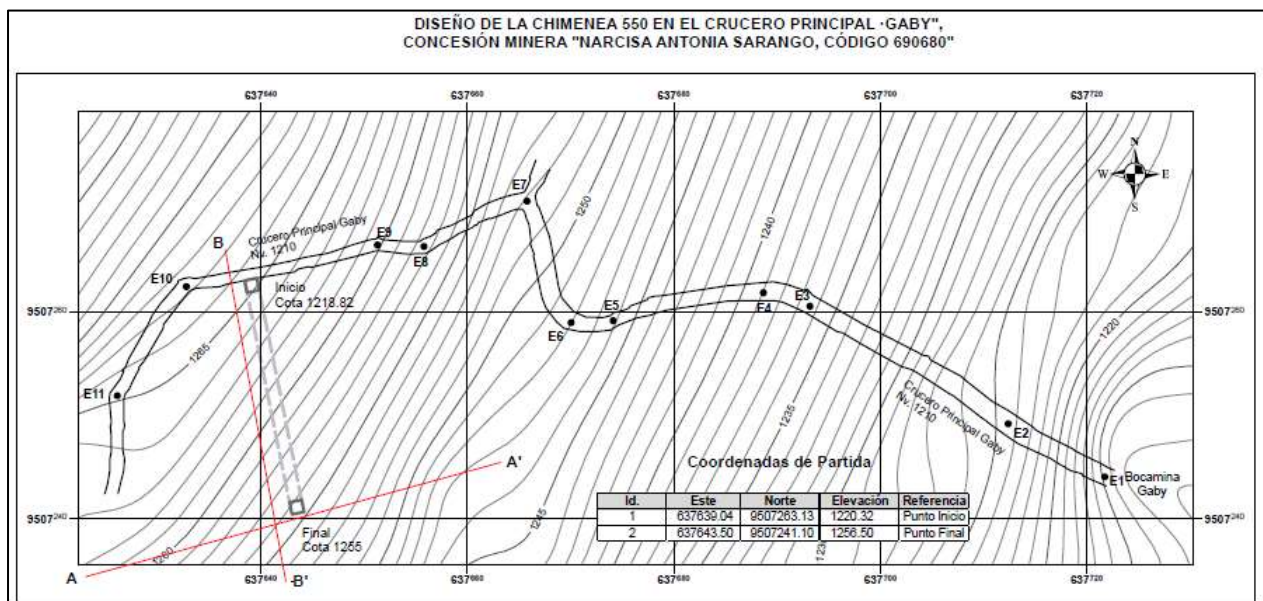
Debido a las condiciones del macizo rocoso y a la longitud que tiene la chimenea desde la galería hasta la superficie que es de 35.13 m, esta dentro del grupo de chimenea de tipo convencional, el avance de la construcción se lo hace por medio de plataformas para lo cual se usaran plataformas de madera debido a valor económico siendo mas rentable; por metro de avance se invertirá 4 USD y 116 USD como costo total.

Para la construcción de la chimenea de ventilación se necesitó la intervención de mano de obra, tal como: un maestro barrenador, auxiliar de barrenador, carretilleros, obrero; cuyo personal tiene un costo por metro de avance de 120 USD y un valor de 3480 USD como costo total. Siendo este factor el valor económico mas elevado para la construcción de la chimenea de ventilación.

Siendo así que 254 USD seria la estimación de costo por metro de avance y 5966 USD el costo total de la implantación de la chimenea de ventilación del cruceo principal Gaby.

Una vez que se ha determinado la zona óptima para la implantación de la chimenea a través de la caracterización del macizo rocoso, se ha diseñado una chimenea que se ajuste a las necesidades técnicas como económicas para garantizar la seguridad del personal y la rentabilidad de la explotación del mineral. (Ver anexo 11).

**Figura 38:** Diseño de chimenea



*Fuente: El Autor, 2024*

## 7. Discusión

El presente trabajo de titulación tiene como base fundamental el desarrollo del estudio geológico Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680, para lo cual se han aplicado clasificaciones establecidas como Barton , Bienawski y GSI con la finalidad de caracterizar el macizo rocoso, resultado que sirve como base para la elaboración del mapa geotécnico y en si para la viabilidad de la construcción de la chimenea de ventilación .

En el área de estudio se vienen desarrollando actividades mineras de pequeña minería alrededor de 11 años, sin llevar un estudio geológico, topográfico, geológico y geotécnico detallado, es por ello que los resultados obtenidos en este proyecto se pueden discutir principalmente para definir el lugar idóneo para implementar la chimenea de ventilación añadiendo medidas de estabilización del macizo rocoso de ser el caso.

El estudio actual se realiza por etapas, comenzando con la topografía subterránea 2d-3d, luego realizando estudios geológicos y geomecánicos estructurales de la excavación de la mina, y finalmente el análisis y extracción de toda la información mediante modelos y procedimientos que permitan la simulación de las condiciones existentes. y también se puede lograr obtener propiedades geomecánicas y valores cuantitativos de rocas y suelos del área excavada.

El área de estudio del crucero principal Gaby , cuenta con una topografía irregular con pendientes relativamente suaves a empinadas, de tal manera que su cota más baja es de 1168 metros llegando hasta una cota superior de 1342 m.s.n.m. de tal forma que la inclinación de relieve según Demek 1972, refleja pendientes en rangos que van desde los 15° a 35°, catalogadas como muy inclinadas, ocupando 31746.77 m<sup>2</sup> de área, lo que significa que es la que prevalece en la zona, mientras que en menor porcentaje se ubican las pendientes catalogadas como ligeramente inclinadas, las mismas que abarcan 700.88 m<sup>2</sup>.

No se han registrado estudios previos en la zona exacta de la investigación, sin embargo, se puede establecer que geológicamente, dicho estudio se encuentra emplazado dentro de la unidad Celica, la misma que de acuerdo al Instituto Geográfico Militar (2014), está conformada por andesitas piro clásticas, pertenecientes al cretácico inferior, este tipo de material fue identificado, verificado y registrado en campo. También se ha identificado



andesitas basálticas de color verde y gris verdoso, mientras que su textura va variando de afanítica a porfirítica.

De igual forma en interior mina se ha corroborado la presencia de andesitas basálticas, en gran parte mantienen la textura porfirítica, pero en ciertos tramos tiende a ser afanítica; claramente en sus paredes y techo se encuentran alteraciones del tipo cloritización media, cuarzo – sericitica, propilítica y lixiviaciones de calcita y hierro (capa rosa).

Mineralógicamente se lo define como un depósito hidrotermal de baja sulfuración, posee una textura crustiforme – coloforme, a nivel mineralógico contiene: pirita (py) de diferentes tonalidades, calcopirita (cpy), magnetita (mt), esfalerita, oro (Au), cuarzo (Qz) lechoso y cristalino, galena, calcita, clorita, epidota y bornita; tal como lo menciona (Vásquez, 2022) en el informe de prospección geoquímica y geológica de Macará.

De acuerdo a la clasificación geomecánica y geotécnica, tanto de Barton como de Bieniawski corresponden a la clase III, de tipo Regular, esto hace que la estación JC – 10 sea el lugar de emplazamiento de la chimenea sea viable, sin embargo, al no tener un tipo de macizo rocoso bueno, se toma en cuenta varias opciones de estabilidad, como el sistema de bulonaje (pernos swellex) y hormigón.

<b>Zona Afectada</b>	<b>Cuña</b>	<b>Peso NM</b>	<b>F.S sin sostenimiento</b>	<b>F.S con sostenimiento</b>
Piso	1	0.018	> 10	No aplica
Pared Der	2	0.000	> 10	No aplica
-	No formada	-	Estable	No aplica
-	No formada	-	Estable	No aplica
-	No formada	-	Estable	No aplica
-	No formada	-	Estable	No aplica
Pared Izq	7	0.266	> 10	No aplica
Techo	8	7.2	< 1	>15.14
Techo y piso	9	0.55	> 10	No aplica
Piso	10	74	> 10	No aplica

El Factor de seguridad aumenta en un 15.14 % si añadimos un método de sostenibilidad de bulonado sistemático o pernos swellex de 1 a 1.5 m de longitud y astiales con separación de 03 a 05 m, mientras que el método de hormigón proyecto ofrece Factores de Seguridad más

elevados y seguros tienen un costo muy elevado. Siendo el método de bulonaje el más idóneo y económicamente rentable para la estabilización de la cuña 8

Para el diseño y construcción de la chimenea de ventilación, se ha tomado en cuenta las recomendaciones y medidas estándares; siendo su longitud máxima de 35,13 metros, cumpliendo con la normativa de chimenea convencional en base al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (RESOLUCIÓN Nro. ARCERNNR-013/2020). En donde manifiesta que: “Las chimeneas que se construyan con el sistema convencional usando plataformas, deberán tener como máximo 50 metros de altura”.

## 8. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación tenemos que.

- Del levantamiento topográfico se puede observar que la mayoría de las excavaciones de la mina están diseñadas de acuerdo con la dirección del yacimiento (veta mineralizada). Al realizar el levantamiento topográfico subterráneo, se ha obtenido que el crucero Gaby tiene un avance total de 128 metros, en donde la bocamina se ubica en la cota 1211m.s.n.m y termina en la 1219 s.n.m, reflejando un desnivel de 49 metros. Mientras las secciones de la galería varían por el tipo de voladura, estas están en un promedio de 1.1 m de ancho x 1.7 m de alto y en algunos sitios varia de 1.5 m de ancho x 2.0 m de alto.
- Dependiendo de la geometría del yacimiento (veta mineralizada), se pudo observar que las variantes del sistema de desarrollo y explotación se adaptan al minado en forma de rebajes y en algunos casos dejando varios puntos sin tratar que les permite actuar como soporte del yacimiento y contención de paredes después de la extracción del mineral.
- Evidentemente tanto los trabajos topográficos como los de levantamiento geotécnico fueron referenciados mediante la colocación de marcas y/o puntos de referencia con su respectivo código, con el objetivo de facilitar el manejo de la información durante el procesamiento e interpretación de la misma y de poder dejar puntos de referencia en terreno para futuras comprobaciones y medidas.
- La investigación geológico-estructural realizada en campo reveló la presencia de una secuencia volcánica de composición andesítica y varias estructuras pequeñas. Las andesitas están conformadas por lavas andesíticas basálticas con tonalidades que van desde el verde a gris verdoso, estas poseen una textura cambiante de afanítica a porfirítica, mientras que su estructura es masiva y bajo nivel cohesivo. La roca muestra signos de nódulos o concreciones en donde la erosión y la intemperie han hecho que la andesita se vuelva quebradiza al tacto a pesar de ser cohesiva. Además, es de edad Cretácica y está asociado a la Unidad Celica, una secuencia volcánica marina cuyos remanentes se pueden observar en el sitio.
- Es así que dentro de la mina se pudo evidenciar la andesita basáltica, las cuales en su mayoría mantienen la textura porfirítica, pero sin dejar alado que, en algunos tramos del crucero, aparece la textura afanítica, también se pudo ver y determinar la presencia de



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

- alteraciones del tipo de cloritización media, presencia de cuarzo - sericítica, propilítica, y un tipo de lixiviación de calcita y hierro.
- Mineralógicamente el crucero Gaby, está atravesada por una considerable cantidad de estructuras menores, pero que se destaca sobre ellas una la cual corresponde a una veta-falla, que en el presente trabajo se la denominó Anita, esta contiene mineralización de cuarzo con sulfuros, e impregnaciones de oro en la roca encajante. Este tipo de yacimiento se lo ha catalogado como hidrotermal de baja sulfuración, el mismo que contiene minerales tales como pirita (py), calcopirita(cpy), magnetita (mt), oro (Au), Cuarzo (Qz), también presencia notoria de calcita, clorita, epidota y bornita.
  - A través del levantamiento geomecánico se obtuvo las principales características del macizo rocoso, esta información fue realizada en base a la identificación visual y ejecución de medidas estructurales como lo son las vetas, fallas, diaclasas entre otras, con el uso de las fichas o tablas de caracterización de importantes autores como Bieniawski y Barton.
  - Dentro de este orden también se realizaron mediciones puntuales para evaluar la resistencia a la compresión de las rocas utilizando un martillo Schmidt, también se recolectaron muestras de roca por separado en las paredes de roca excavadas para ensayos de compresión simple y ensayos triaxiales. Sucede pues, que en los resultados geomecánicos, según el RMR se determinó que: en las estaciones JC-01; JC-03; JC-04; JC-05; JC-06; JC-07; JC-08; JC-09; JC-10; JC-11, corresponden a un macizo Regular de Clase III, abarcando el 90.91% de la totalidad de la topografía levantada, mientras que la estación JC-02 corresponde a un macizo malo de Clase IV, lo que significa que es un tramo minoritario. Para la clasificación GSI tenemos que la mayor parte de las estaciones está en el tramo de fracturado a moderadamente fracturada, en donde se observa en campo que, la mayor parte de la galería y el crucero están un poco disturbados pero que se encuentran trabados. Mientras que para Barton que es un poco más riguroso en su clasificación tenemos que: las estaciones JC-01; JC-03; JC-04, corresponden a un macizo de calidad buena, siendo las estaciones restantes las que poseen un macizo roco de calidad regular, siendo la estación JC-11 la única catalogada como mala. En resumidas cuentas, las tres clasificaciones no indican una gran variación cualitativa y cuantitativa que pueda ser significado de algún dato erróneo o algún caso particular.
  - Una vez obtenida toda la información geotécnica sobre la calidad del macizo rocoso de la zona de estudio, se realizó nuevas correcciones utilizando las principales ecuaciones



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

tensión-deformación del macizo rocoso para evaluar cuantitativamente las condiciones de estabilidad. Cabe mencionar que la información de carácter estructural referente a fallas, diaclasas y fracturas fue tratada e interpretada con el uso del software Dips de la marca Rocience, la misma que permite ordenar, manejar e interpretar las condiciones estructurales que pueden afectar a la estabilidad general del macizo.

- De acuerdo al análisis cinemático se pudo observar la presencia de 4 estructuras tipo falla inversa, 26 diaclasas y un dato estructural de la veta, datos que han dado como resultado la formación de 3 sets principales. El primer set esta con una dirección preferencial hacia el SW, siendo este el que más polos contiene en referencia a los otros sets, el segundo con una orientación preferencial al E, mientras que el tercero hacia el W, lo cual, al intersectarse entre sí, forman un fracturamiento en forma de cuña.
- A nivel general la condición estructural dentro de la zona de estudio corresponde a rocas de regular a buena calidad geo mecánica, (andesitas y tobas volcánicas) correlacionando los datos geo mecánicos, los ensayos a la compresión simple y la geometría de las excavaciones.
- No dejando de lado, uno de los componentes más importantes para entender el desplazamiento, fracturamiento o ruptura de las paredes o techos de las labores subterráneas, es el factor de seguridad que a través del software Phase 2 se ha logrado ver en la estación geotécnica JC-10, que:
- El factor de seguridad está por arriba del límite con valores superiores a 1.3, que representa también la estabilidad, pero que, sin embargo, debido a la mala voladura, aumentan las tensiones en dirección del techo y baja el FS a valores por debajo de 1.3 por lo que se podría considerar aplicarle algún sostenimiento posteriormente. Debe señalarse que aquí (JC-10) se pretende realizar la chimenea, y que no habría inconvenientes en hacerlo.

Aunque las condiciones geo mecánicas son favorables a la estabilidad, al seguir incrementando los espacios abiertos en esta zona se puede producir desprendimientos y zonas inestables.

- Es conveniente acotar que a través de los resultados geológicos- geotécnicos el sitio es el apropiado para desarrollar el diseño de la chimenea de ventilación tiene una longitud de 35,13 metros hasta llegar a la superficie, con secciones de 1.5 de alto por 1.2 de ancho, y un ángulo de 60 grados (anexo 11), y esta, al no ser un paso de personal, hace

que sea viable su desarrollo para continuar la producción y dar seguridad los trabajadores, lo que es un gran aporte a la minería artesanal que requiere ser intervenida de manera técnica.

## 9. Recomendaciones

- El desarrollo de una adecuada topografía superficial y subterránea, es el punto de partida para un buen desarrollo de los proyectos técnicos. Por lo que se recomienda realizarlo de la forma más profesional y técnica para que el error sea el mínimo.
- Llevar a cabo un muestreo idóneo y a detalle que nos permita identificar características del macizo rocoso de la forma más óptima.
- Dejar puntos de control topográficos en el área de estudio para poder continuar futuras investigaciones, teniendo una actualización permanente de manera técnica.
- Si bien es cierto, el estudio se centra en la geotecnia y geomecánica; es muy necesario realizar un control mineralógico petrográfico más estricto de los minerales y realizar pruebas continuas de elementos como, oro, plata cobre, para obtener información más detallada sobre el yacimiento.
- Tener cuidado en zonas con agua, ya que afecta directamente el macizo rocoso, y sin duda continuar tomando medidas de soporte y fortalecimiento de techos y paredes en los principales corredores de tránsito.
- Cualquier diseño que se pueda proponer deberá estar relacionado directamente a evitar que se continúe excavando en las zonas de tránsito del personal sobre todo en zonas que están al límite de la estabilidad.



## 10. Bibliografía

### LIBROS:

- Bieniawski, ZT. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley. New York
- Botia C., Vargas W., Rincon M. (2011). *Altimetria*. Bogota, Colombia: UD.
- Flechas C., Vargas W., Rincon M. (2011). *Altimetria*. Bogota, Colombia: UD.
- Cantabria, U. d. (2010). *Introducción a la Geotecnia*. Cantabria.
- Corredor Daza, J. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE ELEVACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE TOPOGRAFIA CONVENCIONAL*. Bogotá.
- Duque Escobar, G. (2017). *Manual de Geología para Ingenieros*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Gámez Morales, W. (2010). *TEXTO BASICO AUTOFORMATIVO DE TOPOGRAFIA GENERAL*. Managua: UNA.
- Gonzáles de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación:ISBN: 84-205-3104-9.
- Huaylla, K. (2012). *Construccion de Chimeneas por método convencional y plataforma alimak*. Ayacucho.
- Jaillard, E., Ordoñez, M., Berrones G., Bengtson P., Bonhomme M., Jimenez N., Zambrano I. (1996). Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of Southwestern Ecuador during Late Cretaceous and early Tertiary times. *Journal of South American Ciencias de la Tierra*, 9: pp. 131-140
- Jordá, L. Romero, P.L. (2015): “Evaluación de la estabilidad de las labores y pilar corona en las minas abandonadas de S’Argentera (Ibiza, España) mediante métodos empíricos”. Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2017). Hoja Geológica Macará. 1.
- LOM, M. L. (2015). *Guía Sobre Control Geotécnico en Minería Subterránea*. Madrid: Ministerio de Industrias, Energía y Turismo.
- MacCormac, J. (2004). *Topografía*. Mexico: Limusa Wiley.
- Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de rocas: Fundamentos e Ingeniería de taludes*. Madrid.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja


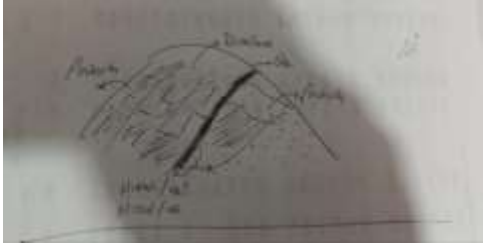
- Rincón Villalba, M. A., Vargas Vargas, W. E., & Gonzáles Vergara, C. J. (2017). *Topografía Conceptos y Aplicaciones*. Bogotá: Ecoe Ediciones Ltda.
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2010). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Telada, R. R. (2017). “EMPLEO DEL SISTEMA DE PLATAFORMA ESCALERA METÁLICA PARA OPTIMIZAR LA CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS CONVENCIONALES, COMPAÑÍA BREXIA GOLD PLATA S.A.C – 2017”. 2019.



#### **PAGINAS WEB:**

- ARCERNNR. (11 de 09 de 2020). ARCERNNR. Obtenido de Ministerio de Energía y Minas del Ecuador: <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/4.-Resoluci%C3%B3n-Nro.-ARCERNNR-013-2020-signed-signed.pdf>.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2015). Guía Para La Presentación de la Información Cartográfica en Términos de Referencia y Estudios Ambientales - Categoría IV Para Sectores De Hidrocarburos, Minero y Otros Sectores. Obtenido:<http://geonetwork.ambiente.gob.ec/documents/10179/185872/Guia+metodologica+cartogr%D0%B0fica+-+Categoria+IV+2015+ver2.pdf/d4304bee-dc7e-47e0-bb98-af277c1ce178;jsessionid=rvtPfOa+J8OgmoYWnxbPEbeC?version=1.0>
- Nagarvil. (septiembre de 2014). [nagarvil.webs.upv.es](https://nagarvil.webs.upv.es/nivelacion-topografica/). Obtenido de: <https://nagarvil.webs.upv.es/nivelacion-topografica/>
- Vásquez, M. A. (21 de 04 de 2022). *GeoLatitud*. Obtenido de Prospección geoquímica y geológica de la zona de Macará. Análisis del potencial exploratorio de la frontera sur del Ecuador:<https://geolatitud.geoenergia.gob.ec/ojs/ojs/index.php/GeoLatitud/article/view/120>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Formato de mapeo geológico – estructural

CARTILLA DE INFORMACION GEOLOGICA				
<b>TRABAJO:</b> PROYECTO DE TESIS				
<b>LOCALIZACION:</b>	<b>X:</b> 637727.36	<b>Y:</b> 9507272.49	<b>Z:</b> 1221.72	
<b>AUTOR:</b> Javier Cabrera Alvarado	<b>COD:</b> AE1	<b>FECHA:</b> 12-06-2023		
<b>OBSERVACIONES:</b>				
<b>FOTOGRAFIA</b>		<b>ESQUEMA</b>		
				
<b>DESCRIPCION GEOLOGICA</b>				
Andesita porfirítica con presencia de diaclasas rellenas de cuarzo (vetillas), la roca muestra evidencias de concreciones, además el intemperismo y la erosión hacen que la andesita a pesar ser cohesiva se vuelva deleznable al tacto, edad atribuida al cretáceo y perteneciente a la Unidad Celica, presenta una secuencia volcánica marina.				
<b>DATOS ESTRUCTURALES</b>				
<b>rumbo</b>	<b>buzamiento</b>	<b>dip</b>	<b>dip-dir</b>	
N10W	46	46	100	46/100
N12W	46	47	100	46/100

CARTILLA DE INFORMACION GEOLOGICA				
<b>TRABAJO:</b> PROYECTO DE TESIS				
<b>LOCALIZACION:</b>	<b>X:</b> 637672.12	<b>Y:</b> 9507259.069	<b>Z:</b> 1212	
<b>AUTOR:</b> Javier Cabrera Alvarado	<b>COD:</b> AE6	<b>FECHA:</b> 09-06-2023		
<b>OBSERVACIONES:</b> Subterráneo				
<b>FOTOGRAFIA</b>		<b>ESQUEMA</b>		
				
<b>DESCRIPCION GEOLOGICA</b>				



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Estructuras identificadas como fallas menores del tipo Inversa, que en superficie no aparecen. Cabe señalar que la roca es atravesada por una falla, la cohesión que tiene soporta claramente este fenómeno, lo que se puede observar es como paralelo a la falla se forman diaclasas en la misma dirección de la estructura producto de la formación de la misma. El tipo de roca andesita meteorizada

**DATOS ESTRUCTURALES**

<i>rumbo</i>	<i>buzamiento</i>	
N74W	60	tiene una orientación que tiende hacia el NO, y su buzamiento hacia el SE con una inclinación de 60°
N77W	60	





## FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO RMR, Q y GSI

**ESTACION**  
**JC-10**

# Fractura	RQD (%)	PARAMETROS	S1	S2	S3	S4
1	100	NUMERO DE FRACTURAS				
2	95	CONTADAS EN (m)				
3	90	ESPACIAMIENTO MEDIO(m)				
4	84	FRACTURAS / METRO				
5	81	N° DE FRACT./m				
6	80	INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA				
7	84	RQD				
8	81					
9	77					
10	74					

Nombre del Proyecto:	Teala Javier Cabrera	Litología:	Andesita con alteraciones propilíticas
Nivel:		Altura litostática (h):	X
Labor:	Cruceiro Gabry	Rc / Sv:	
Ejecutado por:	Javier Cabrera		
Fecha:	23/7/2023		

dirección de cruceo 217°

PARAMETROS	VALOR	RANGO	VALOR
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)		<25 (I) 25-50 (II) 50-100 (III) 100-250 (IV) >250 (>V) >100	7
RQD (%)	66.00	25-100 (I) 15-90 (II) 50-75 (III) 25-50 (IV) <25 (V)	13
Espaciamiento de discontinuidades (cm)		<2m (I) 2-5m (II) 5-10m (III) 10-20m (IV) >20m (V)	10

Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	+1m long. (I) a	1-2 m long. (II)	2-10m (III)	10-20m (IV)	>20 m (V)	4	15	30
F1	54	83	V	Abertura	Carada (I)	<2 mm apart. (II)	0.1-1.0mm (III)	1-3 mm (IV)	>3mm (V)	1	16	53
D2	30	236		Rugosidad	Muy rugosa (I)	Rugosa (II)	Lig. rugosa (III)	Lisa (IV)	Papel de lija (V)	5	17	49
D3	43	223		Relienu	Limpia (I)	Gras + 3mm (II)	Gras + 5mm (III)	Gras + 5 mm (IV)	Gras + 3 mm (V)	4	18	46
				Alteración	Seca (I)	Lig. alterada (II)	Med. alterada (III)	Muy alterada (IV)	Descompuesta (V)	3	19	43

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	DESCRIPCION
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA
UCS	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE
V	VETILLA

CONDICIONES SECAS	RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III	REGULAR
JRC (BARTON-BANDIS)								
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

PARAMETROS	RQD	RANGO	VALOR
RQD %	66	66 %	66
Número de discontinuidades	Jn	3D	8
Número de rugosidad	Jr	Rugosas e Irregulares	3
Número de alteración	Ja	superficies ligeramente alteradas	2
Número de agua subterránea	Jw	Secas o flujos bajos	1
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	SRF	tensión elevada	2

**Q = (RQD/J<sub>n</sub>) x (J<sub>r</sub> / J<sub>a</sub>) x (J<sub>w</sub> / SRF)**      **Q = 5.50**

**Q' = (RQD/J<sub>n</sub>) x (J<sub>r</sub> / J<sub>a</sub>)**      **Q' = 11.00**

**RMR = 9 Ln Q + 44**

**RMR' = 9 Ln Q' + 44**

Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-1.0	1-0.1	0.1-0.01	0.01-0.001	REGULAR
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	

**INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA**      **GSI = RMR' - 5**      **57**

TABLA GEOMECANICA (GSI),	VALORES	SIMBOLO
	<b>GSI</b> <b>RMR</b> <b>Q</b>	<b>GSI</b>
	57    55    5.50	MFIR

**OBSERVACIONES**


PARAMETROS	VALOR	MARTILLO SCHMIDT (INDICE DE REBOTE)			
TRAMO	A	B	C	D	PROMEDIO
0+10	28	28	30	32	29.5
	32	34	32	38	32
	32	34	36	38	32
	32	34	35	36	34.5
	32	34	35	36	34.8

**RESISTENCIA DE LA ROCA**

Poco competente	UCS/Sv ≤ 5
Competencia Intermedia	5 < UCS/Sv ≤ 15
Competencia Alta	UCS/Sv > 15

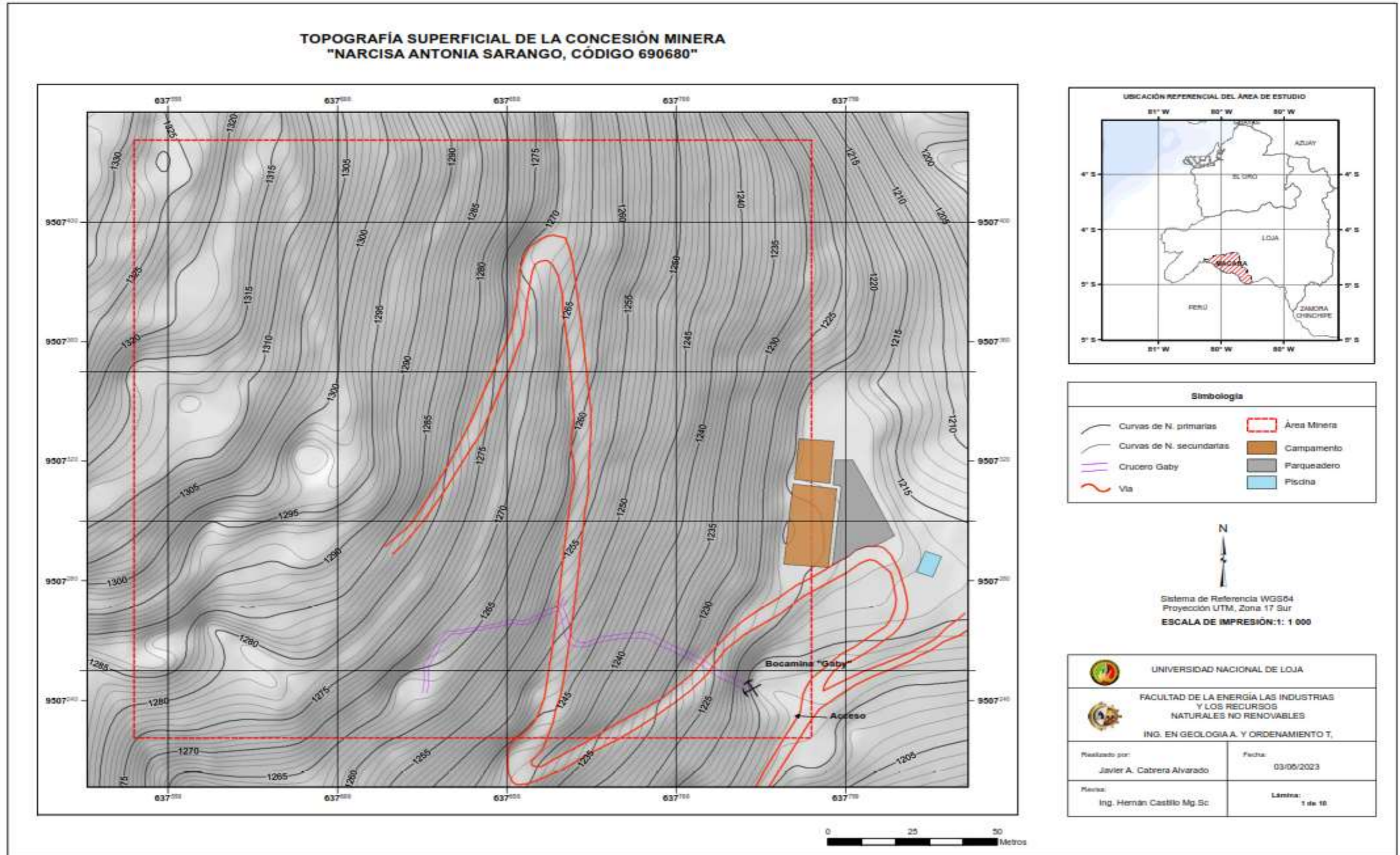
Sv=0.027\* h  
Donde:  
h=Altura litostática  
Sv= Esfuerzo Vertical  
0.027=Constante Universal

**SKETCH**



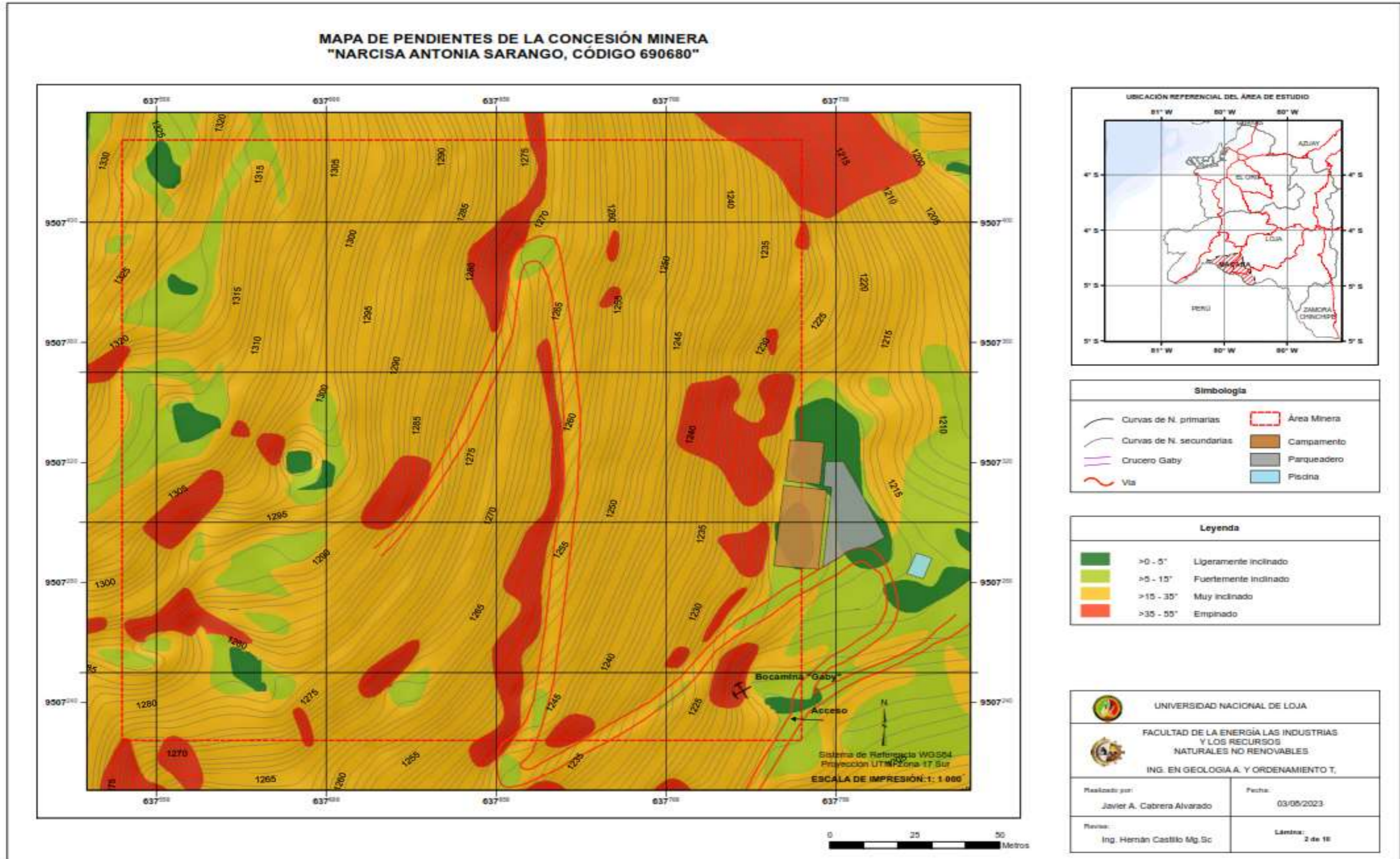


Anexo 3. Mapa de la topografía superficial



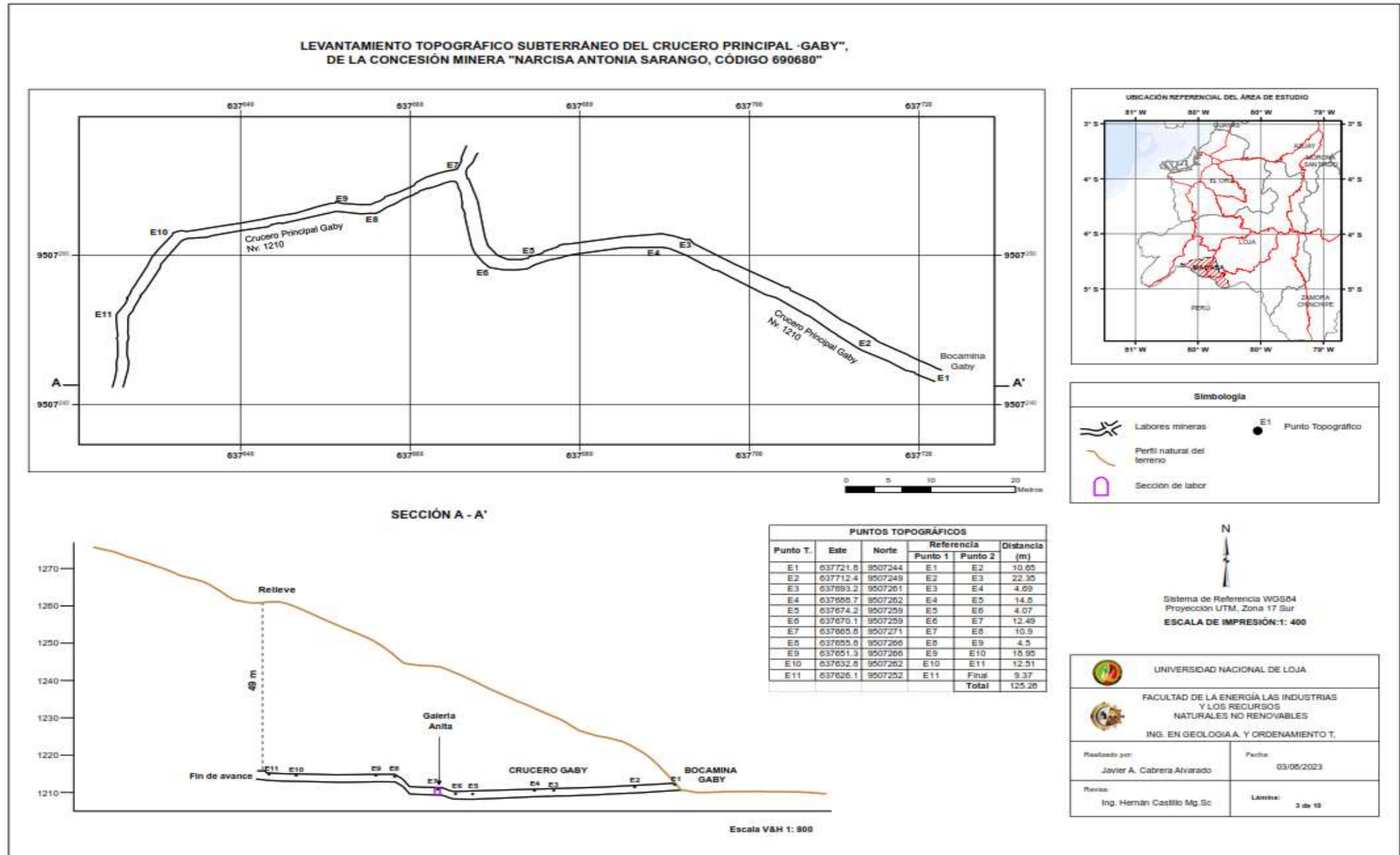


Anexo 4. Mapa de Pendientes



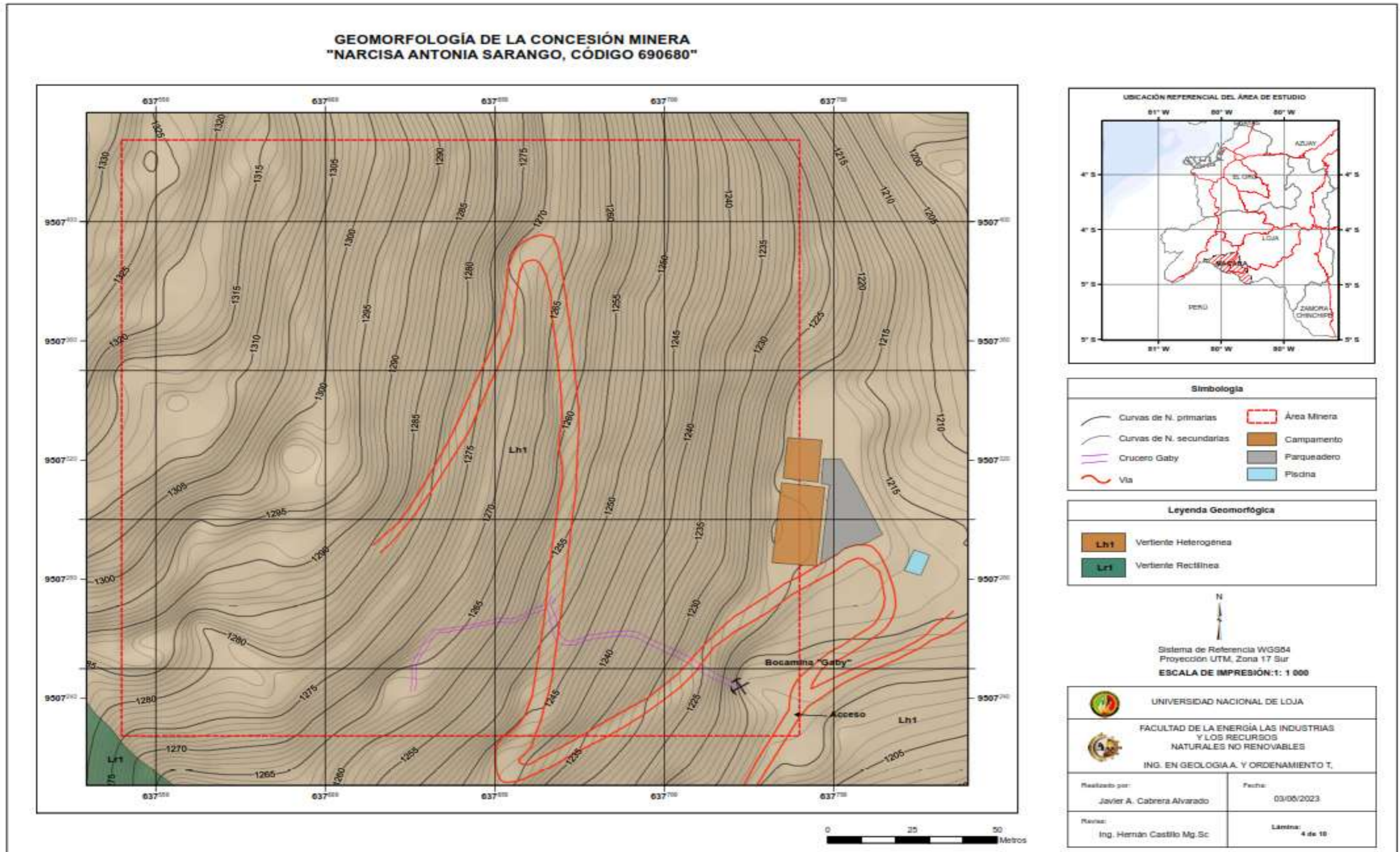


Anexo 5. Mapa de la topografía subterránea



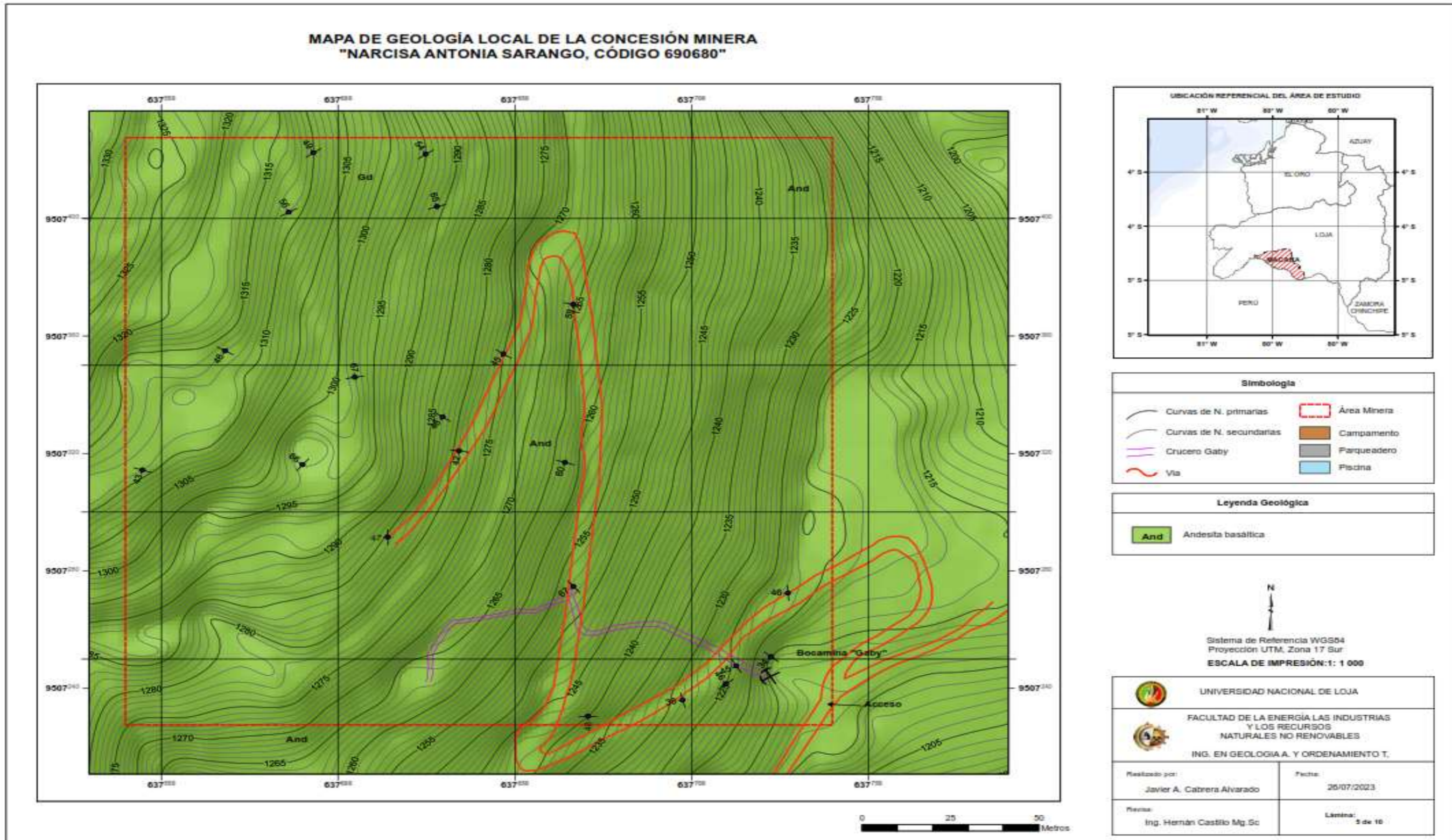


Anexo 6. Mapa geomorfológico



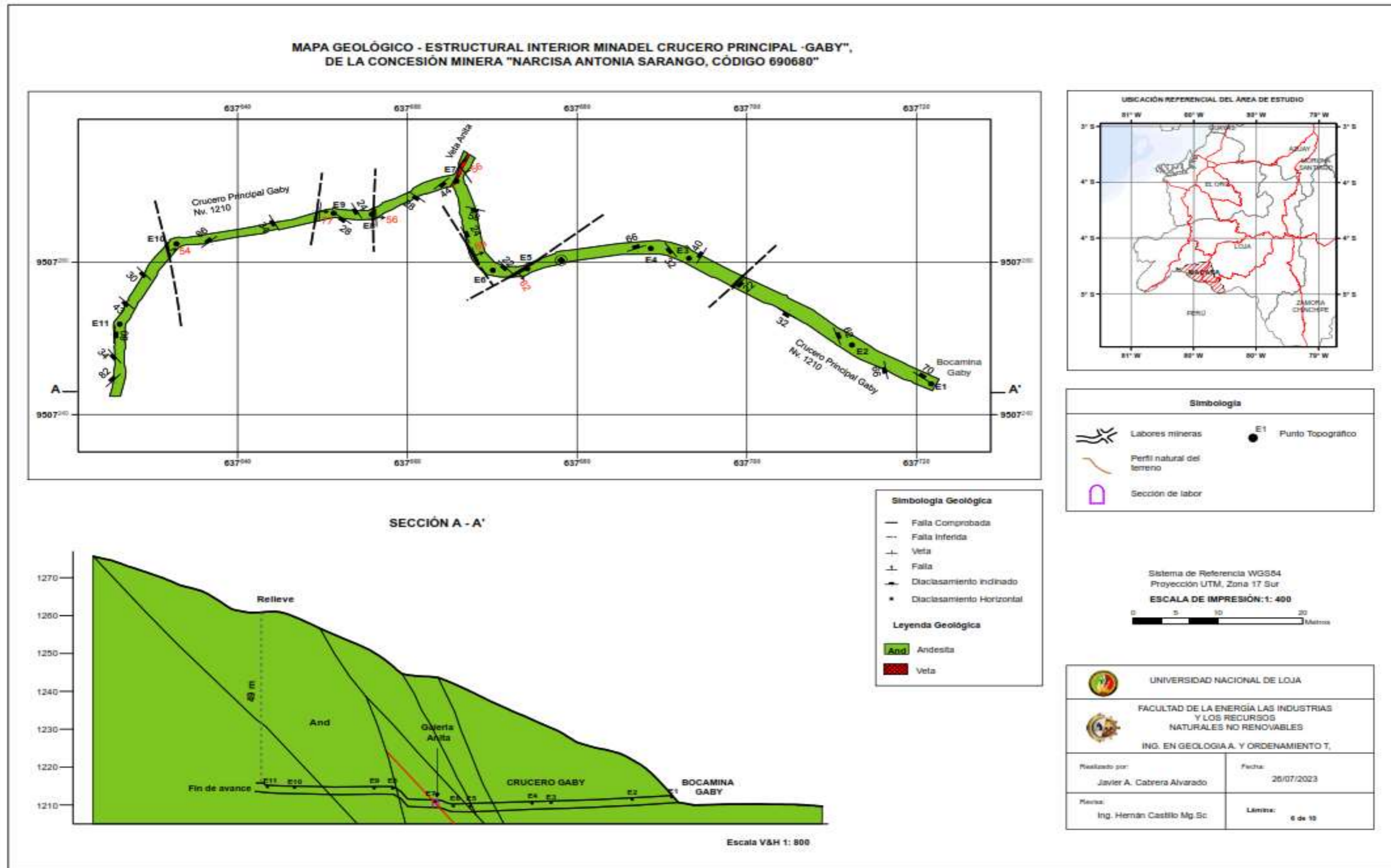


Anexo 7. Mapa de la Geología superficial.

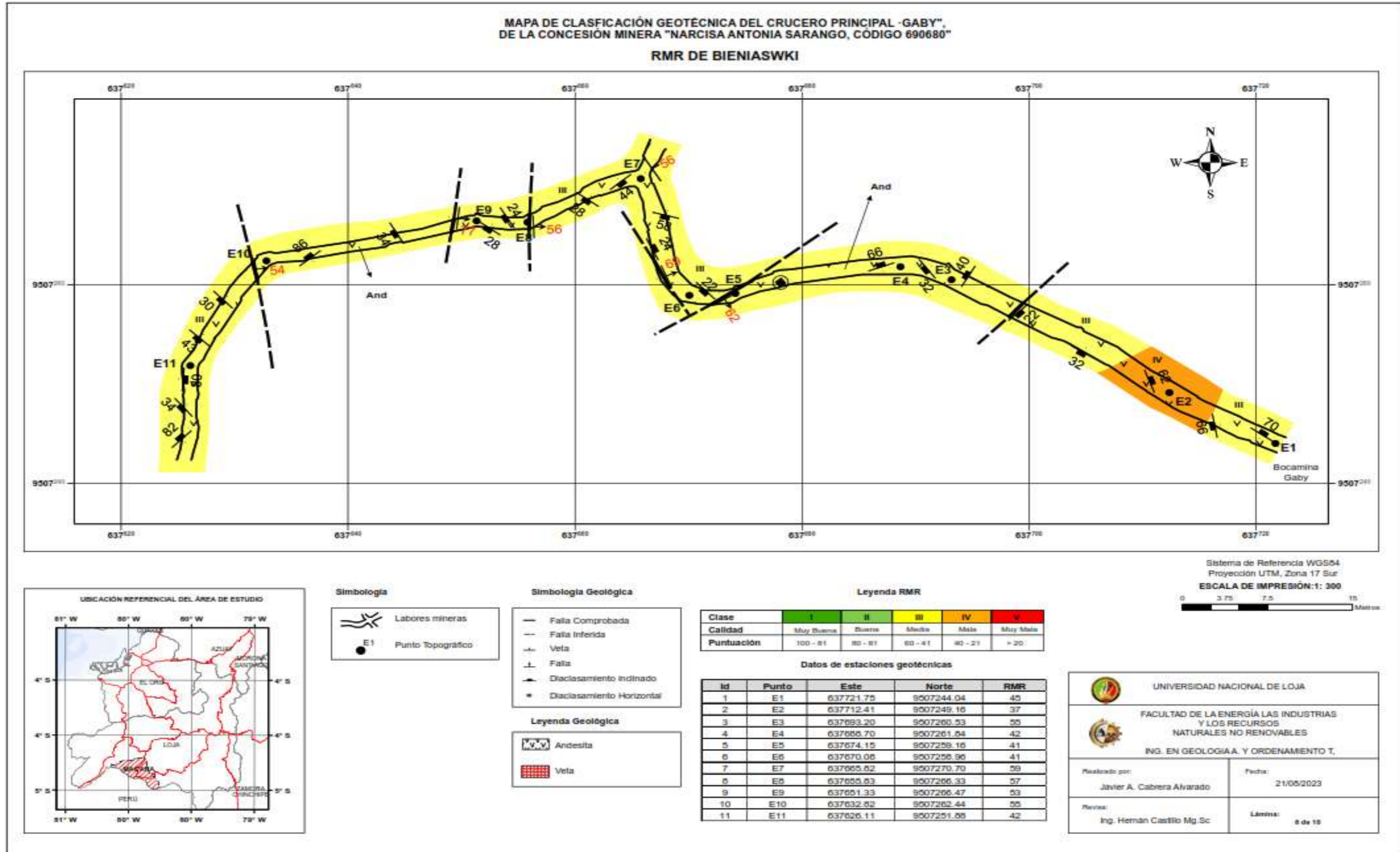




Anexo 8. Mapa de la geología estructural subterráneo

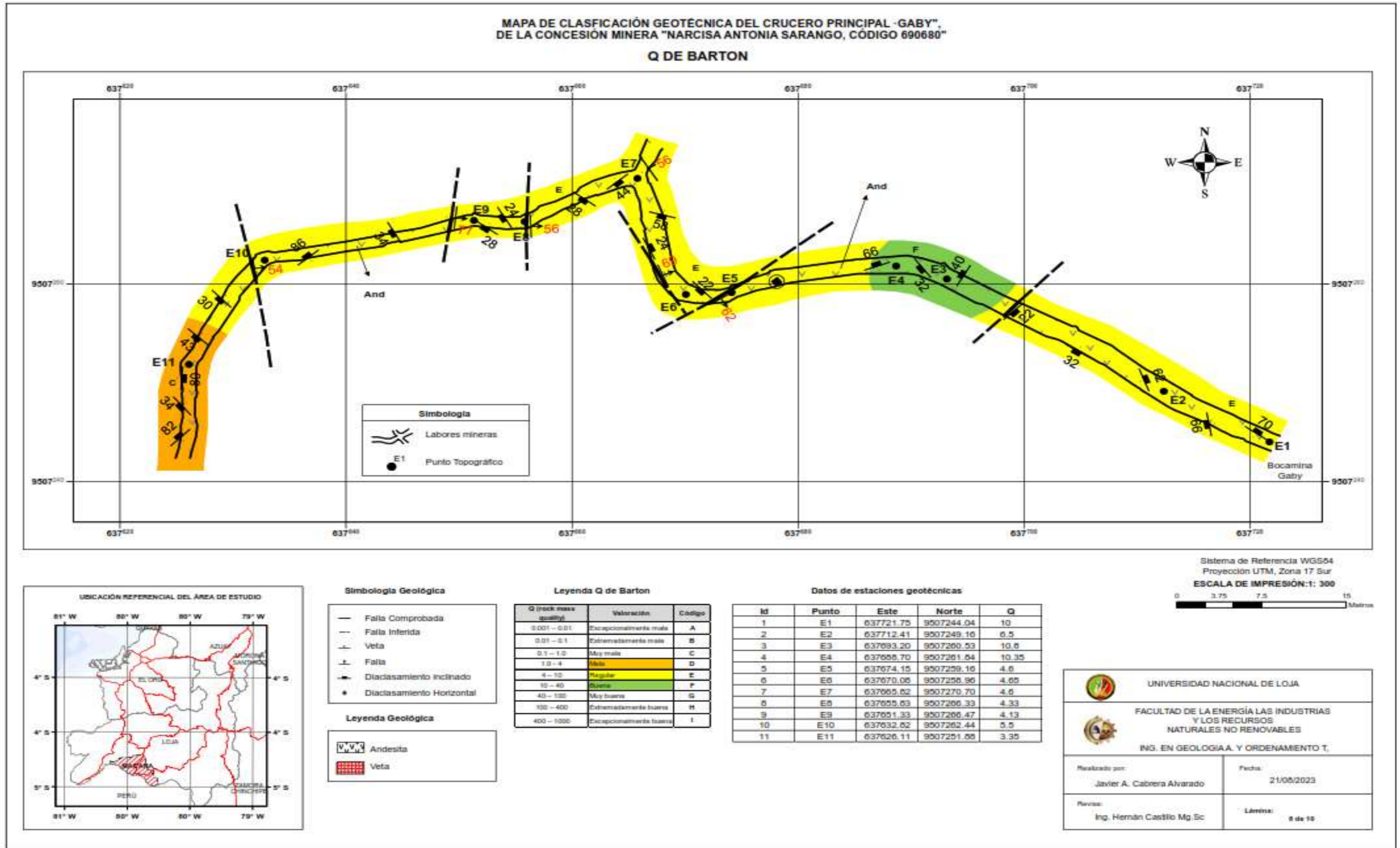


Anexo 9. Mapa geotécnico de la clasificación RMR



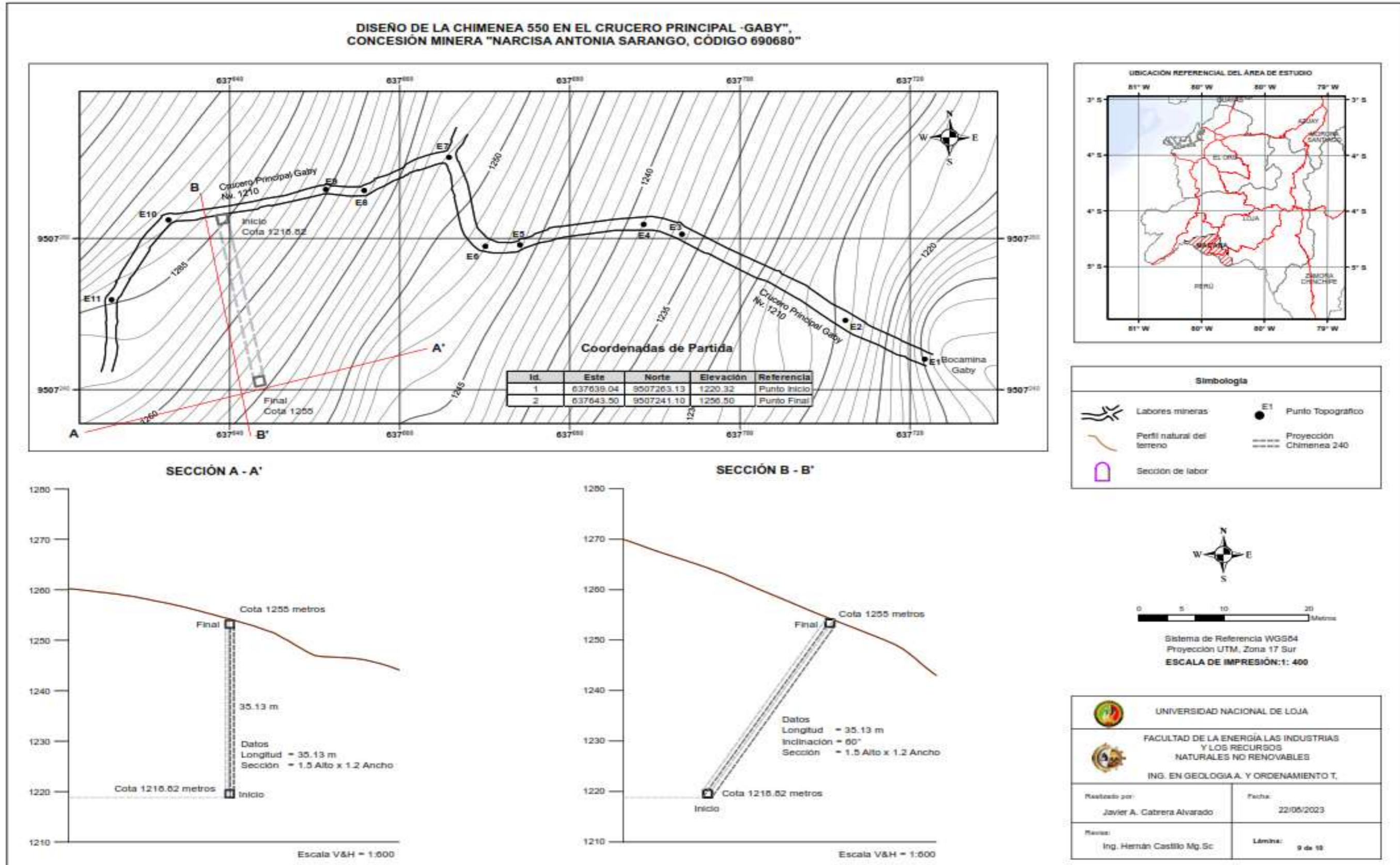


Anexo 10. Mapa geotécnico de la clasificación de la Q BARTON





Anexo 11. Diseño De Chimenea.





unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

## **Anexo 12.** Certificado de traducción del resumen

Yo, Viviana Thalia Huachizaca Pugo, con documento de identidad Nro 1104112923, Licenciada en Ciencias de la Educación con Mención en inglés con N° de registro 1031-2018-1987944.

### **CERTIFICO:**

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés, del resumen del trabajo de titulación, denominado: “Estudio Geológico - Geotécnico del Crucero principal Gaby, para la construcción de la Chimenea de Ventilación 240 desde el nivel 1210 hacia la superficie, en la concesión minera Narcisa Sarango, Código: 690680”., de autoría del estudiante Javier Alexander Cabrera Alvarado con numero de cedula 1105670879, egresado de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifico en honor a la verdad y a su vez al interesado hacer uso del presente para fines académicos.

Lic. Viviana Thalia Huachizaca Pugo

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS

C.I. 1104112923

Numero de registro: 1031-2018-1987944