



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Minas

Diseño de un crucero (955), en el nivel 2, para interceptar la veta SN01 de la mina “El Paraíso”, ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, de la provincia del Azuay

Trabajo de Integración Curricular,  
previo a la obtención del título de  
Ingeniero en Minas.

**AUTOR:**

Victor David Rodriguez Aguilar

**DIRECTOR:**

Ing. Hernán Luis Castillo García PhD.

Loja – Ecuador

**2024**

## Certificación

Loja, 27 de noviembre del 2024.

Ing. Hernán Luis Castillo García PhD.

### CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño de un crucero (955), en el nivel 2, para interceptar la veta SN01 de la mina “El Paraíso”, ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, de la provincia del Azuay**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Minas**, de la autoría del estudiante **Victor David Rodriguez Aguilar, con cédula de identidad Nro.0706569712**, 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 Garcia PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **Autoría**

Yo, **Victor David Rodriguez Aguilar**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a 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 Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 0706569712

**Fecha:** 27 de noviembre de 2024

**Correo electrónico:** victor.rodriguez@unl.edu.ec

**Teléfono:** +593 967293202

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

Yo, **Victor David Rodriguez Aguilar**, declaro ser autor del trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño de un crucero (955), en el nivel 2, para interceptar la veta SN01 de la mina “El Paraíso”, ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, de la provincia del Azuay**, y como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Minas**, 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 sus contenido en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con los cuales tiene convenio la Universidad.

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

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veintisiete días del mes de noviembre de dos mil veinticuatro.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 0706569712

**Dirección:** Loja

**Correo electrónico:** victor.rodriguez@unl.edu.ec

**Teléfono:** +593 967293202

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director de Trabajo de Integración Curricular:** Ing. Hernán Luis Castillo García PhD.

### **Dedicatoria**

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico principalmente a mis amados padres, Victor Rodriguez y Cecilia Aguilar, por su amor incondicional, apoyo constante a lo largo de la carrera y por ser mi fuente de inspiración, aún recuerdo la vez que decidí estudiar en Loja y me apoyaron desde el día uno.

A la memoria de mi abuelita, María Leopoldina Aguilar (†), cuyos recuerdos de crianza y enseñanzas perduran en mi corazón y guían mis pasos cada día. A mis hermanos, Mabel, Josué y Moisés, por su cariño y por estar siempre a mi lado en cada momento importante.

A mi pareja Mishell Morocho, por su paciencia, comprensión y apoyo inquebrantable a lo largo de este grandioso viaje.

***Victor David Rodriguez Aguilar***

## **Agradecimiento**

A Dios, por su guía y sabiduría otorgada, que me han permitido superar cada desafío y llegar hasta este momento tan significativo en mi vida.

A mis amados padres, Víctor Rodríguez y Cecilia Aguilar, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido la base de mis logros. Gracias por creer en mí, por cada uno de sus sacrificios hechos por mí y por ser mi fuente de inspiración y fortaleza.

A mi pareja, Mishell Morocho, por su paciencia, comprensión y apoyo inquebrantable. Tu amor y compañía han sido un pilar fundamental durante este proceso. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome ánimo y fuerza cuando más lo necesitaba.

A mi tutor de trabajo de integración curricular, Ing. Hernán Castillo, por la orientación, paciencia y sabiduría. Su dedicación y consejos han sido importantes para la realización de este trabajo y para mi crecimiento como profesional.

A la Empresa Minera "El Paraíso" y su Presidente Ejecutivo Dr. David Machuca, por permitirme desarrollar mi trabajo de titulación en sus instalaciones y por proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo mi investigación. Su colaboración fue esencial para poder llevar a cabo este proyecto.

A los docentes y directivos de la Universidad Nacional de Loja, quienes a lo largo de la carrera me impartieron sus conocimientos y experiencias. Cada uno de ustedes ha dejado una huella firme en mi formación, y les agradezco profundamente por su dedicación y compromiso con la enseñanza.

A mis compañeros y amigos, por el apoyo que alguna vez me brindaron y por los momentos compartidos durante estos años. Su amistad y compañía hicieron de este viaje académico una experiencia única y memorable.

Este logro no habría sido posible sin la contribución de cada una de estas personas e instituciones. A todos, mi más sincero agradecimiento.

***Victor David Rodríguez Aguilar***

## Índice de Contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de Contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de Tablas.....	x
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Anexos.....	xv
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Topografía Minera .....	6
4.2. Geología.....	6
4.3. Macizo Rocosos .....	6
4.4. Clasificaciones Geomecánicas .....	6
4.4.1. Rock Quality Designation (RQD).....	7
4.4.2. Sistema Rock Mass Rating (RMR).....	7
4.4.3. Q de Barton .....	8
4.5. Propiedades Físicas y Mecánicas de las Rocas .....	9
4.6. Minería Subterránea .....	10
4.7. Labores Mineras Subterráneas.....	10
4.7.1. Pozo o Pique .....	10
4.7.2. Rampa .....	10
4.7.3. Galería.....	10
4.7.4. Cruceros .....	10
4.7.5. Chimenea .....	11
4.8. Perforación de Avance de Cruceros y Galerías .....	11
4.9. Parámetros de Diseño de Cruceros.....	11

4.9.1. Forma del Crucero.....	11
4.10. Construcción de Cruceros .....	12
4.11. Secuencia de Actividades de Minado .....	13
4.11.1. Perforación y Voladura .....	13
4.11.2. Ventilación .....	14
4.11.3. Saneamiento del Frente.....	14
4.11.4. Carga y Transporte.....	15
4.11.5. Sostenimiento.....	15
4.11.6. Operaciones Auxiliares .....	15
4.12. Métodos de Evaluación Económica.....	15
4.12.1. Costos Directos .....	16
4.12.2. Costos Indirectos .....	16
4.12.3. Costos Generales .....	17
<b>5. Metodología .....</b>	<b>18</b>
5.1. Materiales.....	18
5.2. Área de Estudio.....	19
5.2.1. Ubicación.....	19
5.2.2. Acceso.....	20
5.2.3. Geología Regional.....	21
5.3. Metodología.....	24
5.3.1. Metodología del Primer Objetivo.....	25
5.3.2. Metodología del Segundo Objetivo .....	34
5.3.3. Metodología del Tercer Objetivo .....	49
<b>6. Resultados .....</b>	<b>51</b>
6.1. Resultados del Primer Objetivo .....	51
6.1.1. Topografía Superficial.....	51
6.1.2. Topografía Subterránea.....	51
6.1.3. Caracterización Geológica Superficial.....	52
6.1.4. Caracterización Geológica Subterránea (Crucero 955).....	59
6.1.5. Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso .....	62

6.1.6. Determinación de las Características Físico – Mecánicas de la Roca.....	65
6.2. Resultados del Segundo Objetivo.....	70
6.2.1. Selección de la Forma del Crucero.....	70
6.2.2. Dimensionamiento del Crucero.....	71
6.2.3. Sistema de Transporte Férreo.....	73
6.2.4. Diseño de Refugios Peatonales y Ensanches Para Vagones.....	76
6.2.5. Elección del tipo de Excavación.....	77
6.2.6. Pasaporte de Perforación y Voladura.....	78
6.2.7. Cálculo de la Ventilación.....	96
6.2.8. Saneamiento.....	98
6.2.9. Carga y Transporte.....	99
6.2.10. Cálculo del Sostenimiento.....	101
6.2.11. Cálculo del Drenaje.....	103
6.2.12. Cálculo de la Iluminación.....	104
6.2.13. Cálculo del Ciclo de Laboreo y Planificación de Actividades.....	105
6.3. Resultados del Tercer Objetivo.....	111
<b>7. Discusión.....</b>	<b>123</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>126</b>
<b>9. Recomendaciones.....</b>	<b>127</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>128</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>131</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Materiales, equipos y softwares utilizados en el Trabajo de Integración</i> .....	18
<b>Tabla 2.</b> <i>Coordenadas UTM de ubicación de Minera El Paraíso</i> .....	19
<b>Tabla 3.</b> <i>Distancias y duración del acceso a Mina Paraíso en camioneta</i> .....	20
<b>Tabla 4.</b> <i>Índice de calidad de la roca RQD</i> .....	29
<b>Tabla 5.</b> <i>Clasificación Geomecánica RMR Bieniawski (1989)</i> .....	29
<b>Tabla 6.</b> <i>Clasificación geomecánica Q de Barton</i> .....	30
<b>Tabla 7.</b> <i>Forma ideal del túnel frente a las condiciones del terreno (RMR)</i> .....	35
<b>Tabla 8.</b> <i>Distribución de carga en columna, fondo y taco para las diferentes secciones</i> .....	41
<b>Tabla 9.</b> <i>Fórmulas para el cálculo de la zapatera</i> .....	44
<b>Tabla 10.</b> <i>Fórmulas para el cálculo de los hastiales</i> .....	44
<b>Tabla 11.</b> <i>Fórmulas para el cálculo de la corona</i> .....	44
<b>Tabla 12.</b> <i>Fórmulas para el cálculo de las ayudas</i> .....	45
<b>Tabla 13.</b> <i>Fórmulas para el número de cartuchos y cantidades de carga</i> .....	46
<b>Tabla 14.</b> <i>Fórmulas para el cálculo de factores tecnológicos de voladura</i> .....	47
<b>Tabla 15.</b> <i>Cálculo de presupuesto de mano de obra</i> .....	49
<b>Tabla 16.</b> <i>Cálculo de presupuestos de materia prima</i> .....	49
<b>Tabla 17.</b> <i>Cálculo de presupuestos de mantenimiento</i> .....	49
<b>Tabla 18.</b> <i>Cálculo de costos por consumo eléctrico</i> .....	50
<b>Tabla 19.</b> <i>Costos por metro lineal de avance</i> .....	50
<b>Tabla 20.</b> <i>Costos totales por operación unitaria para construcción del crucero</i> .....	50
<b>Tabla 21.</b> <i>Litología de las muestras de la longitud ya franqueada del crucero de estudio</i> ....	59
<b>Tabla 22.</b> <i>Valoración del RQD</i> .....	63
<b>Tabla 23.</b> <i>Valoración RMR</i> .....	63
<b>Tabla 24.</b> <i>Valoración Q de Barton</i> .....	64
<b>Tabla 25.</b> <i>Valoración GSI</i> .....	65
<b>Tabla 26.</b> <i>Resultados del peso específico aparente</i> .....	66
<b>Tabla 27.</b> <i>Resultados del peso específico real</i> .....	66
<b>Tabla 28.</b> <i>Resultados de la humedad natural</i> .....	67
<b>Tabla 29.</b> <i>Resultados de la porosidad</i> .....	68
<b>Tabla 30.</b> <i>Resultados de la resistencia a la compresión simple</i> .....	69
<b>Tabla 31.</b> <i>Resultados de la selección de la forma del crucero</i> .....	71
<b>Tabla 32.</b> <i>Resultados del dimensionamiento del crucero</i> .....	75
<b>Tabla 33.</b> <i>Criterio de impedancia para la selección del explosivo</i> .....	79
<b>Tabla 34.</b> <i>Características del explosivo de carga de fondo</i> .....	79
<b>Tabla 35.</b> <i>Características del explosivo de carga de columna</i> .....	80
<b>Tabla 36.</b> <i>Longitudes de carga para las diferentes secciones</i> .....	81

<b>Tabla 37.</b> <i>Diseño del arranque</i> .....	83
<b>Tabla 38.</b> <i>Diseño de zapateras y hastiales</i> .....	85
<b>Tabla 39.</b> <i>Fórmulas para el cálculo de la corona</i> .....	86
<b>Tabla 40.</b> <i>Diseño de las Ayudas</i> .....	87
<b>Tabla 41.</b> <i>Cálculos de carga para arranque, zapateras y ayudas</i> .....	88
<b>Tabla 42.</b> <i>Cálculos de carga para corona y hastiales</i> .....	90
<b>Tabla 43.</b> <i>Cálculos de carga total por voladura</i> .....	91
<b>Tabla 44.</b> <i>Factores tecnológicos relacionados a la voladura</i> .....	92
<b>Tabla 45.</b> <i>Distribución de barrenos tramo inicial del ensanche</i> .....	94
<b>Tabla 46.</b> <i>Distribución de barrenos tramo final del ensanche</i> .....	95
<b>Tabla 47.</b> <i>Distribución de barrenos tramo central del ensanche</i> .....	96
<b>Tabla 48.</b> <i>Características del ventilador</i> .....	98
<b>Tabla 49.</b> <i>Características de la locomotora</i> .....	99
<b>Tabla 50.</b> <i>Características de los vagones</i> .....	100
<b>Tabla 51.</b> <i>Características de la pala cargadora</i> .....	101
<b>Tabla 52.</b> <i>Selección de sostenimiento</i> .....	102
<b>Tabla 53.</b> <i>Características de la tira LED</i> .....	105
<b>Tabla 54.</b> <i>Tiempos de operaciones unitarias y auxiliares</i> .....	109
<b>Tabla 55.</b> <i>Tiempos de Ciclo de Trabajo</i> .....	110
<b>Tabla 56.</b> <i>Actividades a realizar para el franqueo del crucero 955</i> .....	110
<b>Tabla 57.</b> <i>Resultados de costos por metro lineal de avance</i> .....	111
<b>Tabla 58.</b> <i>Costos totales por actividad para la construcción del crucero</i> .....	111
<b>Tabla 59.</b> <i>Costo de mano de obra por jornada x turno y \$/m avanzado</i> .....	113
<b>Tabla 60.</b> <i>Incidencias en las actividades basado en el cargo</i> .....	114
<b>Tabla 61.</b> <i>Costo de mano de obra por cargo, operación y metro de avance (\$/m)</i> .....	115
<b>Tabla 62.</b> <i>Costos de mano de obra</i> .....	116
<b>Tabla 63.</b> <i>Presupuesto de materia prima para la perforación</i> .....	116
<b>Tabla 64.</b> <i>Presupuesto de materia prima para la voladura</i> .....	117
<b>Tabla 65.</b> <i>Presupuesto de materia prima para el transporte</i> .....	117
<b>Tabla 66.</b> <i>Presupuesto de materia prima para la carga</i> .....	117
<b>Tabla 67.</b> <i>Presupuesto de materia prima para la ventilación</i> .....	118
<b>Tabla 68.</b> <i>Presupuesto de materia prima para el saneo</i> .....	118
<b>Tabla 69.</b> <i>Presupuesto de materia prima para las operaciones auxiliares</i> .....	118
<b>Tabla 70.</b> <i>Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos para la perforación</i> .....	118
<b>Tabla 71.</b> <i>Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos para el transporte</i> .....	119
<b>Tabla 72.</b> <i>Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos para la carga</i> .....	119
<b>Tabla 73.</b> <i>Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos para la ventilación</i> .....	119

<b>Tabla 74.</b> <i>Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos para el saneo</i> .....	119
<b>Tabla 75.</b> <i>Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos operaciones auxiliares</i> ...	119
<b>Tabla 76.</b> <i>Consumo eléctrico por operación unitaria</i> .....	120
<b>Tabla 77.</b> <i>Costos de perforación</i> .....	121
<b>Tabla 78.</b> <i>Costos de voladura</i> .....	121
<b>Tabla 79.</b> <i>Costos de ventilación</i> .....	121
<b>Tabla 80.</b> <i>Costos de saneamiento</i> .....	121
<b>Tabla 81.</b> <i>Costos de carga y transporte</i> .....	122
<b>Tabla 82.</b> <i>Costos de operaciones auxiliares</i> .....	122
<b>Tabla 83.</b> <i>Resistencia a compresión uniaxial a partir de índices de campo ISRM (1981)</i> ...	176
<b>Tabla 84.</b> <i>Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso in situ ISRM (1981)</i> .	176

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Formas de sección recomendadas para construcción de cruceros subterráneos</i> .12	12
<b>Figura 2.</b> <i>Ciclo minero básico</i> .....13	13
<b>Figura 3.</b> <i>Mapa de ubicación de Mina "Paraíso"</i> .....19	19
<b>Figura 4.</b> <i>Acceso a Minera El Paraíso desde la capital del Ecuador – Quito</i> .....20	20
<b>Figura 5.</b> <i>Geología regional concesión minera "Bella Rica" código 015</i> .....21	21
<b>Figura 6.</b> <i>Punto de topografía referencial 1785</i> .....25	25
<b>Figura 7.</b> <i>Levantamiento de puntos con GPS Garmin 64xs</i> .....26	26
<b>Figura 8.</b> <i>Caracterización geológica superficial</i> .....26	26
<b>Figura 9.</b> <i>Muestreo para caracterización geológica subterránea</i> .....27	27
<b>Figura 10.</b> <i>Descripción petrográfica de muestras de roca</i> .....28	28
<b>Figura 11.</b> <i>Caracterización geomecánica del macizo rocoso</i> .....29	29
<b>Figura 12.</b> <i>Procedimiento para determinar el peso específico aparente</i> .....31	31
<b>Figura 13.</b> <i>Procedimiento para determinar el peso específico real</i> .....32	32
<b>Figura 14.</b> <i>Procedimiento para determinar la resistencia a compresión</i> .....33	33
<b>Figura 15.</b> <i>Diseño de un desvío y corazón recto</i> .....38	38
<b>Figura 16.</b> <i>Clasificación de los macizos rocosos para su excavación</i> .....39	39
<b>Figura 17.</b> <i>Diagrama para selección del sostenimiento según Q de Barton y <math>RMR_{89}</math></i> .....48	48
<b>Figura 18.</b> <i>Topografía concesión minera "Bella Rica" código 015</i> .....51	51
<b>Figura 19.</b> <i>Topografía subterránea Mina Paraíso</i> .....52	52
<b>Figura 20.</b> <i>Geología local Mina Paraíso</i> .....53	53
<b>Figura 21.</b> <i>Afloramiento 1: Andesitas basálticas quebrada Paraíso</i> .....54	54
<b>Figura 22.</b> <i>Afloramiento 2: Andesitas basálticas sector Pueblo Nuevo</i> .....54	54
<b>Figura 23.</b> <i>Afloramiento 3: Suelo residual sector Pueblo Nuevo</i> .....55	55
<b>Figura 24.</b> <i>Afloramiento 4: Saprolito andesítico mina La Cascada</i> .....55	55
<b>Figura 25.</b> <i>Afloramiento 5: Andesitas basálticas y coluvios de andesitas meteorizadas</i> .....56	56
<b>Figura 26.</b> <i>Afloramiento 6: Coluvios de andesitas basálticas</i> .....57	57
<b>Figura 27.</b> <i>Afloramiento 7: Andesitas basálticas fracturadas</i> .....57	57
<b>Figura 28.</b> <i>Afloramiento 8: Suelo residual</i> .....58	58
<b>Figura 29.</b> <i>Afloramiento 9: Andesitas meteorizadas y aluvial</i> .....58	58
<b>Figura 30.</b> <i>Afloramiento 10: Andesitas basálticas y aluvial</i> .....59	59
<b>Figura 31.</b> <i>Geología estructural zona del crucero a diseñar</i> .....60	60
<b>Figura 32.</b> <i>Andesita Basáltica M1</i> .....60	60
<b>Figura 33.</b> <i>Andesita Basáltica M2</i> .....61	61
<b>Figura 34.</b> <i>Andesita Basáltica M3</i> .....61	61
<b>Figura 35.</b> <i>Andesita Basáltica M4</i> .....62	62
<b>Figura 36.</b> <i>Zonificación geomecánica RMR del crucero a completar</i> .....62	62

<b>Figura 37.</b> <i>Distribución del Valor de RMR</i> .....	64
<b>Figura 38.</b> Distribución de los datos de peso específico aparente .....	66
<b>Figura 39.</b> Distribución de los datos de peso específico real.....	67
<b>Figura 40.</b> Distribución de los datos de humedad natural .....	67
<b>Figura 41.</b> Distribución de los resultados de la porosidad .....	68
<b>Figura 42.</b> Distribución de los datos de resistencia a la compresión simple .....	69
<b>Figura 43.</b> Muestras fracturadas luego del ensayo de compresión simple .....	69
<b>Figura 44.</b> Diseño de la sección del crucero vista frontal .....	75
<b>Figura 45.</b> <i>Diseño de la sección del crucero vista de perfil</i> .....	76
<b>Figura 46.</b> Diseño de la sección del crucero vista de planta .....	76
<b>Figura 47.</b> Diseño de los ensanches vista frontal.....	76
<b>Figura 48.</b> Diseño de los ensanches vista de planta .....	77
<b>Figura 49.</b> Diseño de los ensanches vista de planta .....	77
<b>Figura 50.</b> Diseño del corazón recto para el desvío .....	77
<b>Figura 51.</b> <i>Elección del tipo de excavación</i> .....	77
<b>Figura 52.</b> Diseño del pasaporte de perforación y voladura .....	93
<b>Figura 53.</b> Distribución de carga para arranque, ayudas y zapateras .....	93
<b>Figura 54.</b> Distribución de carga para corona y hastales.....	93
<b>Figura 55.</b> Diseño del pasaporte para el tramo inicial del ensanche .....	94
<b>Figura 56.</b> Diseño del pasaporte para el tramo final del ensanche.....	95
<b>Figura 57.</b> Diseño del pasaporte para el tramo central del ensanche.....	96
<b>Figura 58.</b> Ventilador axial VAF8000A-3. ....	98
<b>Figura 59.</b> Locomotora a batería CTY8/6GP.....	100
<b>Figura 60.</b> Vagones mineros V40 .....	100
<b>Figura 61.</b> Pala neumática EIMCO 12B .....	101
<b>Figura 62.</b> Diseño de la cuneta de drenaje .....	103
<b>Figura 63.</b> Led Cinta 9W/m 6500k .....	105
<b>Figura 64.</b> Cronograma de construcción del crucero 955.....	110
<b>Figura 65.</b> Representación de costos totales en dólares.....	112
<b>Figura 66.</b> <i>Diagrama de Streckeisen para rocas ígneas extrusivas</i> .....	178
<b>Figura 67.</b> <i>Diagrama de estimación visual de porcentajes</i> .....	178

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> <i>Mapa de ubicación de Mina "Paraíso"</i> .....	131
<b>Anexo 2.</b> <i>Mapa de geología regional concesión minera "Bella Rica" código 015.</i> .....	131
<b>Anexo 3.</b> <i>Mapa de topografía concesión minera "Bella Rica" código 015.</i> .....	131
<b>Anexo 4.</b> <i>Mapa de topografía subterránea Mina Paraíso.</i> .....	131
<b>Anexo 5.</b> <i>Mapa de geología local Mina Paraíso.</i> .....	131
<b>Anexo 6.</b> <i>Mapa de geología estructural zona del crucero a diseñar.</i> .....	131
<b>Anexo 7.</b> <i>Mapa de zonificación RMR del crucero a diseñar.</i> .....	131
<b>Anexo 8.</b> <i>Plano de diseño de la sección del crucero.</i> .....	131
<b>Anexo 9.</b> <i>Plano de diseño del ensanche.</i> .....	131
<b>Anexo 10.</b> <i>Plano de diseño del pasaporte de perforación y voladura.</i> .....	131
<b>Anexo 11.</b> <i>Plano de diseño del pasaporte de perforación y voladura para el ensanche.</i> ....	131
<b>Anexo 12.</b> <i>Fichas de afloramientos descritos.</i> .....	143
<b>Anexo 13.</b> <i>Fichas de descripción petrográfica de las muestras.</i> .....	154
<b>Anexo 14.</b> <i>Fichas de estaciones geomecánicas</i> .....	159
<b>Anexo 15.</b> <i>Ficha de descripción de afloramientos.</i> .....	175
<b>Anexo 16.</b> <i>Índices para estimación de propiedades en campo</i> .....	176
<b>Anexo 17.</b> <i>Ficha de descripción petrográfica</i> .....	177
<b>Anexo 18.</b> <i>Diagramas para identificación de rocas ígneas.</i> .....	178
<b>Anexo 19.</b> <i>Ficha de caracterización geomecánica</i> .....	179
<b>Anexo 20.</b> <i>Parámetros de clasificación geomecánica de Bienawski RMR (1989)</i> .....	180
<b>Anexo 21.</b> <i>Estimación del Índice Geológico de resistencia GSI</i> .....	180
<b>Anexo 22.</b> <i>Datos propiedades físicas y mecánicas de las rocas</i> .....	181
<b>Anexo 23.</b> <i>Certificado de traducción del resumen.</i> .....	182

## **1. Título**

**Diseño de un crucero (955), en el nivel 2, para interceptar la veta SN01 de la mina “El Paraíso”, ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, de la provincia del Azuay.**

## 2. Resumen

El presente Trabajo de Integración Curricular, se realizó con la finalidad de establecer la continuidad de un crucero (955), en el nivel 2, para interceptar la veta SN01 de la mina "El Paraíso", ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, de la provincia del Azuay.

La investigación inició con la recopilación de información bibliográfica, geológica y geomecánica. El diseño se realizó mediante la aplicación de criterios cualitativos y cuantitativos, en donde se analizó variables geológico mineras, minero técnicas, geomecánicas, operativas y económicas dentro de la zona de estudio con el propósito de lograr un diseño adecuado.

De esta manera se propuso el franqueo de un crucero de 118 m de longitud, con una gradiente positiva de 0.5%, y se diseñan las operaciones auxiliares de: ventilación con el uso de un ventilador soplante axial, drenaje con la construcción de una cuneta de desagüe y alumbrado con la instalación de tiras LED, junto con la infraestructura necesaria para la carga y transporte.

Así mismo, se definió que la forma del crucero será abovedada con 2.60 m de altura total, 1.40 m en los hastiales y un ancho de 2.40 m. De acuerdo al diseño del pasaporte de perforación y voladura propuesto se perforarán 51 barrenos de los cuales 47 están cargados, con un total de 42.8 kg de explosivo entre Anfo y Emulnor, un factor de carga de 4.37 kg/m<sup>3</sup> y un factor de potencia de 1.51 kg/tn. No será necesaria la instalación de sostenimiento adicional al tener una roca de Clase I y II según la clasificación RMR 89.

Finalmente, en la planificación y análisis de costos se determinó que la labor se ejecutará en un plazo de 49 días, con un presupuesto estimado de \$70704.61 USD, teniendo un costo de \$599.19 USD por metro lineal de avance.

**Palabras clave:** Factores geológico-mineros; minero-técnicos; geomecánica, voladura; franqueo.

**Abstract.**

This Curricular Integration Work was carried out to establish the continuity of a cruise (955), at level 2, to intercept the SN01 vein of the “El Paraíso” mine, located in the Camilo Ponce Enríquez, Azuay city.

The research began with the collection of bibliographic, geological, and geomechanical information. The design was carried out by applying qualitative and quantitative criteria, where geological-mining, mining-technical, geomechanical, operational, and economic variables were analyzed within the study area to achieve an adequate design.

In this way, the crossing of a 118 m long crossing was proposed, with a positive gradient of 0.5%. The auxiliary operations of ventilation using an axial blower fan, drainage with the construction of a drainage ditch, and lighting with the installation of LED strips, together with the necessary infrastructure for loading and transport, were designed.

Likewise, it was defined that the shape of the crossing will be vaulted with a total height of 2.60 m, 1.40 m at the roofs, and a width of 2.40 m. According to the design of the proposed drilling and blasting passport, 51 holes will be drilled, of which 47 are loaded, with a total of 42.8 kg of explosive between Anfo and Emulnor, a load factor of 4.37 kg/m<sup>3</sup>, and a power factor of 1.51 kg/ton. No additional support installation will be necessary as the rock is Class I and II according to RMR 89.

Finally, in the planning and cost analysis, it was determined that the work would be carried out within 49 days, with an estimated budget of \$70,704.61, costing USD 599.19 per linear meter of progress.

**Keywords:** Geological-mining and mining-technical factors, geomechanics, blasting, clearance.

### 3. Introducción

El Ecuador, es un país con abundantes recursos minerales, ha desarrollado su actividad minera a lo largo de varios siglos. Desde la llegada de la empresa SADCO en 1986 a Portovelo, se han realizado importantes avances en la explotación de estos recursos, experimentando un constante crecimiento, impulsada por el aumento del valor del oro, con hallazgos significativos en regiones como Nambija y Ponce Enríquez (Estupiñán et al., 2021). La minería a pequeña escala, pionera en el sector de Zaruma-Portovelo y en Ponce Enríquez, ha sido una actividad clave para la economía nacional, centrada principalmente en la extracción de oro (Espí, J.A., 2001; Auquilla Terán & Rojas Obaco, 2021).

La mina “El Paraíso” opera en el cantón Camilo Ponce Enríquez, en el campo mineral “Bella Rica” código 015, bajo el régimen de minería subterránea aurífera de pequeña escala. En esta mina, la construcción de nuevas labores mineras tiende a realizarse empíricamente según la experiencia de los trabajadores, lo que frecuentemente resulta en sobrecostos y retrasos. Es así que, para mejorar la eficiencia operativa y técnica, es fundamental implementar un diseño técnico previo y planificar detalladamente la construcción de galerías y cruceros, utilizando mallas de perforación y voladura adaptadas a las condiciones geología mineras y minero técnicas de la zona.

Bajo esta premisa, el presente trabajo de investigación se enfoca en la construcción de un nuevo crucero denominado 955 con el fin de interceptar la veta SN01 para avanzar en la explotación de recursos minerales. Es así que la primera fase consiste en la recolección de información topográfica y geológica de la zona de estudio, para luego realizar un levantamiento geomecánico en donde se identifica la presencia de discontinuidades, estructuras geológicas, así como propiedades físicas y mecánicas de la roca, para la valorización mediante las clasificaciones RMR de Bieniawski, Q de Barton y GSI de Hoek y Brown. Con base en esta información se propone el diseño tanto de las dimensiones del Crucero 955, las operaciones auxiliares, así como del pasaporte de perforación y voladura a seguir. Finalmente, se analiza los costos directos e indirecto para determinar la inversión total que demandará la construcción por metro lineal de avance del crucero.

A lo largo del proyecto se detalla la metodología, equipos utilizados, material de campo, software y fórmulas empleadas. Además, los resultados y el análisis de estos se encuentran debidamente respaldados en los anexos.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar un crucero 955 en el nivel 2 para interceptar la veta SN01 basado en factores técnicos-económicos de la mina “El Paraíso”, ubicada en Camilo Ponce Enríquez, Azuay.

### **Objetivos Específicos**

- Caracterizar geológica y geomecánicamente el macizo donde se proyecta la construcción del crucero.
- Analizar las variables geométricas para el diseño del crucero 955, en base a factores geológico-mineros y minero-técnicos.
- Determinar la inversión económica del diseño del crucero 955, para su construcción.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1. Topografía Minera**

En la actividad minera, la topografía se refiere a la medición y registro de las propiedades físicas de un lugar minero, abarcando la delineación de las operaciones subterráneas, la identificación de la posición de los yacimientos minerales, así como el cálculo de su volumen y tamaño (T&S Servicios de Ingeniería, 2022).

### **4.2. Geología**

Según Universidad del País Vasco (2019) indican que la Geología se define como la disciplina científica dedicada al examen de la composición, estructura, dinámica e historia de la Tierra. Este campo abarca el estudio de los recursos naturales del planeta, como la energía, los minerales y el agua, junto con la investigación de los procesos que influyen en su superficie y, consecuentemente, en el medio ambiente.

### **4.3. Macizo Rocosó**

González et al. (2002, p.123) señala que los macizos rocosos se componen de la acumulación de bloques de matriz rocosa y de discontinuidades de diversas fuentes que influyen en el entorno rocoso. Desde una perspectiva mecánica, estos macizos son caracterizados por ser medios discontinuos, anisotrópicos y heterogéneos. En términos prácticos, se puede afirmar que estos macizos prácticamente exhiben una resistencia a la tracción nula.

### **4.4. Clasificaciones Geomecánicas**

Como menciona Mamani Matos (2018, p.25) en su tesis “Diseño geotécnico del crucero XC 410, mina shalca”, basándose en los conceptos de Terzaghi, se ha buscado organizar, evaluar y medir de manera sistemática las características geomecánicas de los macizos rocosos en áreas de excavación. La clasificación más efectiva consistiría en comprender las propiedades mecánicas del macizo como una amalgama de las características de las rocas y las discontinuidades. Dada la complejidad de este proceso, se han desarrollado clasificaciones que categorizan los macizos rocosos en distintas calidades para facilitar su diferenciación.

A lo largo del tiempo, estas clasificaciones han evolucionado y, en general, desempeñan un papel fundamental en dos aspectos principales: 1) Identificar la categoría estructural del macizo rocoso y definir áreas geomecánicas. 2) Cuantificar aspectos geomecánicos para anticipar, incluso en las fases preliminares del proyecto, los desafíos que podrían surgir. Más significativamente, estas clasificaciones permiten anticipar la metodología de tratamiento adecuada, incluyendo el soporte y el método de excavación, basándose en la categorización previamente establecida (Mamani Matos, 2018, p.25).

#### **4.4.1. Rock Quality Designation (RQD)**

El RQD es el grado de fracturación que puede presentar un macizo rocoso y es muy utilizado para complementar clasificaciones geomecánicas. En sí, es la conexión entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigo que superan los 10 cm y la longitud total del tramo analizado es un índice desarrollado por D. U. Deere entre los años 1963 y 1967. Originalmente concebido para rocas ígneas, este índice proporciona una medida que evalúa la distribución de fragmentos de tamaño significativo en relación con la extensión total del tramo, ofreciendo así información valiosa sobre las características de la muestra, especialmente en el contexto de rocas ígneas (Yepes Piqueras, 2019).

No obstante, a pesar de ser ampliamente empleado, este índice no toma en consideración aspectos cruciales como la orientación del sondeo, la separación, los rellenos y otras condiciones relacionadas con las discontinuidades. Por ende, no resulta completamente adecuado para ofrecer una descripción integral de las características de la fracturación de un macizo rocoso. Por esta razón, su utilidad se limita más a servir como un parámetro dentro de clasificaciones que sí abordan los aspectos mencionados anteriormente.

En el caso de la falta de información de sondeos, el Índice de Calidad de Roca (RQD) puede ser aproximado utilizando la siguiente fórmula:

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot J_v$$

De esta fórmula, donde  $J_v$  es el número de juntas por metro cúbico resulta un porcentaje que valoran la calidad del macizo rocoso *in situ*:

- 0 a 25 % Muy Malo
- 25 a 50 % Malo
- 50 a 75 % Regular
- 75 a 90 % Bueno
- 90 a 100 % Muy Bueno

#### **4.4.2. Sistema Rock Mass Rating (RMR)**

Gavilan Ruiz (2020), indica que la clasificación geomecánica de Bieniawski, también conocida como clasificación RMR, fue elaborada en 1973 y posteriormente actualizada en 1979 y 1989. Esta clasificación constituye un enfoque para evaluar la calidad de la masa rocosa, estableciendo una relación entre índices de calidad y parámetros geotécnicos, así como considerando aspectos relacionados con los sectores de excavación y el soporte necesario. Vale destacar que el RMR es ampliamente utilizado en la minería peruana y, en esencia, se basa en la evaluación de los siguientes parámetros geomecánicos (p.41).

La resistencia a la compresión simple.

Índice RQD.

Espaciamiento.

Condiciones de las fracturas (rugosidad, persistencia, relleno, apertura).

Condiciones hidrogeológicas.

Corrección por la orientación de las discontinuidades.

Al reunir la totalidad de los parámetros geomecánicos que influyen en el comportamiento del macizo rocoso, es posible expresarlos a través de un valor que se conoce como el índice de calidad RMR (Rock Mass Rating). Este índice, que varía de 0 a 100, clasifica la calidad de la roca en categorías específicas para su aplicación en proyectos de ingeniería. Un valor más alto indica una mayor calidad del macizo rocoso. A continuación, se presenta la clasificación detallada:

CLASE I: RMR > 80, Calidad muy buena.

CLASE II: 80 > RMR > 60, Calidad buena.

CLASE III: 60 > RMR > 40, Calidad media.

CLASE IV: 40 > RMR > 20, Calidad mala.

CLASE V: RMR > 20, Calidad muy mala.

#### **4.4.3. Q de Barton**

González de Vallejo et al. (2002) menciona que el sistema de clasificación Q, concebido por Barton, Lien y Lunde en 1974 tras examinar extensamente numerosos túneles, representa un método para clasificar macizos rocosos. Este sistema facilita la estimación de parámetros geotécnicos del macizo y posibilita el diseño de sistemas de soporte para túneles y cavernas subterráneas. El índice Q se fundamenta en una evaluación numérica de seis parámetros, los cuales se expresan mediante la siguiente fórmula (p.508):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Donde cada uno significa lo siguiente:

- RQD: Rock Quality Designation.
- J<sub>n</sub>: Número de familia de juntas o discontinuidades.
- J<sub>r</sub>: Rugosidad de las juntas.
- J<sub>a</sub>: Grado de alteración de las juntas.
- J<sub>w</sub>: Presencia de agua.
- SRF: Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor.

El resultado de este proceso es el índice Q, el cual oscila entre 0,001 y 1.000, y se traduce en la siguiente clasificación del macizo rocoso:

- 0,001 a 0,01: excepcionalmente mala
- 0,01 a 0,1: extremadamente mala
- 0,1 a 1: muy mala
- 1 a 4: mala
- 4 a 10: media

- 10 a 40: buena
- 40 a 100: muy buena
- 100 a 400: extremadamente buena
- 400 a 1.000: excepcionalmente buena

#### 4.5. Propiedades Físicas y Mecánicas de las Rocas

Las propiedades físicas de las rocas son el resultado de su composición mineralógica, fábrica e historia geológica, que incluye aspectos de deformacionales y ambientales, así como procesos de alteración y meteorización. La amplia variabilidad en estas propiedades se manifiesta en diversos comportamientos mecánicos cuando las rocas están sometidas a fuerzas externas. Estos comportamientos están definidos por la resistencia del material y su modelo de deformación. Por ejemplo, un granito en buen estado tiende a mostrar un comportamiento elástico y frágil frente a cargas elevadas, mientras que una margita o lutita pueden exhibir un comportamiento más dúctil ante esfuerzos moderados o bajos. En consecuencia, son las propiedades físicas de las rocas las que determinan cómo se comportan mecánicamente (González de Vallejo et al., 2002, p.126).

“Las propiedades físicas, también conocidas como propiedades índices, de las rocas se establecen mediante pruebas de laboratorio. Entre las más significativas en términos de influencia en el comportamiento mecánico se encuentran la porosidad, el peso específico, la permeabilidad, la alterabilidad y la resistencia” (González de Vallejo et al., 2002, p.128).

**Porosidad.** La porosidad es la proporción entre el volumen ocupado por los huecos o poros en la roca y el volumen total. Esta propiedad ejerce una influencia significativa en las características resistentes y mecánicas, mostrando una relación inversa con la resistencia y la densidad, y una relación directa con la deformabilidad. La presencia de huecos puede generar áreas de debilidad, lo que subraya la importancia de la porosidad en el comportamiento global de la roca.

**Peso Específico.** El peso unitario de la roca está determinado por sus componentes y se define como el peso por unidad de volumen. Se expresa en unidades de fuerza, como kilopondios, newtons o toneladas-fuerza, dividido por unidad de volumen. En términos generales, se suele asignar el mismo valor al peso específico, el cual se relaciona con la densidad, definida como la masa dividida por el volumen.

**Resistencia a la Compresión Simple.** La resistencia uniaxial se refiere al máximo esfuerzo que una roca puede soportar cuando se somete a compresión uniaxial, evaluado en una probeta cilíndrica sin confinamiento en condiciones de laboratorio. Este parámetro se determina a través de pruebas específicas y se expresa mediante una fórmula o ecuación que cuantifica la capacidad de la roca para resistir fuerzas aplicadas en una sola dirección.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} = \frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Área de aplicación}}$$

#### **4.6. Minería Subterránea**

Se denomina mina de interior o subterránea al conjunto de estructuras como piques, galerías, rampas, chimeneas o coladeros, cámaras destinadas para servicios e infraestructuras diversas, junto con las labores específicas de extracción. Estas instalaciones son construidas con el propósito de facilitar la extracción eficiente de minerales de un yacimiento que se encuentra a cierta profundidad y no es accesible económicamente, ambientalmente o socialmente mediante métodos de explotación a cielo abierto (Herrera Herbet, 2019, p.7).

#### **4.7. Labores Mineras Subterráneas**

Una labor minera subterránea se define como un espacio o acceso excavado utilizando diversos métodos con el propósito de explotar un yacimiento mineral. En esencia, una mina subterránea se compone de estas labores mineras, y el conjunto de técnicas utilizadas para aprovechar un yacimiento mediante minería se denomina laboreo de minas (Sandoval, 2015).

Estas labores se pueden dividir en labores mineras de acceso, de preparación, auxiliares y de reconocimiento o exploración. Una de estas labores, son los cruceros.

##### **4.7.1. Pozo o Pique**

Es una labor minera de acceso vertical o inclinada, esta se convierte en el acceso más común desde la superficie hacia el interior, especialmente cuando las operaciones de explotación deben llevarse a cabo a una considerable profundidad (Herrera Herbet, 2019).

##### **4.7.2. Rampa**

Las rampas son labores de acceso definidas como galerías inclinadas que conectan los distintos niveles subterráneos excavados a diferentes cotas o profundidades con la superficie (Herrera Herbet, 2019).

##### **4.7.3. Galería**

Se trata de una labor de acceso excavada de forma horizontal o con una leve inclinación, semejante a los túneles de carretera. La parte superior de la galería se conoce como techo o corona, mientras que las paredes son denominadas hastiales.

##### **4.7.4. Cruceros**

“Se trata de una excavación horizontal, labores comunes que se llevan a cabo para interceptar una veta o para seguir la mineralización que tiene una dirección perpendicular a la de las vetas principales paralelas” (Cardenas, 2019, p.25).

Según el mismo autor, esta labor de acceso se caracteriza por tener una dimensión mucho menor que las otras dos, y cumple diversas funciones como:

- Servir como acceso al depósito mineral.
- Permitir la entrada de personal, herramientas, materiales, equipos, y otros.
- Facilitar el reconocimiento de la continuidad del yacimiento.
- Posibilitar la identificación de otras estructuras perpendiculares a la labor.

#### **4.7.5. Chimenea**

Se trata de una excavación vertical o inclinada construida desde un nivel inferior hacia uno superior con el propósito de transportar material o facilitar el paso de aire, ventilando así los lugares de trabajo. Las chimeneas pueden tener varios compartimientos y su construcción se realiza típicamente en mineral, aunque en menor escala también puede llevarse a cabo en material estéril.

#### **4.8. Perforación de Avance de Cruceros y Galerías**

Según Arias Ochoa (2023, p.20) en su tesis sobre optimización de una malla de voladura son perforaciones horizontales realizadas manualmente o de forma mecanizada, los equipos y métodos varían según el sistema de minería, pero generalmente para la minería subterránea a gran escala, se utilizan equipos de perforación conocidos como "jumbos", que tienen de una a tres o más piezas de mano y permiten realizar tareas de perforación rápidas de manera automática, mientras que para minería a pequeña escala es común el uso de perforadoras neumáticas tipo jack leg.

#### **4.9. Parámetros de Diseño de Cruceros**

En el diseño de cruceros en minas subterráneas, muchos factores conllevan una gran importancia. Es así, que de acuerdo con Cardenas Yere (2019), al desarrollar un crucero, es crucial tener en cuenta las siguientes etapas:

- La función de la labor minera.
- La geometría: trazado y tipo de sección.
- La geología y geomecánica del macizo rocoso.
- El método de excavación.
- El sostenimiento.
- La infraestructura para la explotación.

Además de lo anterior mencionado, es imperativo llevar a cabo levantamientos topográficos para identificar todas las características presentes en el sitio de estudio y ubicar las estructuras tanto superficiales como subterráneas que podrían ser afectadas por la construcción del crucero. La comprensión de las condiciones geológicas y geomecánicas resulta invaluable en la construcción de cualquier tipo de crucero, independientemente del tipo de roca. Este conocimiento adquiere importancia primordial en el caso de cruceros en roca dura. Aunque las exploraciones mediante perforaciones de reconocimiento son sencillas de realizar en terrenos blandos y en cruceros subacuáticos, en cruceros en roca muy extensos, las oportunidades de llevar a cabo perforaciones a menudo se ven limitadas.

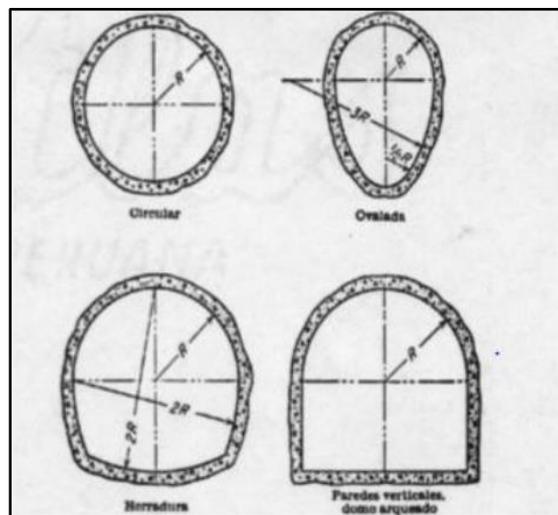
##### **4.9.1. Forma del Crucero**

Los cruceros que carecen de presión interna suelen tener una sección en forma de herradura, mientras que los cruceros sometidos a presión adoptan una forma circular y se recubren con concreto armado. El espesor del revestimiento varía de 6 a 36 pulgadas, y esto

está determinado por factores como el tamaño del crucero, la presión interna y las características de la roca (Cardenas, 2019).

La configuración de la sección transversal de un crucero se determinará según la presión que las tierras impongan sobre el mismo, así como por el propósito para el cual se está construyendo el crucero.

Además, según Cardenas Yere (2019) menciona que, si el terreno es de roca sólida y muy dura, por lo general puede seleccionarse cualquier forma de sección transversal. Por otro lado, cuando el terreno consiste en roca fragmentada bajo presión horizontal, la sección de paredes verticales en un crucero deberá ser reemplazada por curvas de herradura para hacer frente a dicha presión. En casos de terrenos altamente inestables, como arcilla suave o arena, podría ser necesario optar por una sección de forma circular debido a su mayor resistencia ante presiones extremas, independientemente del propósito para el cual se destine la galería. En la figura 1 se observa las formas de sección recomendadas para diferentes condiciones geológicas y geotécnicas.



**Figura 1.** Formas de sección recomendadas para construcción de cruceros subterráneos

**Nota.** Tomado de Chicata Rojas (2008).

#### 4.10. Construcción de Cruceros

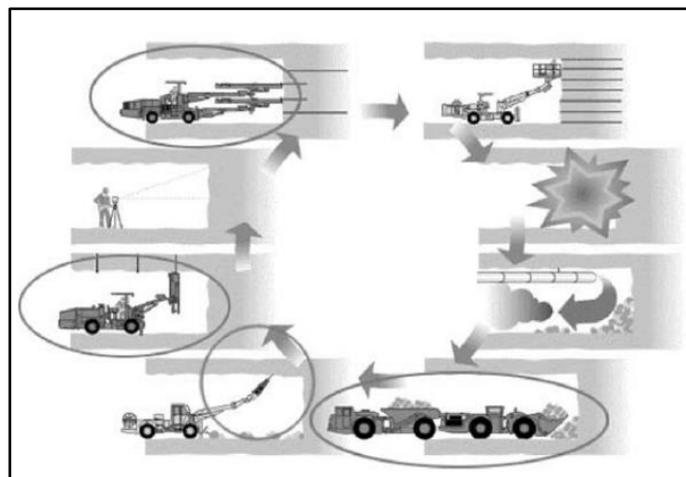
Luego de realizado el diseño técnico económico de una labor minera y tan inmediatamente como se comience con la construcción de la galería, deberán llevarse a cabo las operaciones de acuerdo con una secuencia de las operaciones bien planificada y organizada. Sin embargo, las actividades variarán con el tipo de roca, tamaño del crucero, con el método de excavación a utilizar y con la clase de geología que se encuentre en el sitio. Además, depende mucho si la construcción será realizada, con uno, dos o hasta tres turnos diarios dependiendo principalmente del tamaño de la sección, que mientras más grande es mayor duración del ciclo de minado tendrá, y, por lo tanto, menos jornadas se podrán incluir en el día.

De acuerdo a esto, y como menciona Cardenas (2019) para la construcción de un crucero perforado en roca, se aplican las actividades que se enlistan a continuación:

- Establecimiento y método de ejecución de la perforación.
- Cargado y detonación de los explosivos.
- Ventilación y eliminación del polvo posterior a la explosión.
- Cargado y transporte de los escombros.
- Extracción del agua freática en caso necesario.
- Instalación de los soportes o refuerzos para los ademes del domo y las paredes, si es requerido.
- Colocación de refuerzos metálicos.
- Aplicación del revestimiento de concreto.

#### 4.11. Secuencia de Actividades de Minado

La secuencia de minado básico en casi cualquier explotación minera subterránea consta de las operaciones que están representadas en la Figura 2 y se describen de manera concisa a continuación.



**Figura 2.** *Ciclo minero básico*

**Nota.** Tomado de Díaz Aguado (2005).

##### 4.11.1. Perforación y Voladura

Como menciona Bernaola et al. (2013, p.5) la perforación y voladura es una técnica utilizada para extraer roca en terrenos competentes, donde los medios mecánicos no resultan rentables. Bajo esta definición, este método se aplica en diversas áreas, ya sea en minería o en proyectos de ingeniería civil, siempre que se requiera movilizar tierras. Esta técnica se fundamenta en la realización de perforaciones en la roca, donde se colocan explosivos que, al detonar, proporcionan la energía necesaria para la fragmentación del macizo rocoso a explotar. De este modo, se distinguen claramente dos tecnologías:

- Perforación
- Diseño y ejecución de voladuras.

#### **4.11.1.1. Perforación**

A lo largo del tiempo, la perforación en roca ha experimentado cambios, incorporando y utilizando diversas tecnologías. Sin embargo, muchas de ellas han quedado obsoletas, ya sea debido a la eficiencia alcanzada o a factores externos como consideraciones económicas o medioambientales. Las técnicas más empleadas y avanzadas se basan en sistemas mecánicos de perforación, conocidos como sistemas "a rotación" y "a percusión". Estos métodos, cuya eficacia se sitúa en energías específicas por debajo de los 1.000 J/cm<sup>3</sup>, serán detallados y explorados en mayor profundidad en este texto (Bernaola Alonso, 2013, p.6).

Se considera que una perforación es de calidad cuando se realiza utilizando los medios y técnicas más apropiados y se ejecuta de manera precisa. Por esta razón, se sostiene que la implementación de buenas prácticas de perforación puede propiciar una voladura exitosa, mientras que prácticas deficientes en la voladura garantizan un resultado negativo en dicha operación.

#### **4.11.1.2. Voladura**

En su trabajo Jimeno & Jimeno (1994), muestra un gráfico en el que se puede apreciar datos obtenidos de diferentes voladuras y en el cual se puede realizar un contraste donde se refleja el consumo de explosivos en función a la sección del túnel y el diámetro de perforación (Velasco Redrobán, 2016).

#### **4.11.2. Ventilación**

“La ventilación en una mina implica el procedimiento de inducir un flujo de aire adecuado y esencial con el fin de establecer condiciones óptimas que garanticen un entorno agradable, limpio y libre de gases para los trabajadores” (Revista Seguridad Minera, 2020).

Por lo general en una mina, es esencial establecer la circulación de aire por varias razones:

- Garantizar un nivel mínimo de oxígeno en la atmósfera de la mina para facilitar la respiración de los trabajadores.
- Diluir gases potencialmente tóxicos, asfixiantes o explosivos por debajo de los límites legales permitidos.
- Ventilar la mina con el fin de climatizarla; a medida que la profundidad aumenta, la temperatura tiende a elevarse, y la presencia de equipos y maquinaria contribuye aún más al aumento de la temperatura del aire.
- Proporcionar un confort térmico en los frentes de trabajo para garantizar condiciones óptimas de rendimiento y seguridad para los trabajadores.

#### **4.11.3. Saneamiento del Frente**

Por lo general, antes de proceder a cargar el mineral o el estéril, es conveniente sanear la zona del frente de trabajo luego de la ventilación todo para evitar pequeños desprendimientos de la corona y del frente para evitar accidentes. Esta actividad es común

realizarla desde la pila de material generado. Otras veces, como en el caso que muestra la Figura 2, se sanea después de la carga y el transporte y previamente a la colocación del sostenimiento. (Díaz Aguado, 2005)

#### **4.11.4. Carga y Transporte**

Las fases de carga y transporte implican la operación simultánea de cargar con equipos de diversos tamaños el material en el sistema de transporte del frente de trabajo y llevarlo al destino correspondiente. Según la calidad del mineral, las etapas siguientes pueden ser: chancado (si se trata de mineral con ley de corte) o transporte a botaderos (si se considera material estéril) (Universidad Tecnológica de Chile, 2023, p.3).

Además, entre los procedimientos de producción que generan mayores gastos se encuentra la carga y transporte de materiales. Esto se debe a la gran cantidad de equipos empleados (flota), su alto nivel de mecanización, menor eficiencia por equipo y su carácter prácticamente constante. En términos generales, los gastos de estas actividades representan entre el 45% y el 65% del costo total de la operación minera. Por lo tanto, es crucial asegurar un entorno operativo óptimo para obtener el máximo rendimiento de los equipos utilizados.

#### **4.11.5. Sostenimiento**

El sostenimiento o fortificación son las actividades de refuerzo o soporte que se realizan en el frente de trabajo previo a empezar un nuevo ciclo de trabajo.

En cualquier operación minera, el sostenimiento de las labores representa una labor adicional de costos significativos que puede disminuir la velocidad de avance y/o producción. No obstante, es un proceso esencial para garantizar la seguridad del personal y del equipo, protegiéndolos de posibles accidentes.

#### **4.11.6. Operaciones Auxiliares**

Se puede definir a las operaciones auxiliares, como las actividades complementarias, pero no menos importantes de un ciclo de trabajo. Estas actividades son el drenaje y la iluminación. El drenaje comprende el sistema de cunetas o tuberías que por gravedad o por sistema de bombeo evacua las aguas hasta la superficie ya sean aguas freáticas que se escurren por las paredes y techo de la galería o el agua que se ocupa en la perforación. Por su parte, la iluminación abarca el sistema de lámparas fijas o móviles que aportan condiciones de seguridad y laborales óptimas de acuerdo a cada área de trabajo de la mina.

### **4.12. Métodos de Evaluación Económica**

En la economía de toda empresa minera es importante llevar conocimiento de los costos que implicará la construcción de labores u obras mineras. Por tal razón, es necesario conocer los costos operacionales que se generan en una determinada actividad como la construcción de un crucero, considerando los elementos del costo con la finalidad de saber el valor final del producto y poder tomar decisiones acertadas.

#### **4.12.1. Costos Directos**

Piña (2020), menciona que los costos directos o variables, también conocidos como costos primarios de operación, incluyen:

##### ***Recursos Humanos***

- Personal involucrado en operaciones.
- Personal de supervisión operativa.
- Personal encargado del mantenimiento.
- Personal de supervisión en tareas de mantenimiento.
- Otros gastos relacionados con salarios.

##### ***Insumos***

- Piezas de repuesto y materiales para reparaciones.
- Materiales necesarios para procesos de tratamiento.
- Materias primas.
- Consumibles como combustible, electricidad, agua, entre otros.

##### ***Preparación y desarrollo (Producción)***

#### **4.12.2. Costos Indirectos**

De acuerdo con Piña (2020), los costos indirectos o fijos se consideran como gastos independientes de la operación, incluyendo:

##### ***Recursos Humanos***

- Personal de administración.
- Personal de seguridad.
- Personal técnico.
- Personal de servicios.
- Personal de almacén y talleres.
- Personal de otras cargas de salarios.

##### ***Seguros de propiedad y de responsabilidad.***

- Costos de Amortización.
- Intereses.
- Impuesto.
- Gastos de servicio y oficina.
- Preparación y desarrollo (para toda la mina).

#### **4.12.3. Costos Generales**

De acuerdo con la explicación de Piña (2020), los costos generales pueden o no ser considerados como parte de los gastos de operación. Algunos de estos costos están asociados a procesos o unidades específicas dentro del ciclo completo de producción, y son:

##### ***Comerciales***

- Personal dedicado a la venta.
- Investigaciones de mercado.
- Supervisión comercial.
- Gastos relacionados con viajes y representación.
- Otros costos asociados a salarios.

##### ***Administración***

- Funcionarios de nivel gerencial y de dirección.
- Personal encargado de contabilidad y auditoría.
- Equipo del departamento central de planificación y geología.
- Personal del departamento de investigación y desarrollo.
- Equipos de los departamentos jurídico y financiero.
- Personal dedicado a relaciones públicas.
- Otros roles dentro de la administración y gestión.

## 5. Metodología

### 5.1. Materiales

Para llevar a cabo el desarrollo del trabajo de integración curricular, se usó una variedad de materiales y equipos durante la etapa de campo y laboratorio, así también, se utilizó diferentes softwares y recursos informáticos en la fase de oficina. Para facilitar este proceso, se organizó una lista y clasificación los recursos de la siguiente manera.

**Tabla 1.** *Materiales, equipos y softwares utilizados en el Trabajo de Integración*

Fase de uso	Detalle
Campo – Fase inicial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo de protección individual: Casco, mascarilla respiratoria, tapones de oído, chaleco reflectivo, guantes y botas punta de acero.</li> <li>- Linterna minera</li> <li>- Spray blanco</li> <li>- Brújula Brunton</li> <li>- Flexómetro</li> <li>- Distanciómetro</li> <li>- GPS Garmin 64xs</li> <li>- Martillo de Schmidt o esclerómetro</li> <li>- Martillo geológico o piqueta</li> <li>- Combo y cincel</li> <li>- Fundas plásticas de muestreo</li> <li>- Libreta de campo</li> <li>- Fichas de caracterización geomecánica</li> <li>- Fichas de descripción de afloramientos</li> <li>- Lapiceros</li> <li>- Cámara celular</li> </ul>
Laboratorio – Fase media	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amoladora</li> <li>- Máquina de ensayos de compresión</li> <li>- Lupa geológica</li> <li>- Rayador geológico</li> <li>- Fichas de descripción macroscópica</li> <li>- Balanza electrónica</li> <li>- Recipientes</li> <li>- Horno</li> <li>- Porrón</li> <li>- Picnómetro</li> </ul>
Oficina – Fase final	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Computadora</li> <li>- Hoja geológica Machala – 2017</li> <li>- Google Earth Pro</li> <li>- Google Maps</li> <li>- ArcMap ArcGIS v.10.8</li> <li>- AutoCAD v.2022</li> <li>- Paquete office 2021: Word, Excel</li> </ul>

## 5.2. Área de Estudio

### 5.2.1. Ubicación

El área de estudio Minera “El Paraíso” S.A MINELPARSA, propiedad de la compañía Minera Beloro S.A, se ubica geográficamente en la zona suroccidental de la República del Ecuador en las estribaciones de la Cordillera Occidental, cerca del límite de las provincias de Azuay y El Oro, dentro de la Concesión Minera “Bella Rica” código 015 la cual está delimitada por el Río Tenguel y Río Siete al norte y sur respectivamente.

Según la ubicación política administrativa como se muestra en la **Figura 3**, la Mina “El Paraíso” se encuentra dentro de los límites del sector Bella Rica, cantón Camilo Ponce Enríquez, Provincia del Azuay.



**Figura 3.** Mapa de ubicación de Mina “Paraíso”

**Nota.** El mapa completo se puede ver en el **Anexo 1**.

Las coordenadas de ubicación de la Mina Paraíso en la proyección horizontal UTM Zona 17S y en los datum WGS84 y PSAD56 se detallan en la **Tabla 2**.

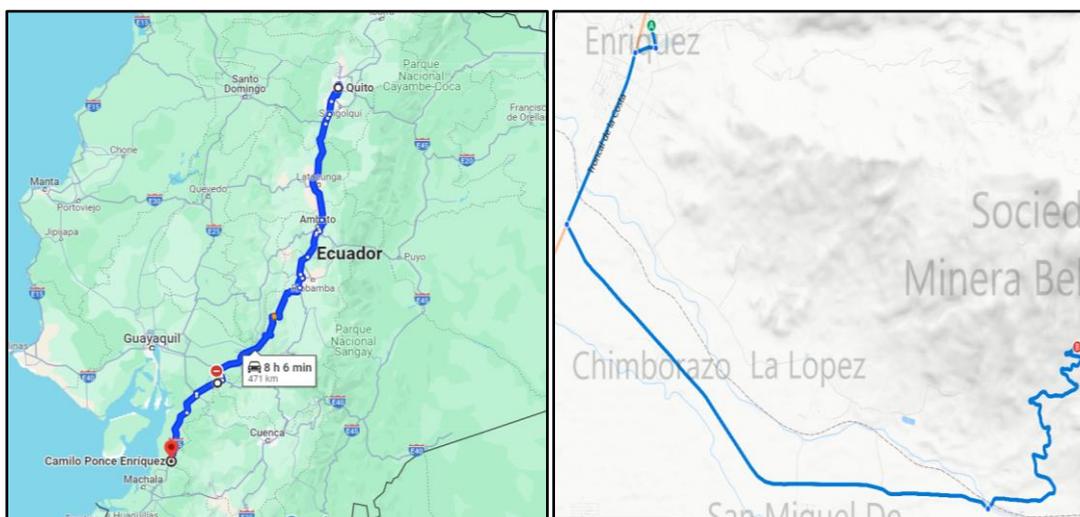
**Tabla 2.** Coordenadas UTM de ubicación de Minera El Paraíso

Punto	Datum WGS84		Datum PSAD56	
	X	Y	X	Y
1	644920	9658241	645171	9658605
2	644714	9658241	644965	9658605
3	644555	9659713	644806	9660077
4	645358	9659713	645609	9660077

### 5.2.2. Acceso

El acceso a la Mina Paraíso, empezando desde la capital del Ecuador: Quito, hacia el cantón Camilo Ponce Enríquez – Azuay, se inicia a través de la Carretera Panamericana (Troncal de la Sierra/E35 y E487) durante 471 kilómetros aproximadamente. Luego, desde Camilo Ponce Enríquez en camioneta se conduce por 2.4 kilómetros en dirección sur Vía Troncal de la Costa/E25 hasta el sitio Río Siete donde se ingresa a mano izquierda en una vía de segundo orden (Entrada a San Miguel de Brasil) y se recorre una distancia de 6.5 kilómetros hasta llegar al sitio El Guayacán, a partir de dónde se avanzará 4 kilómetros más por vía lastrada hasta llegar a la Mina Paraíso (Ver **Figura 4**).

En total el trayecto desde el centro urbano de Camilo Ponce Enríquez hasta la Mina Paraíso tiene 12.9 km e incluye el paso por localidades como Río Siete, Chimborazo, San Miguel de Brasil y El Guayacán.



**Figura 4.** Acceso a Minera El Paraíso desde la capital del Ecuador – Quito

**Nota.** Tomado de Google Maps (2024).

Las distancias y duración de recorrido para el acceso en camioneta hasta Mina Paraíso desde la capital Quito se detallan en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Distancias y duración del acceso a Mina Paraíso en camioneta

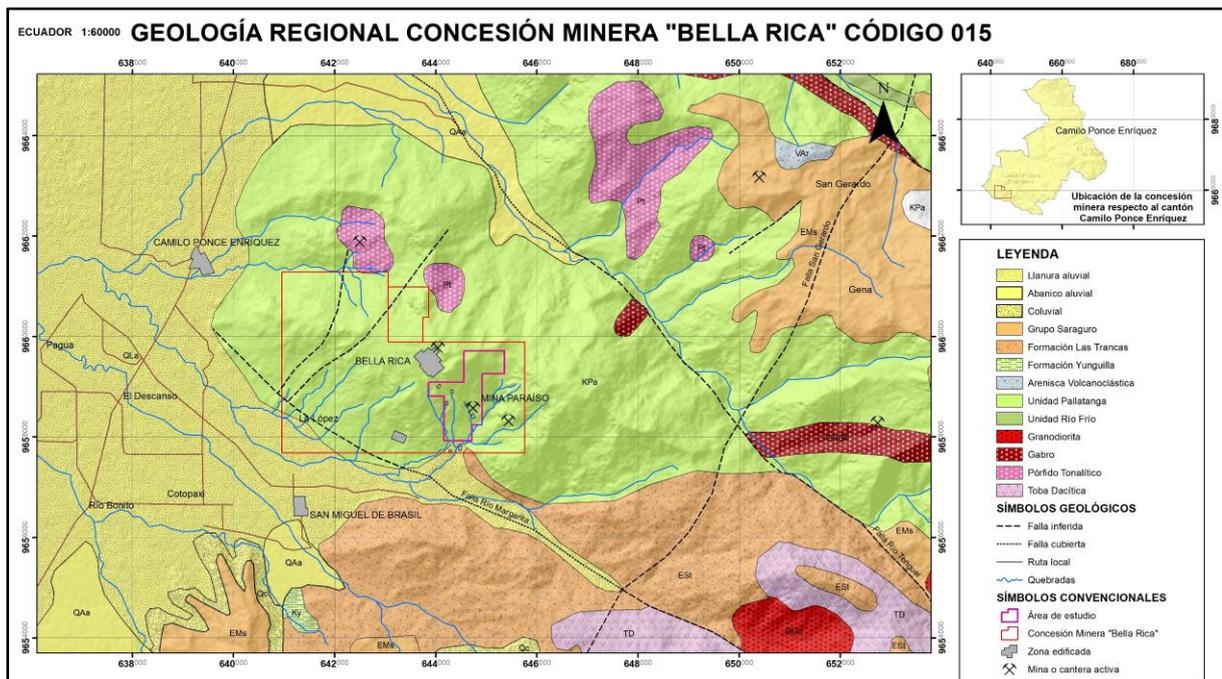
Trayecto	Distancia	Duración
Quito – Camilo Ponce Enríquez	471 km	8 h 06 min
Camilo Ponce Enríquez – Río Siete	2.4 km	0 h 03 min
Río Siete – El Guayacán	6.5 km	0 h 10 min
El Guayacán – Mina Paraíso	4 km	0 h 12 min
<b>Recorrido Total</b>	<b>483.9 km</b>	<b>8 h 31 min</b>

### 5.2.3. Geología Regional

De acuerdo a la Hoja Geológica Machala 2017 a escala 1:100000, la concesión minera "Bella Rica" código 015 se encuentra constituida principalmente por rocas intermedias a básicas de la Unidad Pallatanga del Cretácico medio temprano (pre – Senoniense), que crea una franja poco discontinua delimitada por fallas que se extienden en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental. La unidad comprende basaltos toleíticos, lávicos, masivos y almohadillados con intrusiones básicas y cantidades subordinadas de volcanoclásticas, sedimentos pelágicos y bandas tectónicas de rocas ultramáficas. La base de esta unidad no se encuentra expuesta y, hacia el Este, está cubierta discordantemente por las rocas volcánicas subaéreas, de composición intermedia a silíceo calco – alcalina del Grupo Saraguro (Eoceno Medio tardío o Mioceno Inferior).

La concesión minera "Bella Rica" código 015 está delimitada por fallas de dirección NW-SE y buzamiento al SSW; la falla Río Margarita por el SW y falla Río Tenguel por el NE. Estas fallas son básicamente de edad Cenozoica, sin embargo, se reactivaron de manera periódica y originaron pronunciadas expresiones geomorfológicas.

Regionalmente la geología del área de estudio comprende las formaciones que se muestran en la **Figura 5**.



**Figura 5. Geología regional concesión minera "Bella Rica" código 015**

**Nota.** El mapa completo se puede ver en el **Anexo 2**.

#### 5.2.3.1. Llanura Aluvial (QLa)

Se extienden en los cambios de pendiente de los límites de la cordillera hasta el litoral, por debajo de los depósitos de piedemonte y recubriendo la base geológica de la planicie costanera. Las terrazas, conformadas por bloques, gravas, limos y arenas, son poco

desarrolladas. La potencia de estos depósitos puede alcanzar cientos de metros, dependiendo de la topografía del sustrato (INIGEMM, 2017).

#### **5.2.3.2. Abanico Aluvial (QAa)**

Formados en el contrafuerte de la cordillera, tienen la forma de abanicos con radios que varían de cientos de metros hasta algunos kilómetros, los principales son los formados por los ríos Tenguel, Bonito y Chaguana. La litología es heterogénea conformado por cantos rodados polilíticos englobados en una matriz areno-limo-arcillosa. Los poblados de Shumiral, Santa Marta y San Miguel de Brasil están asentados sobre estos depósitos (INIGEMM, 2017).

#### **5.2.3.3. Depósito Coluvial (Qc)**

Compuestos por fragmentos angulosos a sub-angulosos de tamaño variable entre bloques, gravas, arenas y limos. Se presentan como depósitos de piedemonte, alineados a lo largo de las riberas del río Jubones, en el cambio brusco de pendiente al inicio de la planicie costanera o como rellenos de micro cuencas interiores, en los flancos del levantamiento Narihuiña. Compuesto de cantos rodados sub-angulosos, semiredondeados, mal clasificados, predominan los clastos de lavas poligenéticas: basaltos meteorizados, fragmentos de riolita, ignimbrita, dacita, eventualmente sedimentos (lutitas y calizas negras). El material es semiconsolidado, en matriz areno-limo-arcillosa (INIGEMM, 2017).

#### **5.2.3.4. Grupo Saraguro (EMs)**

Comprenden: tobas andesíticas, soldadas, verdosas, con abundante plagioclasa, anfíbol y augita; tobas dacíticas, compuestas de feldespato, cuarzo, vidrio volcánico, anfíboles, piroxenos, en matriz de color marrón claro a violeta; tobas riolíticas, con cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, además de arcilla y calcita, sulfuros diseminados con malaquita y azurita, la roca está meteorizada; tobas brechosas, en afloramientos masivos de rocas volcanoclásticas dacíticas a riolíticas, con presencia de plagioclasa, cuarzo, vidrio volcánico, biotita y anfíboles, en sectores, presentan alteración hidrotermal moderada. Además, incluye material volcanosedimentario y cuerpos subvolcánicos riolíticos, dacíticos y andesíticos (INIGEMM, 2017).

#### **5.2.3.5. Formación Las Trancas (Est)**

Aflora en la cuenca alta del río Margarita y cuenca media del río Pagua. Se compone de tobas lapillíticas, andesíticas y dacíticas, brechas tobáceas, conglomerados con predominio de clastos metamórficos, areniscas y lutitas rojas. Tiene predominancia sedimentaria, estratificación de rumbo noroeste-sureste. Sobreyace discordantemente a la Formación Yunguilla y subyace a los volcánicos del Grupo Saraguro (INIGEMM, 2017).

#### **5.2.3.6. Formación Yunguilla (Ky)**

Esta unidad incluye limolitas, lutitas y areniscas finas, color gris oscuro. Las areniscas contienen cuarzo deformado y algo de muscovita detrítica, lo que podría indicar una fuente metamórfica. También se presenta como una secuencia de calizas negras, lutitas, limolitas y

areniscas; todo el paquete se encuentra altamente oxidado, plegado y fracturado por la acción que ejerce el sistema regional de la falla Jubones (INIGEMM, 2017).

#### **5.2.3.7. Unidad Pallatanga (KPa)**

Aflora en los sectores de Bella Rica – Tenguelillo, San Juan de Naranjillas, Muyuyacu, Narihuiña y, como ventanas erosionales, en las orillas del río Jubones. La unidad está constituida por una franja de flujos volcánicos y piroclastos de composición basáltica a andesítica como: basaltos, andesitas, andesitas basálticas, gabros, sedimentos silíceos finos y rocas corneanas. Es en esta unidad que se encuentra principalmente la mineralización de Bella Rica alojada en las Andesitas Basálticas donde el principal enjambre de vetas tiene un rumbo N a NW. Según Luzieux et al (2006), los basaltos de la unidad Pallatanga correspondiente al plateau oceánico tienen  $88 \pm 1.6$  Ma. La edad de acuerdo con estos estudios sería Cretácico superior (INIGEMM, 2017).

#### **5.2.3.8. Unidad Río Frío (KRf)**

Son pequeños cuerpos que afloran en el borde de los basaltos de la unidad Pallatanga al sur de Shumiral. Se compone de serpentinitas producto de uralitización de rocas basálticas y gabros, probablemente exhumadas por un sistema de fallas con dirección noroeste-sureste. Se interpreta a esta unidad como parte de la raíz del basamento oceánico (INIGEMM, 2017).

#### **5.2.3.9. Pórfidos Tonalíticos (Pt)**

Representados por los pórfidos de Gaby (UTM: 642500 E; 9662000 N), Papa Grande (UTM: 644200 E; 9661000 N), La Unión (UTM: 648691 E; 9663767 N) y pequeñas apófisis vecinos. Se trata de roca ígnea intermedia, con plagioclasas, cuarzo, anfíboles, biotita; además de ortosa, titanita, magnetita, zircón. Representa un intrusivo con múltiples pulsaciones magmáticas, con formación de stocks, diques y brechas de diatrema, de carácter intermedio a ácido. Están estrechamente relacionados con los yacimientos de minerales metálicos de Au, Cu, Mo presentes en la zona, en especial con los depósitos de Au actualmente en explotación. Dataciones en zircones (TIMS) sobre muestras de Gaby y Papa Grande, dieron edad de  $20.26 \pm 0.06$  Ma y  $19.89 \pm 0.06$  Ma, respectivamente. Cuerpos brechosos, se identifican tanto al interior del intrusivo, como en la roca encajante, las dimensiones son variables en ancho y en profundidad. Diques, resultantes de relleno de fallas y fisuras, se identifican en relación con los intrusivos ácidos, contienen mineralización polimetálica importante en especial de Au. Las brechas y diques constituyen la mena en las explotaciones mineras actuales (INIGEMM, 2017).

### 5.3. Metodología

Se definió y enlistó los materiales necesarios en base a cada una de las fases de la metodología que se llevó a cabo para alcanzar cada objetivo establecido en el trabajo de integración curricular, las fases que se incluyeron son:

**Fase de Campo.** En esta primera fase se llevó a cabo el levantamiento topográfico subterráneo que conduce al frente del crucero para obtención de distancias, cálculos del ciclo de laborero; y la medición del equipo y maquinaria disponible en mina para dimensionar el crucero correctamente. También, se llevó a cabo la recopilación de información en el área de estudio e incluyó actividades tales como: descripción de afloramientos en superficie y toma de muestras; descripción geológica y estructural y recolección de muestras de roca sobre el crucero de estudio (955), que luego se llevaron a laboratorio y se realizaron sus respectivos ensayos físico-mecánicos y de caracterización petrográfica (caracterización geomecánica).

**Fase de Laboratorio.** Los ensayos que se realizaron fueron: Peso específico aparente, peso específico real, porosidad, contenido de humedad y resistencia a la compresión simple de la roca; Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

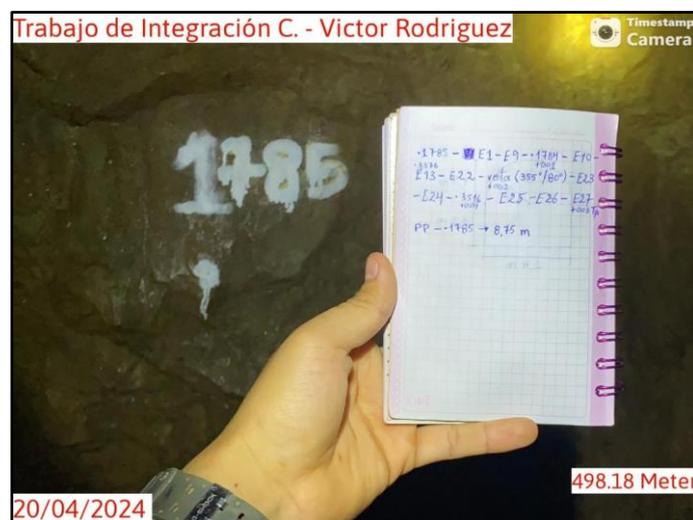
**Fase de Oficina.** En la fase de gabinete se construyó los mapas base topográficos y geológicos del área de estudio; Se realizó el diseño del crucero que comprendió de un plano con visualización de la distribución del mismo acorde al dimensionamiento del equipo a emplear en la construcción y continuidad del crucero; y un plano con el diseño de la malla de perforación y voladura para su excavación. También, en esta fase se utilizó todos los datos obtenidos de campo, laboratorio y datos históricos de la empresa para realizar los cálculos necesarios para el diseño completo del crucero (forma y dimensiones óptimas, pasaporte de perforación y voladura). Además, se planificó el ciclo de laboreo y el mismo se valoró en costos por metro. Esta fase terminó con la elaboración del informe del trabajo de integración curricular interpretando todos los resultados de la información recopilada en campo y laboratorio para la generación de las conclusiones y recomendaciones finales.

### 5.3.1. Metodología del Primer Objetivo

“Caracterizar geológica y geomecánicamente el macizo donde se proyecta la construcción del crucero”.

Este objetivo comprendió la caracterización geológica y geomecánica del macizo de la zona ya franqueada del crucero 955, como pilar técnico de información para el diseño de la longitud del crucero a completar para interceptar la veta SN01; Para ello también se levantó la topografía, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de la matriz rocosa y se realizó la respectiva clasificación de calidad del macizo rocoso.

**Levantamiento Topográfico Subterráneo.** Para el levantamiento se tomó como referencia el punto de control topográfico de la mina número 1785, ello por estar ubicado estratégicamente en las proximidades del crucero de estudio (Ver **Figura 6**). A partir de aquí se realizó el levantamiento mediante el uso de cinta y brújula hasta llegar al frente del crucero, cubriendo un total de 133 metros desde el punto 1785 al tope. Además, se tomaron datos como dimensiones, dirección y gradiente haciendo uso de las mismas herramientas. Los datos se registraron en la libreta de campo y se complementaron con información de topografía levantada con estación total por la empresa Minera El Paraíso.



**Figura 6.** Punto de topografía referencial 1785

**Levantamiento Topográfico Superficial.** La topografía en la superficie del área de estudio se realizó utilizando modelos de elevación digital (DEM) del satélite ALOS PALSAR, que cuentan con una resolución de 12.5 metros. Además, se usó un GPS Garmin 64xs para realizar el levantamiento de la vía de acceso a la Mina Paraíso y tomar coordenadas UTM WGS84 de los afloramientos que se describieron (Ver **Figura 7**). Finalmente, todos los datos del levantamiento topográfico de superficie como subterráneo más la información proporcionada por la empresa fueron ingresados y procesados en el programa de ofimática Excel 2016 y en los softwares especializados AutoCAD 2022 y ArcGIS (ArcMap 10.8) para la generación de los mapas finales de topografía en la proyección UTM y con el datum WGS84.



**Figura 7.** Levantamiento de puntos con GPS Garmin 64xs

**Caracterización Geológica Superficial.** Se realizó a través de recorridos en superficie y con las fichas de campo del **Anexo 15**, con ello se llevó a cabo la descripción de diez afloramientos entre naturales y artificiales encontrados en el área de estudio. En las fichas se realizó la identificación y descripción *in situ* de cada una de las litologías y estructuras presentes, se registró las medidas del afloramiento, coordenadas UTM WGS84, elementos de yacencia y se tomó datos relacionados a la hidrología, resistencia a la compresión simple y grado de meteorización a partir de índices de campo con las tablas de la metodología ISRM (1981) del **Anexo 16**. Para este propósito, se empleó herramientas como flexómetro, spray, brújula, GPS Garmin 64xs, martillo geológico y ácido clorhídrico al 10%, que se utilizó para determinar la presencia de ciertos minerales carbonatados en las rocas.

Lo que permitió identificar las condiciones geológicas particulares de Mina Paraíso y a su correlación con la Hoja Geológica Machala 2017.



**Figura 8.** Caracterización geológica superficial

Adicional, se recogieron muestras de roca de los afloramientos 1, 2, 5, 7 y 10 en las que se realizó la descripción petrográfica en laboratorio.

**Caracterización Geológica Subterránea (Crucero 955).** Para la caracterización geológica subterránea se recolectó 4 muestras a lo largo de la zona ya franqueada del crucero de estudio en puntos equidistantes debido a la no presencia de cambios litológicos (Ver **Figura 9**). Posteriormente se realizó la descripción petrográfica de las mismas en laboratorio con la finalidad de determinar el tipo de roca que se tiene presente en la zona de estudio.

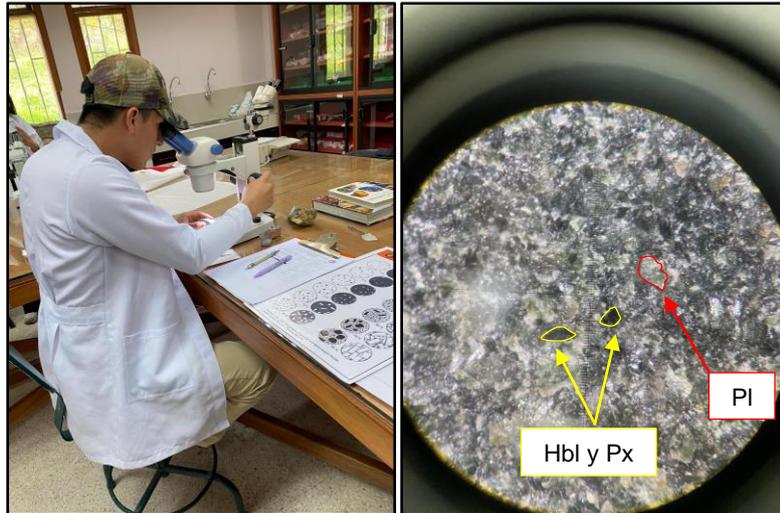
Además, durante el levantamiento topográfico con el uso de la brújula se levantó las distintas estructuras interceptadas tomando su azimut, buzamiento y dirección de buzamiento, lo que ayudó a completar el mapeo geológico de la zona donde se ubica el crucero.



**Figura 9.** Muestreo para caracterización geológica subterránea

**Descripción Petrográfica.** Se realizó en laboratorio utilizando las fichas del **Anexo 17** mediante la observación macroscópica de las muestras y el análisis microscópico (Ver **Figura 10**), esto con el objetivo de conocer más a detalle la composición, color, estructura, textura e identificar el tipo de roca presente en el área de estudio para corroborar con la información levantada en campo. Para ello se utilizó lupa, microscopio, rayador geológico, ácido clorhídrico al 10%, el diagrama de estimación visual de porcentajes de minerales y el diagrama de Streckeisen o diagrama QAPF para rocas ígneas extrusivas del **Anexo 18**.

Una vez se completó el levantamiento de los datos geológicos en campo y laboratorio, los mismos se ingresaron e interpretaron con ayuda del programa de ofimática Excel 2016 y el software especializado ArcGIS (ArcMap 10.8) en la fase de oficina con lo cual se generó el mapa de la geología local de la mina con la proyección UTM y con el datum WGS84.



**Figura 10.** Descripción petrográfica de muestras de roca

**Nota.** Pl: Plagioclasa, Hbl: Hornblenda, Px: Piroxeno, Agt: Augita.

**Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso.** Se llevó a cabo en 15 estaciones geomecánicas cada 10 metros a lo largo de la longitud ya franqueada del crucero 955, misma información que sirvió como referencia en el diseño de la longitud faltante para interceptar la veta SN01. La distancia se estableció luego de observar que la zona no presentaba mayores cambios estructurales en el macizo rocoso. Para el levantamiento de la información se utilizó las fichas del **Anexo 19** y el método de mapeo geomecánico por celdas o ventanas estructurales (Sampling Window). Para ello las celdas se delimitaron en un área específica de 1 m<sup>2</sup> cada una con ayuda del flexómetro y pintura en spray, luego, se identificó todas las discontinuidades o estructuras que interceptan o atraviesan dicho espacio y se estableció valorizaciones de sus características de acuerdo a los sistemas de clasificación geomecánica RMR 89 y Q de Barton (correlación RMR), mismos que relacionan varios parámetros de la roca como el RQD, resistencia a la compresión simple, separación, condiciones de las discontinuidades (longitud, apertura, rugosidad, meteorización y relleno), presencia de agua y la corrección por la orientación de las discontinuidades (Ver **Figura 11**).

**RMR.** Para el cálculo del RMR 1989 se utilizó la siguiente fórmula:

$$RMR_{89} = V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6$$

Donde:

RMR<sub>89</sub>: Valor de calidad del macizo rocoso desde 0 (muy mala) a 100 (muy buena).

V1: Resistencia matriz.

V2: RQD.

V3: Separación de las discontinuidades.

V4: Estado de las discontinuidades.

V5: Flujo de agua.

V6: Corrección por la orientación de las discontinuidades.

Las valorizaciones correspondientes se darán de acuerdo a la tabla del **Anexo 20**.



**Figura 11.** Caracterización geomecánica del macizo rocoso

**Índice RQD.** Se determinó el RQD como parámetro (V2) para el RMR<sub>89</sub>, para ello se utilizó el conteo volumétrico de las juntas en el macizo rocoso en cada una de las ventanas definidas, utilizando la fórmula de Palmstrom (1982).

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot Jv$$

Donde, Jv es el número de juntas por metro cúbico y se calcula con la fórmula:

$$Jv = \sum \frac{1}{S_i}$$

Donde, S es el espaciamiento (m) promedio de cada familia de discontinuidades.

Por último, se definió el índice de calidad de la roca de acuerdo a la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Índice de calidad de la roca RQD

RQD %	Calidad	Clase
< 25	Muy mala	V
25-50	Mala	IV
50-75	Media	III
75-90	Buena	II
90-100	Muy buena	I

**Nota.** Tomado de Deere et al. (1967, como se citó en González de Vallejo et al., 2002).

Una vez obtenido los valores V1 al V6, se calculó el valor de RMR<sub>89</sub> y se determinó la clasificación geomecánica del macizo rocoso según las clases que se indican en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** Clasificación Geomecánica RMR Bieniawski (1989)

Puntuación RMR	Calidad	Clase
81-100	Muy buena	I
61-80	Buena	II
41-60	Media	III
21-40	Mala	IV
< 20	Muy mala	V

**Nota.** Tomado de Bieniawski (1989, como se citó en González de Vallejo et al., 2002).

**Q de Barton.** Para el cálculo del valor de calidad del macizo rocoso según Barton se usó la correlación de  $RMR_{89}$  a Q de Barton a través de la siguiente fórmula:

$$RMR_{89} = 9LnQ + 44$$

Despejando la fórmula para su aplicación quedó de la siguiente manera:

$$Q = e^{\frac{RMR_{89}-44}{9}}$$

Donde:

Q: Valor que mide la calidad del macizo rocoso de 0,001 (mala) a 1000 (buena).

$RMR_{89}$ : Valor del RMR 89.

Después de realizado el cálculo de Q, se determinó la clasificación geomecánica del macizo rocoso en cada estación según la **Tabla 6**.

**Tabla 6.** Clasificación geomecánica Q de Barton

Puntuación Q	Calidad
0.001-0.01	Excepcionalmente mala
0.01-0.1	Extremadamente mala
0.1-1	Muy mala
1-4	Mala
4-10	Media
10-40	Buena
40-100	Muy buena
100-400	Extremadamente buena
400-1000	Excepcionalmente buena

**Nota.** Tomado de Barton et al. (1974, como se citó en González de Vallejo et al., 2002).

**GSI.** Este valor se determinó de dos maneras para corroboración. La primera, en campo durante la caracterización geomecánica haciendo uso del **Anexo 21**.

La segunda a través de la correlación de GSI con  $RMR_{89}$  con la siguiente fórmula:

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

Donde  $RMR_{89}$  es el valor obtenido del  $RMR_{89}$ .

**Determinación de las Características Físico – Mecánicas de la Roca.** Se determinó mediante ensayos en las cuatro muestras de roca obtenidas en interior mina. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Mecánicas de Rocas de la Universidad Nacional de Loja, y para llevarse a cabo se usó las normas de estandarización ASTM D420 teniendo como guía el Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Rocas de Vásquez (2019). Los datos que se obtuvieron se pueden visualizar en el **Anexo 22**. Las propiedades obtenidas se describen a continuación:

#### Propiedades Físicas

**Peso Específico Aparente.** Para la obtención de este parámetro primero se tomó un fragmento de roca y se lo pesó con la balanza electrónica para obtener el peso de la muestra. Segundo se sumergió la muestra de roca en agua en un vaso de precipitación durante 24 horas. Luego, se retiró la muestra del agua y se secó su superficie con un paño húmedo,

evitando tener pérdidas por adsorción y teniendo cuidado de no quitar el agua en el interior de la roca. Seguido, se pesó la muestra con la balanza para registrar el peso saturado.

El peso sumergido se obtuvo sumergiendo la muestra dentro de un vaso precipitado suspendido en nailon que se sujetó debajo de la balanza. Finalmente, se midió el peso seco de la muestra luego de secar en el horno durante 24 horas a una temperatura de 105 °C.

El procedimiento mencionado se representa en la **Figura 12**.



**Figura 12.** Procedimiento para determinar el peso específico aparente

Ya con los datos obtenidos se aplicó la siguiente fórmula para la obtención del peso específico aparente:

$$\rho_a = \frac{W_{seco}}{W_{saturado} - W_{sumergido}} \cdot \rho_w$$

Donde:

$W_{seco}$ : Peso de la muestra luego de secar en el horno (g).

$W_{saturado}$ : Peso de la muestra luego de 24 horas sumergida en agua (g).

$W_{sumergido}$ : Peso de la muestra sumergida en agua (g).

$\rho_w$ : Peso específico del agua; se tomó en cuenta la temperatura ambiente de la ciudad de Loja 18° C, lo que equivale a 0.99862 (g/cm<sup>3</sup>).

**Peso Específico Real.** Para la obtención de este parámetro primero se trituraron las muestras de roca y se pasaron por un tamiz hasta la malla 200 para obtener al menos 30 gramos de cada muestra con un tamaño de partículas de 75  $\mu m$ . Seguidamente se midió los pesos del picnómetro y del picnómetro lleno de agua. A continuación, se introdujo 30 gramos de muestra tamizada dentro del picnómetro con agua y se lo agitó, con el fin de impedir que una porción de la muestra quede adherida a las paredes. Adicional, con la ayuda de una bomba de succión se eliminó las burbujas de aire que quedaron atrapadas en el recipiente.

Finalmente, con el líquido y muestra dentro del picnómetro en reposo, se midió el peso nuevamente, y se calculó el peso específico real con la siguiente expresión:

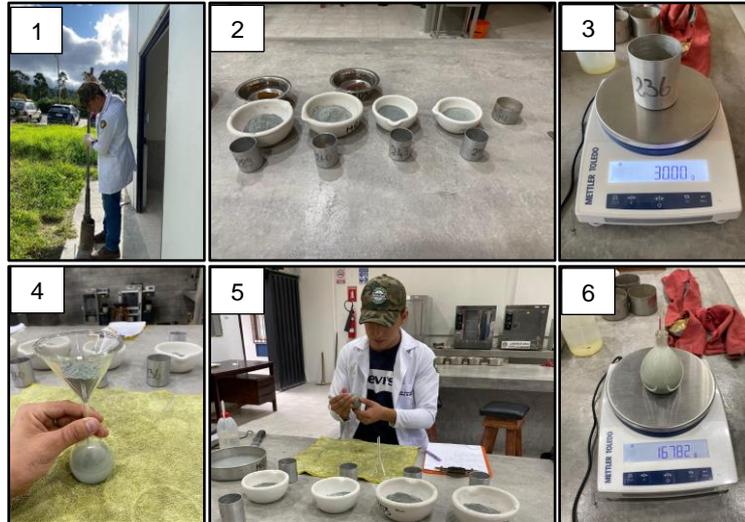
$$\rho_r = \frac{W_{pulverizado}}{W_2 + W_{pulverizado} - W_1} \cdot \rho_w$$

Donde:

$W_2$ : Peso del picnómetro con agua (g).

$W_1$ : Peso del picnómetro con agua y muestra tamizada a malla 200 (g).

El procedimiento para obtener el peso específico real se muestra en la **Figura 13**.



**Figura 13.** Procedimiento para determinar el peso específico real

**Porosidad.** Para determinar la porosidad en porcentaje de vacíos se utilizó los valores obtenidos de peso específico aparente y peso específico real en la siguiente fórmula:

$$n = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) \cdot 100$$

Donde:

$\rho_a$ : Peso específico aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

$\rho_r$ : Peso específico real ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

**Contenido de Humedad.** Se determinó el contenido de humedad a partir de una muestra de al menos 50 gramos. Para ello, se pesó cada muestra de roca en estado natural, posteriormente las muestras se secaron en el horno a una temperatura de  $105\text{ }^\circ\text{C}$  por un tiempo de 24 horas y se las pesó nuevamente. Finalmente, los valores obtenidos se aplicaron en la siguiente fórmula y se obtuvo el contenido de humedad:

$$\text{Humedad} = \frac{W_{muestra} - W_{seco}}{W_{seco}} \cdot 100$$

Donde:

$W_{muestra}$ : Peso de la muestra en estado natural (g).

### **Propiedades Mecánicas.**

**Resistencia a la Compresión Uniaxial o Simple (RCS).** Para obtener la resistencia a la compresión simple de la roca se cortó cada una de las muestras recolectadas para obtener muestras de forma cúbica de  $50 \times 50 \times 50$  milímetros. Con estas se realizó los ensayos

en la máquina de compresión del Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Universidad Nacional de Loja. Para ello, primero se pesó y registró las medidas del largo, ancho y altura de cada cubo con ayuda del calibrador digital y balanza electrónica. Luego, se colocó cada cubo en la prensa hidráulica configurándola con un límite de rotura de 10 minutos y con una velocidad de aplicación de fuerza de 0,5 a 1 Mpa/s. Cuando la muestra se fracturó o falló a compresión se detuvo la máquina y se tomó como datos la fuerza aplicada por la misma hasta el momento que falló y el área de la muestra que se ve en la interfaz de la máquina.

Finalmente, se calculó el valor de la resistencia a la compresión simple aplicando la siguiente fórmula:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \cdot 1000$$

Donde:

$\sigma_c$ : Resistencia a la compresión simple (Mpa).

$F$ : Fuerza aplicada hasta el momento de rotura (kN).

$A$ : Área o sección transversal del cubo (mm<sup>2</sup>).

En la **Figura 14** se muestra el procedimiento que se realizó para el ensayo de resistencia a la compresión simple.



**Figura 14.** Procedimiento para determinar la resistencia a compresión

### 5.3.2. Metodología del Segundo Objetivo

“Analizar las variables geométricas para el diseño del crucero 955, en base a factores geológico-mineros y minero-técnicos”.

Para el cumplimiento de este objetivo se tomó como base la mayoría de los datos y análisis de los resultados obtenidos en el primer objetivo. Además, se tomaron en cuenta las características de los equipos disponibles en mina para el laboreo, esta información se obtuvo directamente de la empresa, de fichas técnicas de los fabricantes de maquinaria y de la medición de dimensiones realizadas en campo con ayuda de un flexómetro.

**Selección de la Forma del Crucero.** Se definió para resistir eficientemente las presiones mineras del sitio y de acuerdo a la clasificación geomecánica del macizo rocoso, para ello se tomó en cuenta un análisis de factores técnicos mineros y geológicos como:

- Tiempo de servicio y función a desempeñar.
- Materiales de fortificación.
- Intensidad de tensiones.

#### ***Intensidad de tensiones.***

El máximo esfuerzo vertical a producirse en el techo del crucero se calculó con la metodología de Hoek y Brown (1980) utilizando la siguiente fórmula:

$$\sigma_v = \gamma * z$$

Donde:

$\gamma$ : peso específico de la roca sobre el crucero (MN/m<sup>3</sup>).

$z$ : profundidad máxima a la que se encuentra la excavación (m).

El esfuerzo horizontal se determinó a través de la correlación con la constante  $k$  según la metodología de Hoek y Brown (1980) con la siguiente fórmula:

$$\sigma_h = k * \sigma_v$$

Donde:

$k$ : relación entre el esfuerzo vertical y esfuerzo horizontal.

La relación de tensiones  $k$  se definió con el modelo desarrollado por Sheorey (1994), este usa la siguiente fórmula:

$$k = 0.25 + 7E_h \left( 0.001 + \frac{1}{z} \right)$$

Donde:

$E_h$ : módulo elástico de la roca (GPa).

El módulo de deformación elástico ( $E_h$ ) de la roca se estimó utilizando la fórmula propuesta por Serafim y Pereira (1983):

$$E_h = 10^{\frac{RMR-10}{40}}$$

Donde, RMR es el valor obtenido de la clasificación geomecánica RMR<sub>89</sub>.

Finalmente, la forma óptima de la excavación se seleccionó teniendo en cuenta los factores anteriores y según la de la forma ideal del túnel frente a las condiciones del terreno de acuerdo a RMR propuesta por Lawson y Bieniawski (2013).

**Tabla 7.** Forma ideal del túnel frente a las condiciones del terreno (RMR)

Terreno	Forma	Comentarios
RMR>50	Forma en D con los hastiales verticales o inclinados y curva invertida.	Fácil de construir
RMR 30 a 50	Forma de herradura con hastiales curvos	Reduce el costo de soporte a los costados
RMR 20 a 30	Forma de herradura con hastiales curvados e invertidos	Una capa de shotcrete invertida puede ser más económica que la colocación de pernos de forma invertida
RMR 10 a 20	Forma hecha de 3 o más curvas	Usualmente 3 arcos curvos de compresión, 5 arcos curvos
RMR<10	Circular	

**Nota.** Tomado de Lawson y Bieniawski (2013), como se citó en Peralta (2023).

**Dimensionamiento del Crucero.** Las medidas correspondientes para el ancho y alto del crucero se establecieron mediante las dimensiones máximas del sistema de transporte disponible en mina, el espacio de seguridad entre la fortificación (en caso de requerirse) y extremo de la cuneta o durmientes, espacio para el paso de personal (ergonómico) y el espacio para la instalación de servicios. Las formulaciones aplicadas están basadas en las metodologías de Blanco Torrens (2002) y Guzmán Adán (2019).

**Ancho de Excavación del Crucero.** Se determinó mediante el uso de la siguiente fórmula considerando que la altura del hastial es menor que la del transporte al nivel del piso:

$$2a = m + KA + p + n + a_1 + a_2$$

Donde:

m: distancia desde la pared o sostenimiento al extremo de la cuneta o durmientes (m).

K: número de vías.

A: ancho del sistema de transporte utilizado (m).

p: espacio entre medios de transporte si hay más de una vía (m).

n: espacio para permitir el paso del personal (m).

a<sub>1</sub>: ensanchamiento de la excavación por el lado de transportación (m).

a<sub>2</sub>: ensanchamiento por el lado de paso de personal (m).

Para el cálculo de los valores a<sub>1</sub> y a<sub>2</sub> se usó las siguientes fórmulas:

$$a_1 = (h_0 - h_1) \tan \alpha_1$$

$$a_2 = (h_p - h_1) \tan \alpha_1$$

Donde:

$h_0$ : altura del medio de transporte al nivel del piso del crucero (m).

$h_p$ : altura de paso libre del personal (m).

$h_1$ : altura del hastial (m).

$\alpha_1$ : ángulo de transición de la parte recta de los apoyos a la curva (habitualmente se toma  $\alpha_1 = 10-20$  grados).

Para el cálculo de los valores  $h_0$  y  $h_p$  se usó las siguientes fórmulas:

$$h_0 = h_2 + h_B + h_R$$

$$h_p = 1.8 + h_B$$

$h_2$ : altura del medio de transporte desde la cabeza de los rieles (m)

$h_B$ : espesor de la capa de balasto (m).

$h_R$ : altura desde la capa de balasto a la cabeza de los rieles (m).

**Altura de Excavación del Crucero.** Se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$h = \frac{2a}{2} + 1,3$$

Donde:

$2a$ : ancho de excavación del crucero (m).

**Altura de la Bóveda.** Se determinó con la siguiente fórmula (arco de medio punto), en este caso la altura de la bóveda también será igual al radio de la misma:

$$h_3 = r = \frac{2a}{2}$$

**Sección de Excavación.** Es el área de diseño del crucero. Se calculó de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$A_1 = h_1 * 2a$$

$$A_2 = \frac{\pi * r^2}{2}$$

$$A_E = A_1 + A_2$$

Donde:

$h_1$ : altura del hastial (m).

**Sección Óptima.** De acuerdo a Guzmán Adán (2019) la sección óptima se considera a la sección de excavación menos el área que ocupa el sostenimiento, y que será igual a la sección de excavación en caso de que no se requiera fortificar.

**Sección de Explosión.** De acuerdo con Guzmán Adán (2019) es la sobre excavación que se produce por la voladura y se determinó con la siguiente fórmula:

$$A_{exp} = A_E * 1.05$$

Donde:

$A_E$ : área de excavación (m<sup>2</sup>).

**Selección del Sistema de Transporte.** Se tomó en cuenta algunos criterios para determinar el tipo de transporte a utilizar.

- Geometría del yacimiento.
- Sistema de explotación.
- Producción requerida.
- Granulometría.
- Características del material a tratar.
- Gradiente.

**Sistema de Transporte Férreo.** Para los cálculos se consideró las características de la maquinaria de transporte (locomotoras, vagones y plataformas), la producción minera, los materiales y las normas para construcción de vías férreas indicadas por América Railway Engineering and Maintenance of Way Association (2010) y Ministerio De Transporte de Colombia (2013) como se citó en Peralta (2023). Las fórmulas se presentan a continuación:

$$q = 9 \left( \frac{P}{2} + 0.00003861 * \frac{P * V^2}{2} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

q: peso por cada metro lineal de riel (kg).

V: velocidad máxima del transporte (km/h).

P: carga por eje del transporte más pesado (t).

$$IF = \frac{33V * 1.6093}{100D * \frac{2.54}{100}}$$

Donde:

IF: factor de impacto de la locomotora.

V: velocidad máxima de la locomotora (km/h).

D: diámetro de la rueda de la locomotora (m).

$$ABP = \frac{\left[ 2P \left( 1 + \frac{IF}{100} \right) \left( \frac{DF}{100} \right) \right]}{A * 0.092}$$

Donde:

ABP: presión media del balasto en la cara de la traviesa.

P: carga por eje (t).

IF: factor de impacto de la locomotora%.

DF: factor de distribución %.

A: área de la cara del durmiente (m<sup>2</sup>).

El valor del factor de distribución se tomó en cuenta con base en el material y distancia de centro a centro de los durmientes escogidos (madera) y según la metodología de América Railway Engineering and Maintenance of Way Association (2010).

$$h = \left( \frac{16.8 * p_a}{p_c} \right)^{\frac{4}{5}}$$

Donde:

h: profundidad del balasto bajo la traviesa (in).

p<sub>c</sub>: presión de apoyo en la subbalasto para un FS=2 (PSI)

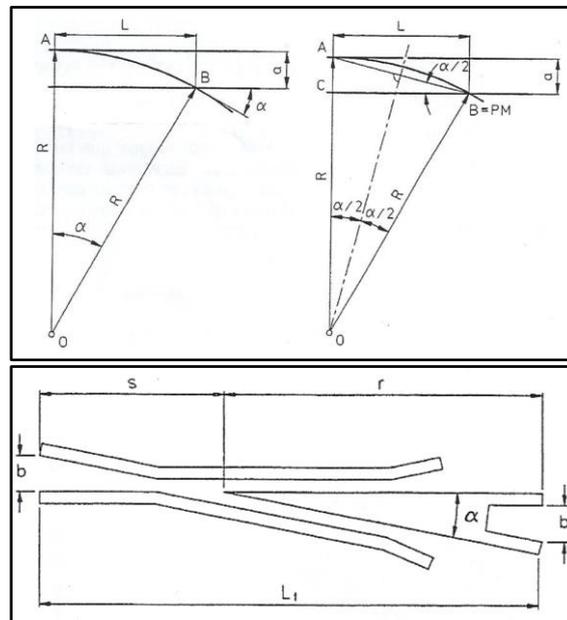
p<sub>a</sub>: presión distribuida uniformemente sobre la cara de la traviesa (PSI)

**Gradiente.** De acuerdo con Salinas (1998) las excavaciones horizontales serán franqueadas con pendientes máximas de 3% a 4 %, pero generalmente se desarrollan con pendientes de entre 0.5 % a 1% suficientes para el drenaje del agua.

**Diseño de Refugios Peatonales y Ensanches Para Vagones.** El refugio peatonal se diseñó de acuerdo a las medidas del “Reglamento de seguridad y salud en el trabajo en el ámbito minero” expedido por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2020). Además, se diseñó para albergar vagones y ser funcional en las actividades de carga-acarreo del ciclo de laboreo del franqueo del cruceo.

**Dimensionamiento del Ensanche.** Para las dimensiones del ancho y longitud del ensanche se consideró las características operativas para el correcto ingreso de los vagones y la altura óptima para el ingreso de personas de pie.

**Cálculos del Desvío.** Los cálculos de los cambios de dirección se hicieron en base a la metodología de Jiménez (2013) en su Estudio De Los Desvíos Ferroviarios (Ver **Figura 15**).



**Figura 15.** Diseño de un desvío y corazón recto

**Nota.** Tomado de Jiménez (2013).

Las fórmulas que se usaron se presentan a continuación:

$$R = \frac{V^2}{a}$$

Donde:

R: radio de giro del desvío (m).

V: velocidad de ingreso al ensanche (m/s).

a: aceleración al ingresar al ensanche (m/s<sup>2</sup>).

$$L^2 = 2 * \alpha * R$$

Donde:

$L^2$ : distancia entre el eje de la vía directa y la punta del corazón recto.

$\alpha$ : ángulo interno del ingreso al desvío ( $^\circ$ ).

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{L}$$

Donde:

$\alpha$ : ángulo interno del ingreso al desvío ( $^\circ$ ).

$$s = \frac{b}{\tan(\alpha)}$$

Donde:

s: distancia que va desde el extremo del corazón al tramo final de la laguna.

$$r = \frac{b + 2 * c}{\tan(\alpha)}$$

Donde:

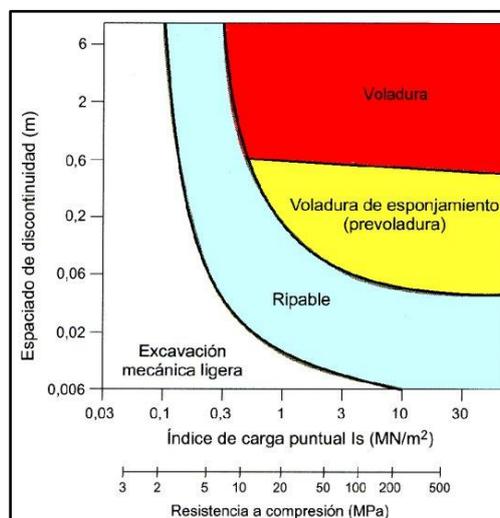
r: distancia comprendida desde el extremo final de corazón.

$$L_t = \frac{2 * (b + c)}{\tan(\alpha)}$$

Donde:

$L_t$ : longitud total de diseño del corazón.

**Elección del Tipo de Arranque.** Para ello se tomó en cuenta valores como el espaciamiento promedio de diaclasas y la resistencia a compresión simple de la roca según la **Figura 16** correspondiente a la metodología de Franklin et al. (1971).



**Figura 16.** Clasificación de los macizos rocosos para su excavación

**Nota.** Tomado de Franklin et al. (1971).

**Pasaporte de Perforación y Voladura.** Una vez se definió la forma y dimensión del crucero, se calculó su pasaporte de perforación y voladura para que su diseño final y construcción en campo sea el óptimo. Para ello, se empleó la nomenclatura de esquemas y

cargas de Roger Holmberg la cual toma en cuenta parámetros controlables como burden, dimensión de los taladros, tipo de arranque, tipo de explosivo, dimensiones de la labor y parámetros no controlables como peso específico de la roca, valorizaciones de RMR y valorizaciones Q de Barton. Las fórmulas usadas se detallan a continuación:

**Diámetro Equivalente o Barreno Vacío.** En la metodología empleada cuando no se usa un taladro vacío de mayor diámetro como alivio, sino varios taladros de menor diámetro, se puede calcular su diámetro equivalente a partir de la siguiente fórmula:

$$\phi_2 = \phi_1 * \sqrt{N}$$

Donde:

$\phi_1$ : diámetro de los barrenos de alivio.

N: número de barrenos de alivio o sin carga en el arranque.

**Longitud de Perforación.** El diseño del pasaporte de perforación y voladura se realizó en base a una longitud teórica máxima de barreno el cual se calculó con la siguiente fórmula:

$$H = 0.15 + 34.1 * \phi_2 - 39.4\phi_2^2$$

Donde:

H: longitud teórica de barreno con respecto al diámetro equivalente (m).

**Avance Efectivo.** Según López Jimeno (2004) el avance de las voladuras está limitado por el diámetro del barreno de alivio y la desviación de los barrenos no cargados. Siempre que esta última se mantenga por debajo del 2% los avances teóricos pueden llegar al 95% de la profundidad de los barrenos. Por ello para el cálculo se usó la siguiente fórmula:

$$L = 0.95 * H$$

Donde:

L: avance por voladura estimado (m).

H: longitud práctica de perforación (m).

**Error de perforación.** El error de perforación se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Ep = \alpha * H + e'$$

Donde:

Ep: error de perforación (m).

$\alpha$ : desviación angular (m/m).

e': error de emboquillaje (m).

H: profundidad de perforación (m).

**Selección del Tipo de Explosivo.** Se calculó de acuerdo a la metodología de López Jimeno (2004) quien menciona que, en términos generales, se emplean explosivos más densos, como los gelatinosos e hidrogeles, en la parte más profunda de los barrenos, donde se necesita una mayor concentración de energía para la fragmentación de la roca. Y, por otro

lado, en las cargas de columna se utilizan explosivos menos densos, como los pulverulentos y los basados en ANFO.

Además, de tomar en cuenta criterios minero-técnicos y geológicos de la zona de franqueo del crucero como la presencia de agua, calidad de humos y resistencia de la roca, la selección del explosivo a utilizar se basó también en el criterio de equilibrio de impedancia entre el explosivo y la roca de la metodología de Mendoza et al. (2020), donde la impedancia del explosivo nunca tiene que ser mayor a la de la roca para evitar sobre excavación. Este criterio se fundamenta en la aplicación de modelos matemáticos que correlacionan las ondas longitudinales o de compresión (también conocidas como Ondas P), la densidad de la roca, la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. Los cálculos se realizaron con las siguientes fórmulas:

$$Vop = (1000 * \ln Q) + 3500$$

$$\text{Impedancia del explosivo} = \rho_e * VoD$$

$$\text{Impedancia de la roca} = \rho_r * Vop$$

$$\text{Impedancia del explosivo} < \text{Impedancia de la roca}$$

Donde:

$\rho_e$ : densidad del explosivo (g/cm<sup>3</sup>).

$\rho_r$ : densidad de la roca (g/cm<sup>3</sup>).

VoD: velocidad de detonación del explosivo (m/s).

VoP: velocidad de la onda P (m/seg).

Q: índice de calidad del macizo rocoso según Barton.

**Selección del Sistema de Iniciación.** Se eligió según el tipo de minería del proyecto en el que se va a aplicar, la variable económica, compatibilidad con explosivos y de acuerdo a sistemas que tengan éxito comprobado en minas de condiciones similares.

**Diseño del esquema de Perforación y Voladura.** El burden, espaciamiento y las longitudes de carga explosiva y taco se calcularon según 5 secciones en el frente de excavación: Arranque, arrastre o zapateras, corona o techo, ayudas y hastiales.

**Tabla 8.** Distribución de carga en columna, fondo y taco para las diferentes secciones

Tipo	Arranque	Zapateras	Corona	Ayuda Hastial	Ayuda Corona	Hastiales
Lcc	H-(Lcf+T)	H-(Lcf+T)	H-(Lcf+T)	H-(Lcf+T)	H-(Lcf+T)	H-(Lcf+T)
Lcf	H/3	H/3	H/6	H/3	H/3	H/6
T	10*D <sub>1</sub>					

**Nota.** Tomado de Roger Holmberg (1982), como se citó en Jiménez (2021).

Donde:

Lcc: Longitud de Carga en Columna.

Lcf: Longitud de Carga en Fondo.

T: Taco o Retacado.

H: Profundidad de perforación.

D<sub>1</sub>: Diámetro de perforación.

**Concentración Lineal de Carga.** La concentración lineal de carga de un determinado explosivo se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$q = \rho_e * \frac{\pi * (\phi_e)^2}{4} * 10^{-3}$$

Donde:

q: concentración lineal de carga (kg/m).

$\rho_e$ : densidad del explosivo (g/cm<sup>3</sup>).

$\phi_e$ : Diámetro del explosivo (mm).

**Selección del Tipo de Arranque o Cuele.** Se seleccionó de acuerdo al tipo de roca y según las recomendaciones en López Jimeno (2004) sobre eficiencia y avance efectivo logrado por voladura realizada.

**Consumo Específico de Explosivo.** El consumo específico o factor de carga estimado se calculó según la Metodología Española con la siguiente fórmula:

$$SE = \frac{10}{A_T} + 0,6 \times A \times B \times C$$

Donde:

SE: consumo específico de sustancia explosiva (kg/m<sup>3</sup>).

A<sub>T</sub>: área de excavación (m<sup>2</sup>).

A, B y C: constantes de la roca y explosivo según metodología española.

También se calculó según la metodología de Langefors y Kihlström con la fórmula:

$$SE = \frac{14}{A_T} + 0.8$$

**Diseño del Arranque.** El burden máximo y el burden práctico para el primer cuadrante se calculó mediante las siguientes fórmulas considerando una desviación de perforación mayor a 1% por ser una perforación manual:

$$B_{m\acute{a}x} = 1.7 * D_2$$

$$B_{pr\acute{a}c} = B_{m\acute{a}x} - E_p$$

Donde:

E<sub>p</sub>: error de Perforación (m).

D<sub>2</sub>: diámetro equivalente.

El ancho de abertura generado por la primera sección "Ah<sub>0</sub>" se calculó sobre la base de la siguiente fórmula:

$$Ah_0 = \sqrt{2} * B_{pr\acute{a}c}$$

Donde:

Ah<sub>0</sub>: ancho generado por el primero cuadrante.

A partir de ese punto, para calcular los cuadrantes restantes del arranque, se tomó en cuenta la existencia de huecos rectangulares ya creados "Ah" y se conocen las concentraciones lineales de carga "q".

El valor del burden máximo de los cuadrantes dos, tres y cuatro se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$B_{m\acute{a}x} = 8.8 \times 10^{-2} \times \sqrt{\frac{Ah_0 \times q \times PRP_{anfo}}{D_1 \times c}}$$

Donde:

Ah: ancho de abertura anterior creado.

PRP<sub>anfo</sub>: potencia relativa en peso referida al Anfo.

D<sub>1</sub>: diámetro de perforación.

c: constante de la roca.

Al ancho generado por los cuadrantes dos, tres y cuatro se calculó con la siguiente fórmula:

$$Ah_i = B'_{pr\acute{a}c} + \left(\frac{Ah'}{2}\right) * \sqrt{2}$$

Donde:

Ah': ancho generado del cuadrante anterior.

B<sub>práctico</sub>': burden práctico del cuadrante.

La constante de la roca se calculó en base de la siguiente fórmula propuesta por Langefors en 1963:

$$c = 0.8784 * CE + 0.0052$$

Donde CE es el consumo específico de explosivo y se calculó con la siguiente fórmula:

$$CE = \frac{0.56 * \rho_r * \tan\left(\frac{GSI + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - RQD}{3.3}}}$$

Donde:

CE: consumo específico.

GSI: índice geological strength index.

RQD: índice rock quality designation.

pr: peso específico aparente de la roca.

**Diseño de Zapateras, Hastiales, Corona y Ayudas.** El cálculo del burden, espaciamiento y número de perforaciones de las demás secciones de excavación se realizó con las fórmulas presentadas en las **Tabla 9**, **Tabla 10** y **Tabla 11**.

**Tabla 9.** Fórmulas para el cálculo de la zapatera

Parámetro	Zapateras	Unid
$B_{m\acute{a}x}$	$0.9 * \sqrt{\frac{q_1 * PRP_{anf\acute{o}}}{C' * f * S/B}}$	m
$B_{pr\acute{a}c}$	$B_{m\acute{a}x} - H * \text{sen}(\gamma) - Ep$	m
E	$\frac{2a + 2H * \text{sen}(\gamma)}{N_b - 1}$	m
$E_e$	$E - H * \text{sen}(\gamma)$	m
$N_B$	$\frac{2a + 2H * \text{sen}(\gamma)}{B_{m\acute{a}x} * S/B} + 2$	unid
C'	$C + 0.07/B$	adm
F	1.45	adm
S/B	0.8	adm

**Nota.** Tomado de Roger Holmberg (1982), como se citó en Jiménez (2021).

**Tabla 10.** Fórmulas para el cálculo de los hastiales

Parámetro	Hastiales	Unidades
$B_{m\acute{a}x}$	$0.9 * \sqrt{\frac{q_1 * PRP_{anf\acute{o}}}{C' * f * S/B}}$	m
$B_{pr\acute{a}c}$	$B_{m\acute{a}x} - H * \text{sen}(\gamma) - Ep$	m
E	$0.3345 * h_1$	m
$N_B$	$\frac{h_1}{S/B} + 2$	unid
S/B	1.25	adm
F	1.45	adm
C'	$c + \frac{0.07}{B}$	kg/m <sup>3</sup>
B	$0.6 * H$	m

**Nota.** Tomado de Roger Holmberg (1982), como se citó en Jiménez (2021).

**Tabla 11.** Fórmulas para el cálculo de la corona

Parámetro	Corona	Unidades
$B_{m\acute{a}x}$	$\frac{E}{S/B}$	m
$B_{pr\acute{a}c}$	$B_{m\acute{a}x} - H * \text{sen}(\gamma) - Ep$	m
E	$K * D_1$	m
$N_B$	$\frac{2a}{B_{m\acute{a}x} * S/B} + 2$	unid
K	15, 16	adm
S/B	0.8	adm

**Nota.** Tomado de Roger Holmberg (1982), como se citó en Jiménez (2021).

Donde:

E: espaciamiento entre barrenos.

E<sub>b</sub>: espaciamiento entre barrenos en las esquinas (zapateras).

γ: representa el ángulo de los barrenos de contorno en radianes, considerando un realce de 3° para un avance de 1.8 m (0.052 rad).

D<sub>1</sub>: diámetro de perforación.

K y S/B: constante y relación espaciamiento – burden.

F: factor de fijación.

C': constante de roca corregida.

H: profundidad de perforación.

N<sub>B</sub>: número de barrenos.

q<sub>1</sub>: concentración de carga lineal del explosivo de mayor potencia.

adm: adimensional.

**Tabla 12.** Fórmulas para el cálculo de las ayudas

Parámetro	Ayuda Hastial	Ayuda Corona	Ayuda Zapateras	Unid
$B_{m\acute{a}x}$	$0.9 * \sqrt{\frac{q_1 * PRP_{anf\ o}}{C' * f * S/B}}$	$0.9 * \sqrt{\frac{q_1 * PRP_{anf\ o}}{C' * f * S/B}}$	$0.9 * \sqrt{\frac{q_1 * PRP_{anf\ o}}{C' * f * S/B}}$	m
$B_{pr\acute{a}c}$	$\frac{2a - Ah_4}{4}$	$0.5 * 0.64 * (h - Ah_4)$	$0.5 * 0.36 * (h - Ah_4)$	m
E	$\frac{Ah_4}{N_B - 1}$	$0.333 * 0.6533 * 2a$	$0.333 * 0.72 * 2a$	m
$N_B$	$\frac{2a - Ah_4}{S/B} + 2$	$\frac{0.6533 * 2a}{S/B} + 2$	$\frac{0.72 * 2a}{S/B} + 2$	unid
C'	$C + 0.07/B$	$C + 0.07/B$	$C + 0.07/B$	adm
F	1.45	1.20	1.20	adm
S/B	1.25	1.25	1.25	adm

**Nota.** Tomado de Roger Holmberg (1982), como se citó en Jiménez (2021).

Donde:

Ah<sub>4</sub> es el ancho creado por el último cuadrante del arranque.

h: altura de excavación.

2a: ancho de excavación.

F y S/B: constante de burden espaciamiento y factor de fijación.

**Cálculos de Cargas y Retacado.** Las cantidades en kilogramos de explosivos en cargas de columna y de fondo, las cantidades de retacado, el número de cartuchos para cada una, cantidad de fulminantes y mecha lenta negra de seguridad se calcularon de acuerdo a las longitudes de carga óptimas y al número de barrenos con carga. Las fórmulas que se usaron se observan en la **Tabla 13**.

**Tabla 13.** Fórmulas para el número de cartuchos y cantidades de carga

Parámetro	Fórmulas	Unidad
Carga Fondo/Barreno	$Q_{FB} = L_{cf} * q_1$	kg/barreno
Cartuchos Fondo/barreno	$N_{ccf} = \frac{L_{cf}}{L_{cartucho}}$	unid
Cartuchos de Fondo Totales	$N_{ctcf} = N_{ccf} * N_{BC}$	unid
Carga Fondo Total	$Q_{FT} = Q_{FB} * N_{BC}$	kg
Carga Columna/Barreno	$Q_{CB} = L_{cc} * q_2$	kg/barreno
Cartuchos Columna/barreno	$N_{ccc} = \frac{L_{cc}}{L_{cartucho}}$	unid
Cartuchos de Columna Totales	$N_{ctcc} = N_{ccc} * N_{BC}$	unid
Carga Columna Total	$Q_{CT} = Q_{CB} * N_{BC}$	kg
Carga Total/barreno	$Q_{TB} = Q_{FB} + Q_{CB}$	kg/barreno
Carga Total	$Q_T = Q_{TB} * N_{BC}$	kg
Cantidad Taco/Barreno	$Q_{TB} = T * q_1$	kg/barreno
Cartuchos Taco/barreno	$N_T = \frac{T}{L_{cartucho}}$	unid
Cartuchos de Taco Totales	$N_{TT} = N_T * N_{BC}$	unid
Cantidad de Taco Total	$Q_{TT} = Q_{TB} * N_{BC}$	kg

**Nota.** Tomado de Roger Holmberg (1982), como se citó en Jiménez (2021).

Donde:

$L_{cartucho}$ : longitud del cartucho explosivo a utilizar.

$N_{BC}$ : número de barrenos totales cargados.

**Mecha Lenta de Seguridad y Fulminantes.** La longitud de mecha lenta se calculó en base a un tiempo de seguridad mínimo luego de iniciada la voladura indicado en el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Ámbito Minero (2020) y según el tipo de labor a franquear. Para ello se calculó la medida mínima de la mecha lenta por cada barreno y los metros totales a necesitar en una voladura con ayuda de las siguientes fórmulas:

$$M_L = \frac{\text{tiempo de seguridad}}{V_C}$$

$$M_{LTotal} = M_L * N_{BC}$$

Donde:

$M_L$ : longitud de mecha lenta por cada barreno (m).

$V_C$ : velocidad de combustión de la mecha lenta.

$N_{BC}$ : número de barrenos cargados.

El número de fulminantes se determinó según el número de barreno con carga.

**Cálculo de las Variables Tecnológicas.** Expresan la cantidad de explosivo que se necesita en términos de voladura. Es decir, la cantidad de explosivo requerida para lograr un determinado avance en una relación expresada en kg/m, kg/m<sup>3</sup>, kg/tn, etc. Para efectos de estos cálculos se usaron las fórmulas de la **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Fórmulas para el cálculo de factores tecnológicos de voladura

Parámetro	Fórmulas	Unidad
Volumen de Roca / Voladura	$V_T = A_T * L$	m <sup>3</sup>
Toneladas de Roca / Voladura	$T = \rho_a * V_T$	tn
Factor de Carga / Metro Lineal	$F_{cl} = \frac{Q_T}{L}$	kg/m
Factor de Carga	$FC = \frac{Q_T}{V_T}$	kg/m <sup>3</sup>
Factor de Potencia	$FP = \frac{Q_T}{T}$	kg/tn

**Nota.** Tomado de Roger Holmberg (1982), como se citó en Jiménez (2021).

Donde:

A<sub>T</sub>: Área de excavación.

L: Avance efectivo.

Q<sub>T</sub>: carga total de explosivos en la voladura.

Una vez se realizó los análisis y cálculos correspondientes, el diseño del crucero en conjunto con su pasaporte de perforación y voladura se plasmaron en planos a detalle con ayuda del software AutoCAD 2022.

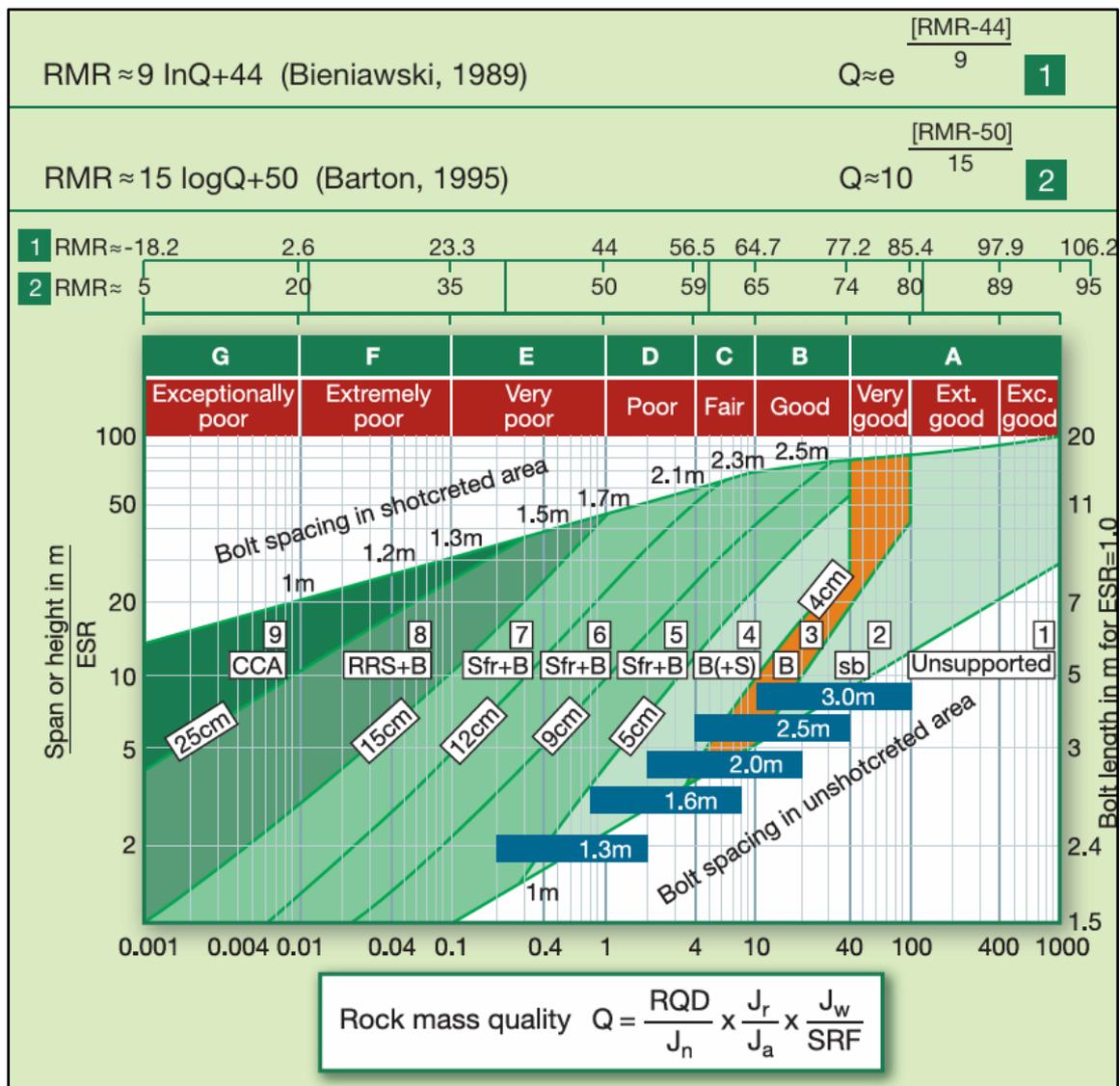
**Cálculo de la Ventilación.** Para el cálculo se tuvo en cuenta varios factores, como la altura, cantidad de polvo, gases producidos y el número de personas que trabajan en la zona. Con ello, se calculó el caudal necesario y se determinó el sistema de ventilación óptimo.

**Cálculo del Drenaje.** Debido a la no presencia de agua en el macizo rocoso de la zona más que humedad, el caudal de agua se calculó a un valor estimado de la cantidad de agua utilizada para perforación por el número de máquinas trabajando en futuros frentes de explotación. Además, se consideró un factor de seguridad de 2.0 adicional.

**Cálculo de la Iluminación.** Para determinar la iluminación necesaria se obtuvieron los parámetros correspondientes al flujo luminoso, luminancia, intensidad luminosa, número y distancia entre luminarias. Además, se tuvieron en cuenta factores como el uso que se le dará a la labor y el tránsito sobre la misma. Con esta información, se seleccionó el sistema de iluminación más apropiado para el crucero.

**Cálculo del Sostenimiento.** El sostenimiento fue determinado de acuerdo con la **Figura 17**, empleando el diámetro equivalente de la excavación, así como el valor del RMR<sub>89</sub> y el Índice Q, según Barton y Bieniawski (2008).

**Figura 17.** Diagrama para selección del sostenimiento según Q de Barton y RMR<sub>89</sub>



**Nota.** Tomado de Barton y Bieniawski (2008).

**Cálculo del Ciclo de Laboreo y Planificación de Actividades.** Finalmente, obtenido el diseño del crucero, se realizó un ciclograma de trabajo, que comprendió todas las actividades a realizar para cada voladura que se realice para la construcción del crucero, entre ellas: replanteo de malla e instalación de máquina, perforación, carga de explosivos, voladura, ventilación, saneamiento, carga y transporte, sostenimiento de ser el caso, instalación de rieles y servicios, y operaciones auxiliares. Con ello se realizó la planificación de actividades.

### 5.3.3. Metodología del Tercer Objetivo

“Determinar la inversión económica del diseño del crucero 955, para su construcción”.

Consistió en realizar los cálculos del presupuesto estimado para la construcción del crucero. Incluyó los cálculos de costos directos (mano de obra, materia prima, mantenimiento y consumo eléctrico) totales y por metro de avance lineal según las operaciones unitarias: Perforación, Voladura, Ventilación, Saneamiento, Carga y Transporte y Operaciones Auxiliares; y, costos indirectos (gastos administrativos, servicio de seguridad y alimentación) para la propuesta de diseño del crucero 955. Todo ello se realizó con la información de costos unitarios otorgados por la empresa en base a los requerimientos del diseño y usando las fórmulas y tablas planteadas en las metodologías de Mendieta (2023) y Peralta (2023), además, de fórmulas planteadas por el autor (Ver **Tabla 15-Tabla 18**).

**Tabla 15.** Cálculo de presupuesto de mano de obra

<b>Costos de mano de obra por metro de avance (\$/m)</b>									
Cargo	Nº personas x cargo	Sueldo neto x cargo (\$/m)	Perforación	Voladura	Ventilación	Saneamiento	Limpeza	Operaciones Auxiliares	Total
Total									

**Nota.** Adaptado de Peralta (2023).

**Tabla 16.** Cálculo de presupuestos de materia prima

<b>Costos de materia prima</b>				
Ítem	Unidades	Precio unitario	Unidades	Precio total
Total				

**Nota.** Adaptado de Peralta (2023).

**Tabla 17.** Cálculo de presupuestos de mantenimiento

<b>Costos de mantenimiento</b>				
Ítem	Mantenimiento	Repuestos	Insumos	Precio total
Total				

**Nota.** Adaptado de Peralta (2023).

**Tabla 18.** *Cálculo de costos por consumo eléctrico*

<b>Costos de consumo de energía</b>							
Ítem	Potencia (Kw)	Horas/turno	Consumo x turno	Consumo x jornada (kwh)	Consumo Total (kwh)	Precio \$/Kwh	Costo energía (\$)

**Nota.** Adaptado de Peralta (2023).

Una vez se realizaron los respectivos cálculos de costos, los resultados se ordenaron y resumieron de acuerdo a las **Tabla 19 y Tabla 20.**

**Tabla 19.** *Costos por metro lineal de avance*

<b>Operación unitaria</b>	<b>Costo unitario por m de avance</b>
Perforación	
Voladura	
Ventilación	
Saneamiento	
Limpieza	
Operaciones auxiliares	
Total costos directos	
Costos indirectos	
<b>Total costos por metro de avance</b>	

**Nota.** Adaptado de Peralta (2023).

**Tabla 20.** *Costos totales por operación unitaria para construcción del cruce*

<b>Operación unitaria</b>	<b>Costo total (\$)</b>	<b>%</b>
Perforación		
Voladura		
Ventilación		
Saneamiento		
Limpieza		
Operaciones auxiliares		
Total costos directos		
Costos indirectos		
<b>Total costos de construcción</b>		

**Nota.** Adaptado de Peralta (2023).

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados del Primer Objetivo

“Caracterizar geológica y geomecánicamente el macizo donde se proyecta la construcción del crucero”.

#### 6.1.1. Topografía Superficial

La topografía superficial a escala 1:20000 fue obtenida mediante la utilización de un archivo DEM (Modelo de Elevación Digital) del satélite Alos Palsar de Alaska Satellite Facility. En el mapa generado la representación de las curvas de nivel viene dada en principales (índice) y secundarias (intermedias), en las que las curvas secundarias se encuentran representadas cada 25 m y las principales cada 125 m. La concesión minera “Bella Rica” código 015, abarca un total de 1350 ha, de las cuales, 132 ha son parte del área de estudio. La topografía que se presenta tiene elevaciones que van desde los 75 m.s.n.m como la cota más baja hasta los 1375 m.s.n.m como la cota más alta. Las pendientes que caracterizan el sector varían desde moderadamente inclinadas (5-12%) en las zonas más bajas de la concesión hasta fuertemente escarpadas en las partes más altas.

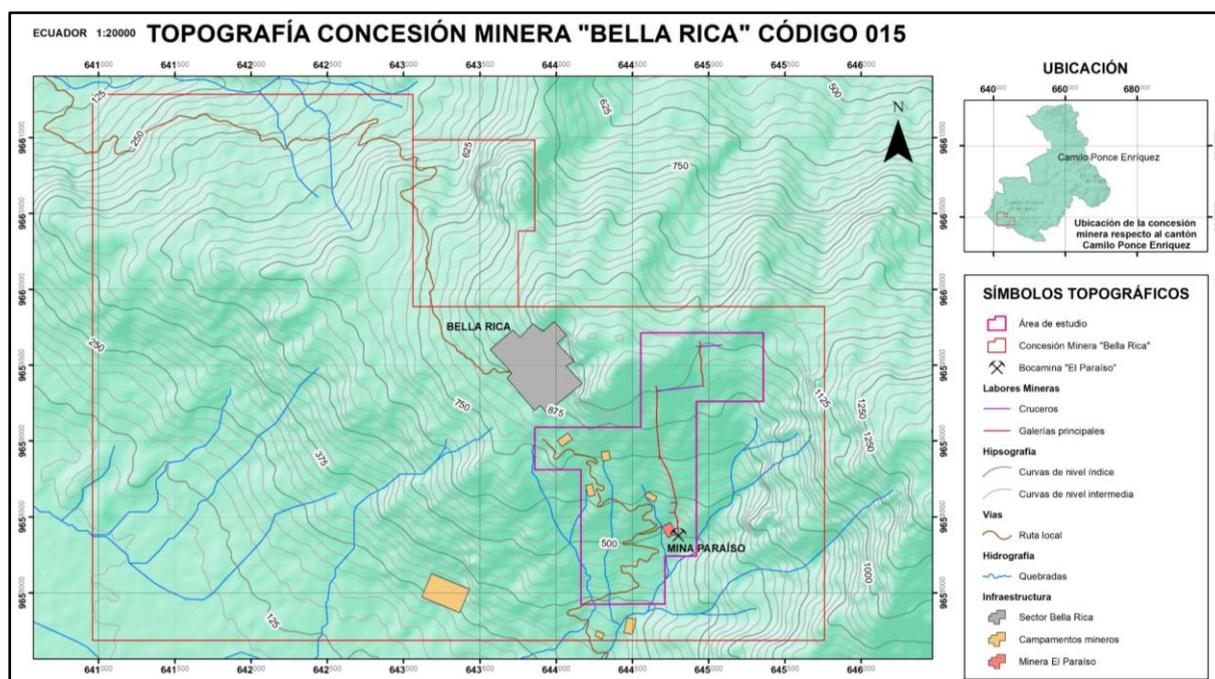


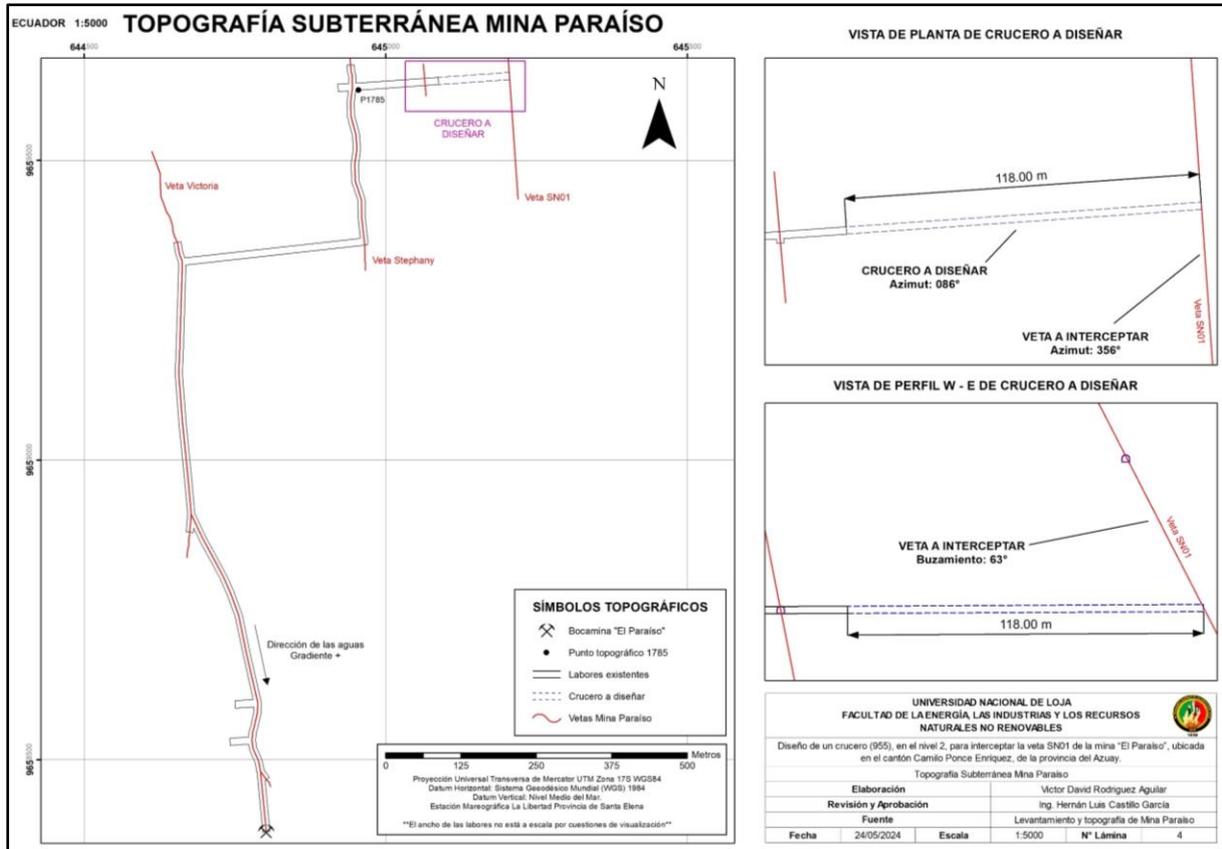
Figura 18. Topografía concesión minera "Bella Rica" código 015

**Nota.** El mapa completo se puede ver en el **Anexo 3**.

#### 6.1.2. Topografía Subterránea

La topografía subterránea realizada con cinta y brújula en la zona ya franqueada del crucero de estudio y complementada con topografía generada con estación total de la empresa minera hasta bocamina, muestra que la galería tiene una longitud total desde bocamina hasta el frente del crucero de 1675.08 m con una pendiente positiva de 0.5%, es decir, las aguas drenan al exterior. Por este desnivel la bocamina está ubicada en la cota

503.75 m.s.n.m y finaliza en el frente de desarrollo del crucero en la cota 512.13 m.s.n.m. Así mismo, con la información otorgada por la empresa, la proyección de la veta a interceptar indica que la misma se encuentra a 118 m del frente del crucero y esta mineralización tiene un azimut aproximado de 356° y buzamiento de 63°E. El crucero para interceptar la veta lleva un azimut de 086° (Ver **Figura 19**).

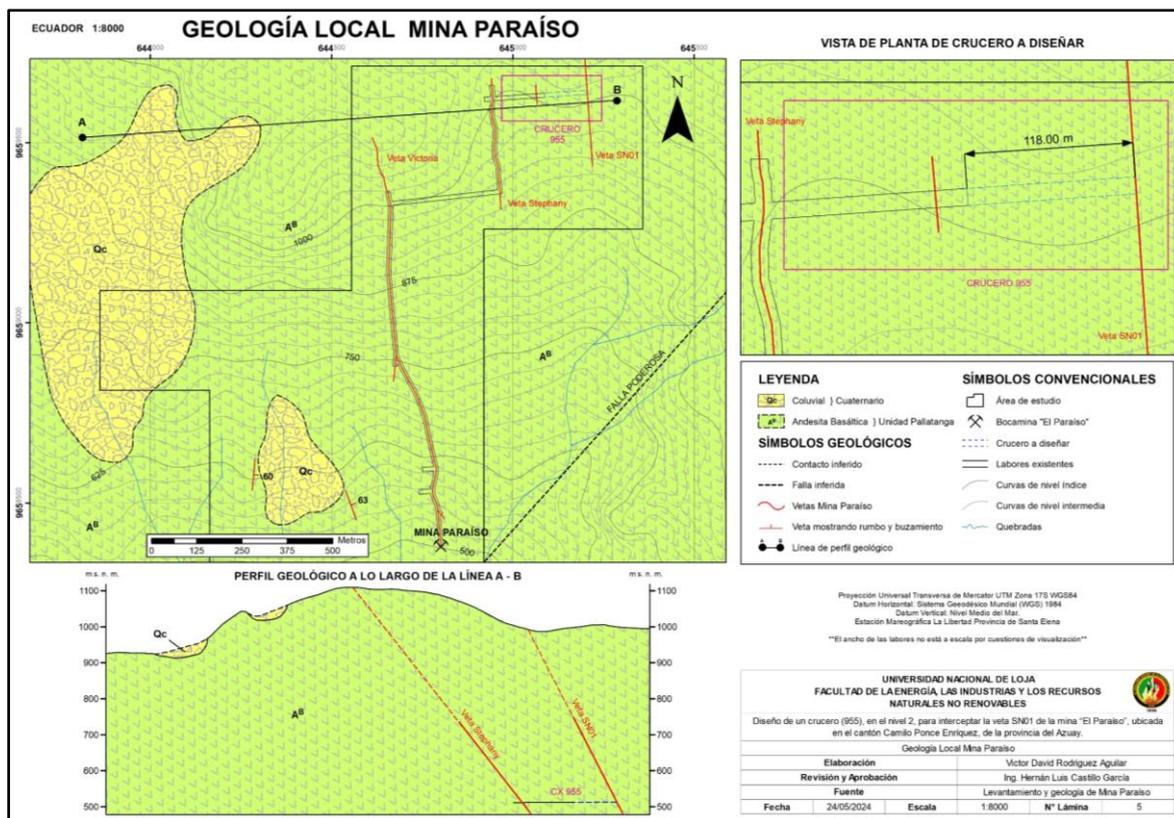


**Figura 19. Topografía subterránea Mina Paraíso**

**Nota.** El mapa completo se puede ver en el **Anexo 4**.

### 6.1.3. Caracterización Geológica Superficial

Litológicamente en el sector afloran rocas ígneas de carácter volcánico o extrusivas (vulcanitas) de composición intermedia a básica pertenecientes a la Unidad Pallatanga, donde se mencionan a estas como basaltos en general o también descritas como andesitas, basaltos y andesitas basálticas de Ponce Enríquez como parte de la Formación Macuchi y de edad cretácica. Así mismo, se presentan depósitos coluviales en las partes más altas de la zona y aluviales en las partes más bajas, los cuales están constituidos por materiales ígneos heterogéneos (rocas de distintas dimensiones con tamaños desde centímetros hasta metros) principalmente de carácter andesítico. (Ver **Figura 20**).



**Figura 20. Geología local Mina Paraíso**

**Nota.** El mapa completo se puede ver en el **Anexo 5**.

**Afloramientos.** En el levantamiento de campo se identificó y describió 10 afloramientos en total (Ver **Anexo 12**), esto permitió determinar la litología presente en la superficie del área de estudio. A continuación, se describen los afloramientos con sus coordenadas de ubicación geográfica en el En la proyección horizontal UTM Zona 17S y con el datum WGS84.

### **Afloramiento 1: Andesitas Basálticas**

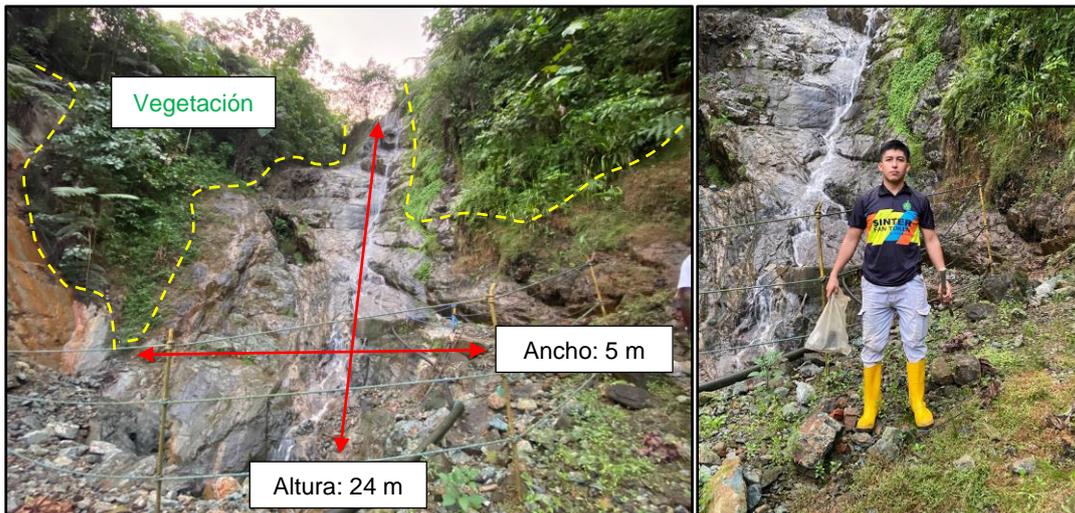
Este afloramiento pertenece a la Unidad Pallatanga y corresponde a andesitas basálticas expuestas en una quebrada cerca del campamento y a 150 m de la bocamina. La roca de color gris oscuro y de grano fino muestra evidencias de leve meteorización superficial y fracturamiento como se observa en la **Figura 21**. El contenido de minerales de la roca es de 54% de plagioclasas, 2 a 5 % de cuarzo y de 10 a 15% de piroxenos y anfíboles.

### **Coordenadas de Ubicación Geográfica**

**X:** 644686 m

**Y:** 9658446 m

**Z:** 528 m s.n.m.



**Figura 21. Afloramiento 1: Andesitas basálticas quebrada Paraíso**

**Afloramiento 2: Andesitas Basálticas**

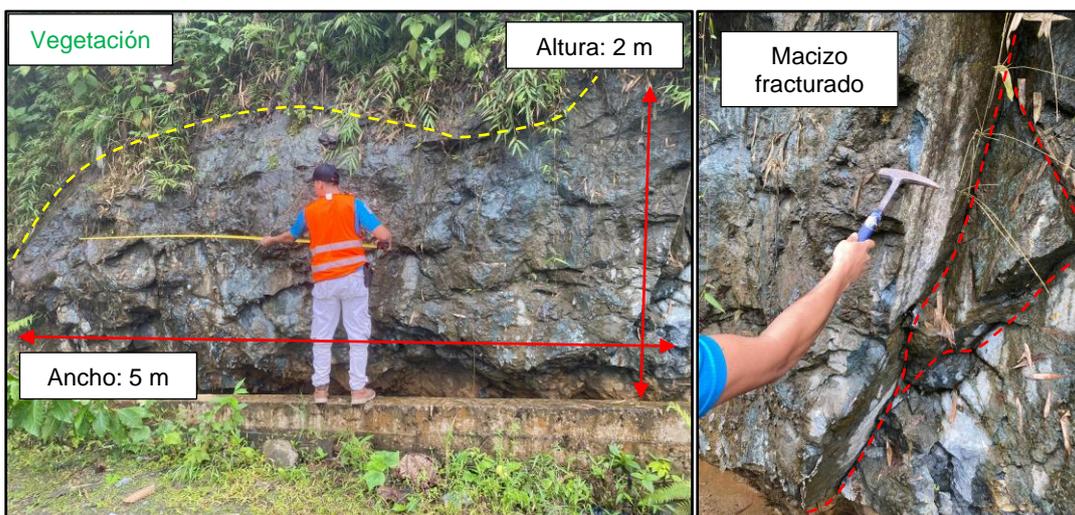
El Afloramiento 2, ubicado cerca del sector Pueblo Nuevo, tiene una altura aproximada de 2 metros. Está compuesto por andesita basáltica de grano fino, la roca se encuentra fracturada como se muestra en la **Figura 22**. Cuenta con presencia de minerales como plagioclasas (52%) y pequeñas cantidades de feldespatos (<5%), lo cual se corroboró en laboratorio. Además, presenta vetillas de cuarzo con espesores menores a 1 cm. Las medidas estructurales del afloramiento indican un azimut de 155° y un buzamiento de 85°W.

**Coordenadas de Ubicación Geográfica**

**X:** 643922 m

**Y:** 9659010 m

**Z:** 761 m s.n.m.



**Figura 22. Afloramiento 2: Andesitas basálticas sector Pueblo Nuevo**

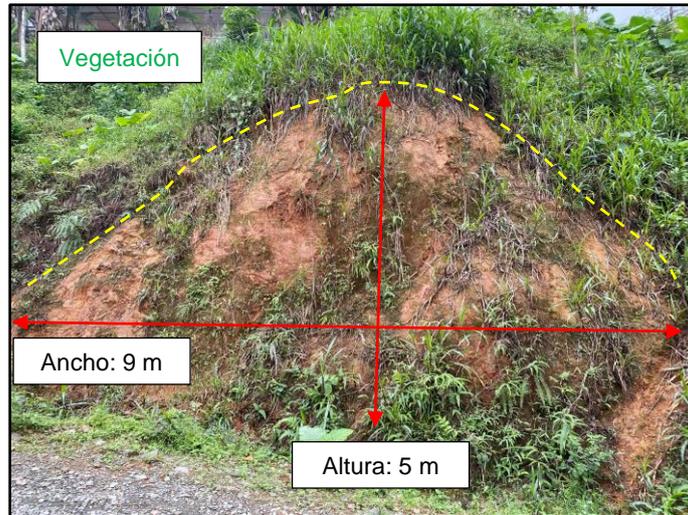
**Afloramiento 3: Suelo Residual**

Este afloramiento se encuentra a un lado de la vía en el sector Pueblo Nuevo, mide aproximadamente 5 m de altura por 9 m de ancho y está compuesto por suelo residual debido a que no se aprecian estructuras heredadas del macizo rocoso original, está constituido por fragmentos de roca menores de 3 cm dentro de una matriz areno-arcillosa.

El color rojizo como se observa en la **Figura 23** indica la presencia de óxidos de hierro.

**Coordenadas de Ubicación Geográfica**

X: 644023 m      Y: 9658903 m      Z: 746 m s.n.m.



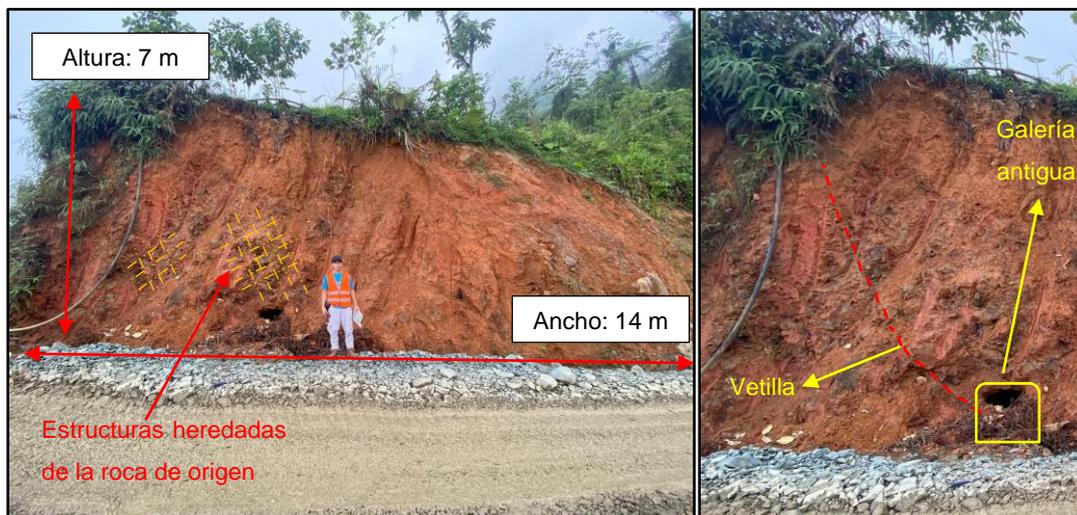
**Figura 23.** Afloramiento 3: Suelo residual sector Pueblo Nuevo

**Afloramiento 4: Saprolito Andesítico**

El Afloramiento se encuentra cerca de la mina La Cascada, tiene una altura de 7 m y 14 m de ancho, corresponde a un saprolito con material areno-arcilloso de color pardo rojizo lo que indica una alta presencia de óxidos de hierro, lo cual se espera debido a la alta meteorización de la andesita basáltica subyacente, dentro de la estructura se identificó también una galería antigua siguiendo vetillas de cuarzo igualmente alteradas y con un dip/dip direction de 60°/095° como se observa en la **Figura 24**. El saprolito se encuentra cubierto por una delgada capa de suelo orgánico de aproximadamente 10 cm de espesor.

**Coordenadas de Ubicación Geográfica**

X: 644290 m      Y: 9658577 m      Z: 630 m s.n.m.



**Figura 24.** Afloramiento 4: Saprolito andesítico mina La Cascada

### **Afloramiento 5: Andesitas Basálticas y Coluvial**

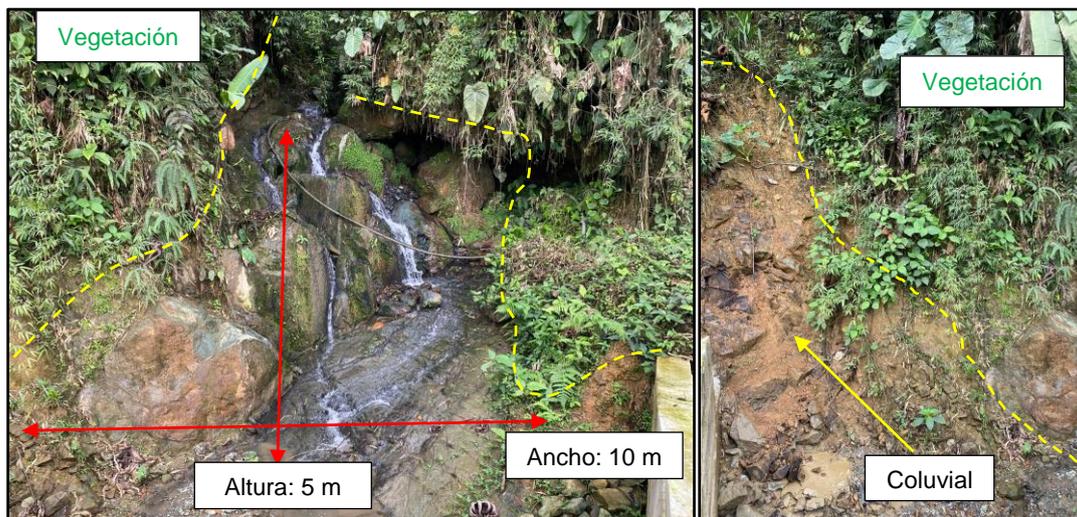
El Afloramiento 5 corresponde al basamento volcánico de andesitas basálticas que están erosionadas en el eje de la quebrada por la acción del agua. Se encuentra en la quebrada Pueblo Nuevo y tiene un ancho de 10 m y una altura de 5 m. Así mismo, en la parte baja se expone el macizo rocoso ligeramente alterado en su superficie, con un azimut y buzamiento de 115°/18°W. En los márgenes de este afloramiento se evidencia un depósito coluvial de aproximadamente 3 m de espesor compuesto de fragmentos angulosos de roca andesita meteorizada en una matriz areno-arcillosa de color pardo rojizo como se observa en la **Figura 25**. El contenido de minerales de la roca matriz es de 54% de plagioclasas, 2 a 5 % de cuarzo y de 10 a 15% de piroxenos y anfíboles.

#### **Coordenadas de Ubicación Geográfica**

X: 644357 m

Y: 9658626 m

Z: 623 m s.n.m.



**Figura 25.** Afloramiento 5: Andesitas basálticas y coluvios de andesitas meteorizadas

### **Afloramiento 6: Coluvial**

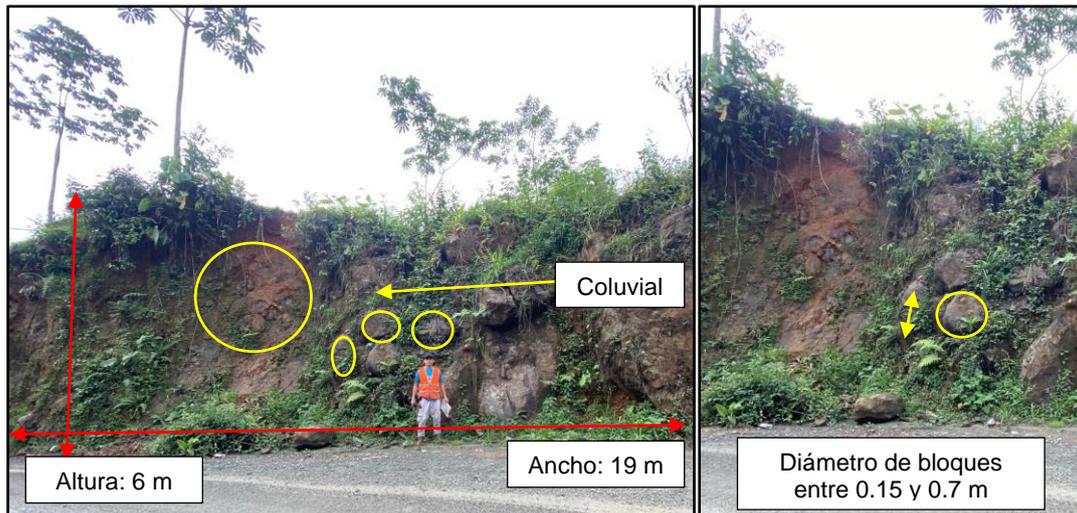
El afloramiento 6 se encuentra en la vía que conduce a la mina El Paraíso, está en un talud artificial y tiene una altura de 6 m por 19 m de ancho, se trata de un depósito coluvial compuesto por fragmentos de andesitas basálticas de un tamaño que varía entre los 0.15 m a los 0.70 m como se muestra en la **Figura 26**. La matriz entre los fragmentos tiene una composición areno-arcillosa de color rojizo. Se encuentra sobre este una capa de suelo orgánico de 15 cm de espesor y una vegetación que no supera los 50 cm.

#### **Coordenadas de Ubicación Geográfica**

X: 644473 m

Y: 9658539 m

Z: 606 m s.n.m.



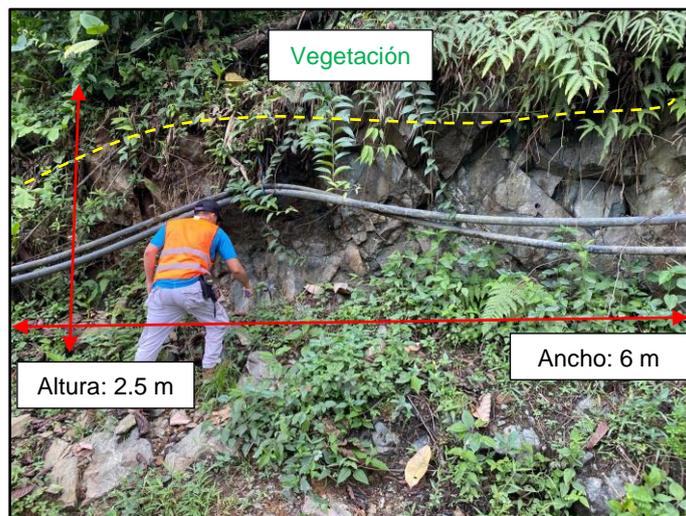
**Figura 26. Afloramiento 6: Coluvios de andesitas basálticas**

**Afloramiento 7: Andesitas**

El Afloramiento 7 tiene una altura de 2.5 m y un ancho de 6 m, donde se expone el macizo rocoso ligeramente meteorizado, compuesto por andesitas fracturadas y de color gris claro con tonos levemente azulados como se observa en la **Figura 27**. El afloramiento tiene un azimut y buzamiento medido de  $010^{\circ}/85^{\circ}E$ . Así mismo, se encontró una vetilla de cuarzo con buzamiento/dirección de buzamiento de  $60^{\circ}/340^{\circ}$ . El contenido de minerales de la roca matriz es de 52% de plagioclasas, 2 a 5 % de cuarzo y de 10 a 15% de piroxenos y anfíboles.

**Coordenadas de Ubicación Geográfica**

**X:** 644560 m      **Y:** 9658496 m      **Z:** 557 m s.n.m.



**Figura 27. Afloramiento 7: Andesitas basálticas fracturadas**

**Afloramiento 8: Suelo Residual**

Se encuentra en la vía que conduce a la mina El Paraíso, tiene un ancho de 18 m y una altura de 5 m, se trata de suelo residual debido a que no se encontró estructuras originales de la roca como se muestra en la **Figura 28**. Presenta un color rojizo indicativo de una alta

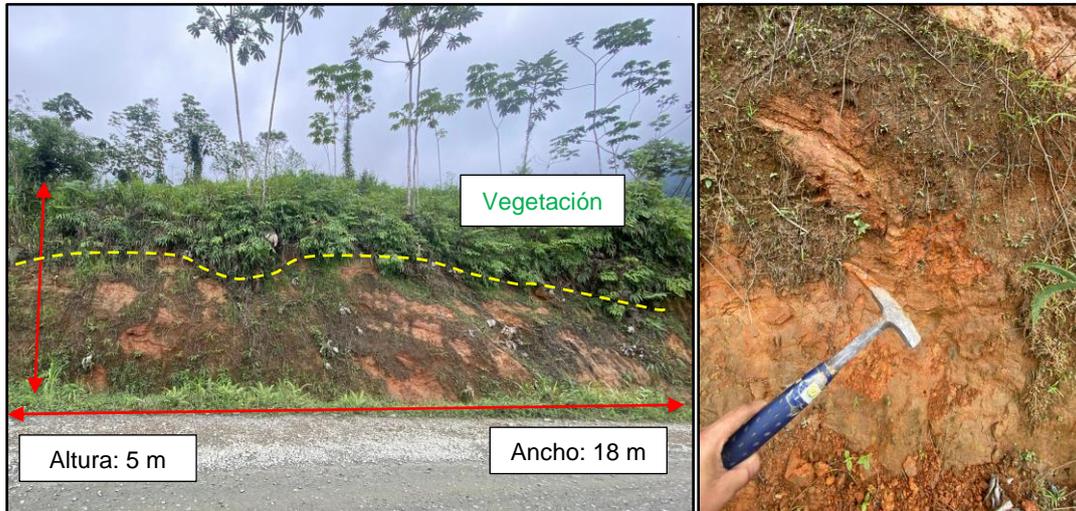
presencia de óxidos de hierro y una elevada meteorización. Su composición es areno-arcillosa y sobre este existe una capa de suelo orgánico de aproximadamente 25 cm.

**Coordenadas de Ubicación Geográfica**

X: 644495 m

Y: 9658114 m

Z: 415 m s.n.m.



**Figura 28.** Afloramiento 8: Suelo residual

**Afloramiento 9: Andesitas Meteorizadas y Aluvial**

Ubicado en la quebrada Paraíso, el macizo rocoso se encuentra expuesto y moderadamente meteorizado, compuesto de andesita de grano fino. Al pie de este se encuentra la quebrada en donde se identificó un depósito aluvial compuesto de fragmentos de rocas ígneas transportados desde las partes altas y depositados en esta zona de menor pendiente, los fragmentos están semiredondeados y corresponden a andesitas y basaltos de grano fino con tonalidades de gris a azul oscuro tal como se observa en la **Figura 29**.

**Coordenadas de Ubicación Geográfica**

X: 644351 m

Y: 9658001 m

Z: 371 m s.n.m.



**Figura 29.** Afloramiento 9: Andesitas meteorizadas y aluvial

### **Afloramiento 10: Andesitas Basálticas y Aluvial**

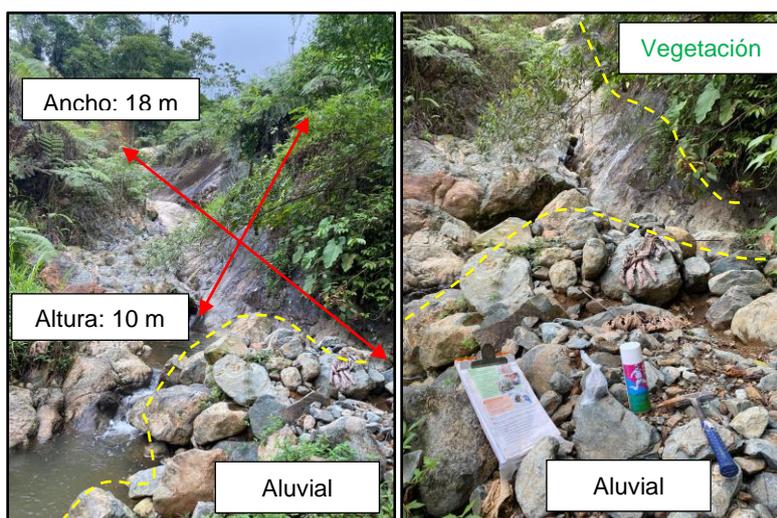
El afloramiento 10 se encontró en una quebrada sin nombre cercana a la mina, tiene un ancho de 30 m y una altura de 15 m. Está compuesto por un macizo rocoso ligeramente meteorizado de andesita basáltica, las medidas de rumbo y buzamiento son 150°/70°. Además de identificar un depósito aluvial, con clastos semiredondeados y de tamaños que varían entre los 10 cm a los 70 cm como se observa en la **Figura 30**. El contenido de minerales de la roca matriz es de 57% de plagioclasas, 2 a 5 % de cuarzo y de 10 a 15% de piroxenos y anfíboles.

#### **Coordenadas de Ubicación Geográfica**

X: 644223 m

Y: 9657989 m

Z: 365 m s.n.m.



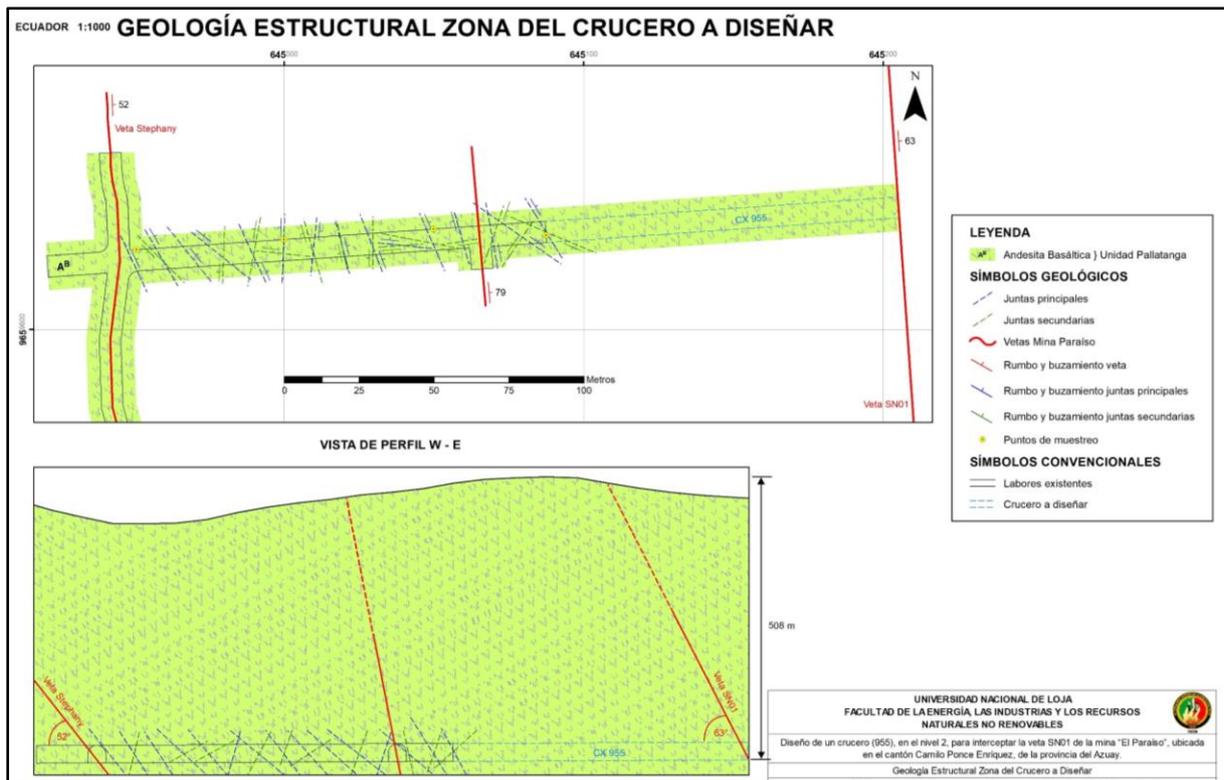
**Figura 30.** Afloramiento 10: Andesitas basálticas y aluvial

#### **6.1.4. Caracterización Geológica Subterránea (Crucero 955)**

La geología subterránea se determinó mediante la recolección de muestras en 4 puntos a lo largo de la zona ya franqueada del crucero de estudio para su descripción petrográfica (Ver **Anexo 13**). Según los resultados, se interpreta que el macizo rocoso donde se completará el crucero tiene una sola litología correspondiente a andesitas basálticas. Estas se caracterizan por tener un color gris oscuro y ser de grano fino (textura afanítica). La parte ya franqueada del crucero atraviesa dos vetas constituidas de cuarzo, oro, galena y pirita con potencias menores a 25 cm. Adicional, por su cercanía a las vetas la roca andesita encajonante presenta una leve diseminación de sulfuros. La litología de los 4 puntos de muestreo se detalla en la **Tabla 21** y se puede observar su representación en conjunto con las discontinuidades en el mapa geológico estructural de la **Figura 31**.

**Tabla 21.** Litología de las muestras de la longitud ya franqueada del crucero de estudio

<b>N° de Muestra</b>	<b>Referencia</b>	<b>Abscisa</b>	<b>Tipo de Roca</b>
<b>M1</b>	P 1785	1785-005.00	Andesita Basáltica
<b>M2</b>	P 1785	1785+045.00	Andesita Basáltica
<b>M3</b>	P 1785	1785+095.00	Andesita Basáltica
<b>M4</b>	P 1785	1785+133.00	Andesita Basáltica

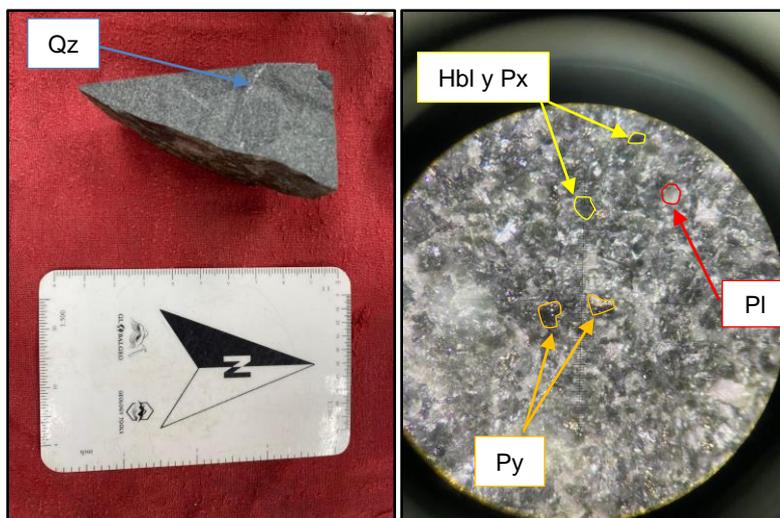


**Figura 31. Geología estructural zona del crucero a diseñar**

**Nota.** El mapa completo se puede ver en el **Anexo 6**.

**Muestra 1 (P 1785-005.00)**

Se identificó una andesita basáltica masiva de textura afanítica y con un índice de color de minerales oscuros de entre 35 y 40% (gris oscuro), sin signos de meteorización. El análisis de laboratorio reveló que los minerales dominantes en esta roca son plagioclasas cálcicas, anfíboles como hornblendas y piroxenos como la augita. Además, se encuentran pequeñas trazas de pirita y cuarzo en forma de relleno de fracturas de menos de 0.5 mm, esto principalmente debido a la cercanía a la mineralización de las vetas (Ver **Figura 32**).



**Figura 32. Andesita Basáltica M1**

**Nota.** Qz: Cuarzo, Pl: Plagioclase, Hbl: Hornblenda, Px: Piroxeno, Py: Pirita.

### Muestra 2 (P 1785+045.00)

Se evidencia la misma litología de andesita basáltica, de textura afanítica y color gris oscuro. Nada alterada. En el microscopio se constató la presencia de minerales como hornblendas y piroxenos en una matriz microcristalina de plagioclasas que por su tendencia de color gris se considera son en su mayoría cálcicas ( $An > 50$ ) (Ver **Figura 33**).

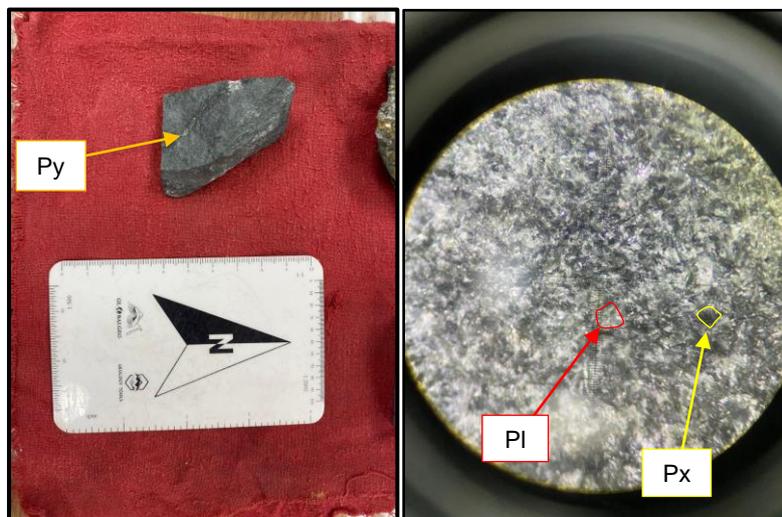


**Figura 33.** Andesita Basáltica M2

**Nota.** Pl: Plagioclasa, Hbl: Hornblenda, Px: Piroxeno.

### Muestra 3 (P 1785+095.00)

Se evidencia la continuidad en la litología, encontrando nuevamente andesita basáltica, de textura afanítica y color gris oscuro. En laboratorio se determinó la presencia de microcristales de piroxenos y plagioclasas como parte de la matriz fina principalmente, además, al ser una muestra cercana a vetas también se encuentra fracturas menores a 0.5 mm con rellenos de cuarzo lechoso y pirita (Ver **Figura 34**).

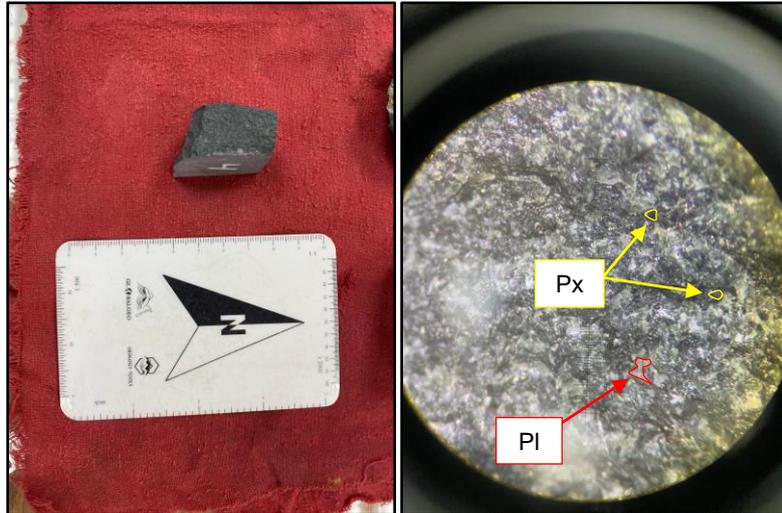


**Figura 34.** Andesita Basáltica M3

**Nota.** Pl: Plagioclasa, Px: Piroxeno, Py: Pirita.

### Muestra 4 (P 1785+133.00)

La muestra recolectada en el frente de la longitud ya franqueada del crucero corresponde a una andesita basáltica, indicando la presencia de una única litología en la zona. La andesita presenta una textura afanítica y un color gris oscuro. Tiene una matriz fina de plagioclasas cálcicas y presenta microcristales de plagioclasa, piroxeno y hornblendas que se pueden observar con mucha dificultad (Ver **Figura 35**).

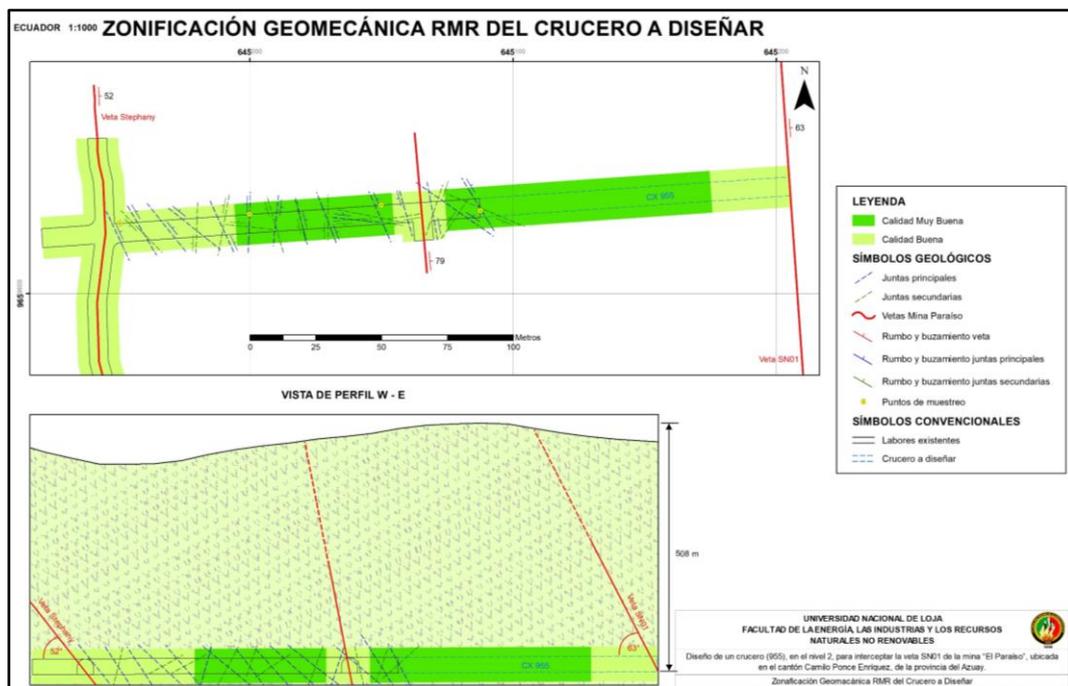


**Figura 35. Andesita Basáltica M4**

**Nota.** Pl: Plagioclasa, Hbl: Hornblenda, Px: Piroxeno.

### 6.1.5. Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosó

Las calidades de macizo rocoso de acuerdo a sus distintas características analizadas (alta resistencia, poco fracturamiento y poca agua) se establecieron dentro del rango de Buena a Muy Buena según la clasificación  $RMR_{89}$  de Bieniawski (Ver **Figura 36**).



**Figura 36. Zonificación geomecánica RMR del crucero a completar**

**Nota.** El mapa completo se puede ver en el **Anexo 7**.

A continuación, se presentan los resultados resumidos que se recopilaron en cada estación. Los detalles completos de los datos se pueden ver en el **Anexo 14**.

### RQD

El RQD se calculó mediante el conteo volumétrico de las discontinuidades presentes en cada estación estudiada, constituyendo también un parámetro preliminar para evaluar la condición geomecánica utilizando el RMR. El valor mínimo de RQD es de 87.5 %, mientras que el máximo es 100 %, por ello se ha establecido que, de acuerdo con RQD el macizo donde se ubica el cruce de estudio es de Buena a Muy Buena Calidad. La **Tabla 22** presenta los resultados obtenidos para el RQD.

**Tabla 22.** Valoración del RQD

Estación	Abscisa	Puntuación	Calidad	Clase
E1	1785+000.00 - 1785+005.00	93.55	Muy buena	I
E2	1785+005.00 - 1785+015.00	98.5	Muy buena	I
E3	1785+015.00 - 1785+025.00	95.2	Muy buena	I
E4	1785+025.00 - 1785+035.00	99.3	Muy buena	I
E5	1785+035.00 - 1785+045.00	100	Muy buena	I
E6	1785+045.00 - 1785+055.00	100	Muy buena	I
E7	1785+055.00 - 1785+065.00	100	Muy buena	I
E8	1785+065.00 - 1785+075.00	100	Muy buena	I
E9	1785+075.00 - 1785+085.00	100	Muy buena	I
E10	1785+085.00 - 1785+095.00	100	Muy buena	I
E11	1785+095.00 - 1785+105.00	95.2	Muy buena	I
E12	1785+105.00 - 1785+115.00	91.9	Muy buena	I
E13	1785+125.00 - 1785+125.00	100	Muy buena	I
E14	1785+125.00 - 1785+133.00	89.26	Buena	II
E15	1785+000.00 - 1785+005.00	87.5	Buena	II

### RMR

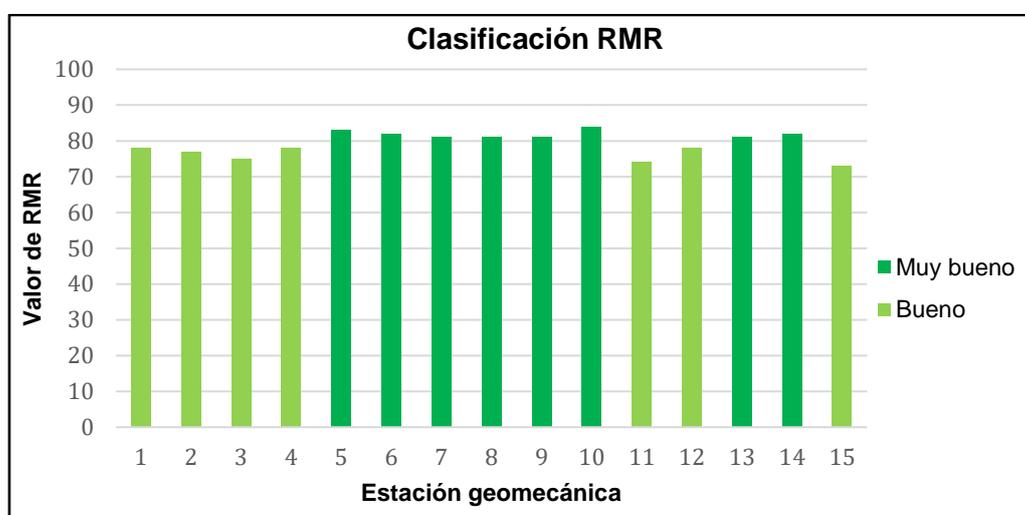
Esta clasificación se realizó acorde a las evaluaciones del RQD, la resistencia a la compresión simple, las condiciones hidrogeológicas, la separación y estado de las discontinuidades del macizo rocoso, así como tomando en cuenta el ajuste según la orientación de las discontinuidades respecto al túnel. El valor máximo y mínimo de RMR corresponden a 84 y 73 respectivamente. La valoración indica que cerca de las vetas mineralizadas el macizo rocoso se caracteriza como Bueno de Clase II y al alejarse de estas estructuras aumenta su calidad hasta Muy bueno de Clase I. Los resultados obtenidos se resumen en la **Tabla 23**.

**Tabla 23.** Valoración RMR

Estación	Abscisa	Puntuación	Calidad	Clase
E1	1785+000.00 - 1785+005.00	78	Buena	II
E2	1785+005.00 - 1785+015.00	77	Buena	II
E3	1785+015.00 - 1785+025.00	75	Buena	II

<b>E4</b>	1785+025.00 - 1785+035.00	78	Buena	II
<b>E5</b>	1785+035.00 - 1785+045.00	83	Muy Buena	I
<b>E6</b>	1785+045.00 - 1785+055.00	82	Muy Buena	I
<b>E7</b>	1785+055.00 - 1785+065.00	81	Muy Buena	I
<b>E8</b>	1785+065.00 - 1785+075.00	81	Muy Buena	I
<b>E9</b>	1785+075.00 - 1785+085.00	81	Muy Buena	I
<b>E10</b>	1785+085.00 - 1785+095.00	84	Muy Buena	I
<b>E11</b>	1785+095.00 - 1785+105.00	74	Buena	II
<b>E12</b>	1785+105.00 - 1785+115.00	78	Buena	II
<b>E13</b>	1785+125.00 - 1785+125.00	81	Muy Buena	I
<b>E14</b>	1785+125.00 - 1785+133.00	82	Muy Buena	I
<b>E15</b>	1785+000.00 - 1785+005.00	73	Buena	II

En la **Figura 37** se muestra la distribución del valor de RMR a lo largo del cruce. Los valores menores se correlacionan principalmente con el mayor diaclasamiento cerca de las vetas mineralizadas. Mientras que los valores mayores son de estaciones más lejos de estas estructuras.



**Figura 37.** Distribución del Valor de RMR

#### Q de Barton

Se correlacionaron los resultados del RMR para obtener el índice Q de Barton. Con esta clasificación se determinó como un macizo rocoso de calidad comparable a la clasificación RMR, dando así una puntuación mínima y máxima para el Q de Barton de 25.08 y 85.15 respectivamente, con calidades entre Buena y Muy buena. Los resultados se encuentran resumidos en la **Tabla 24**.

**Tabla 24.** Valoración Q de Barton

Estación	Abscisa	Puntuación	Calidad
<b>E1</b>	1785+000.00 - 1785+005.00	43.72	Muy Buena
<b>E2</b>	1785+005.00 - 1785+015.00	39.12	Buena
<b>E3</b>	1785+015.00 - 1785+025.00	31.33	Buena
<b>E4</b>	1785+025.00 - 1785+035.00	43.72	Muy Buena

<b>E5</b>	1785+035.00 - 1785+045.00	76.20	Muy Buena
<b>E6</b>	1785+045.00 - 1785+055.00	68.18	Muy Buena
<b>E7</b>	1785+055.00 - 1785+065.00	61.01	Muy Buena
<b>E8</b>	1785+065.00 - 1785+075.00	61.01	Muy Buena
<b>E9</b>	1785+075.00 - 1785+085.00	61.01	Muy Buena
<b>E10</b>	1785+085.00 - 1785+095.00	85.15	Muy Buena
<b>E11</b>	1785+095.00 - 1785+105.00	28.03	Muy Buena
<b>E12</b>	1785+105.00 - 1785+115.00	43.72	Muy Buena
<b>E13</b>	1785+125.00 - 1785+125.00	61.01	Muy Buena
<b>E14</b>	1785+125.00 - 1785+133.00	68.18	Muy Buena
<b>E15</b>	1785+000.00 - 1785+005.00	25.08	Buena

### GSI

La clasificación GSI se obtuvo en campo a través de la observación directa del estado del macizo rocoso. También se realizó la corrección de acuerdo a los valores obtenidos para RMR. De acuerdo al GSI obtenido en campo los valores fluctúan entre 83 y 89. En el GSI corregido los valores varían entre 68 y 79. Las calidades se sitúan entre Buena y Muy buena. Los resultados se resumen en la **Tabla 25**.

**Tabla 25.** Valoración GSI

Estación	Abscisa	GSI	Valoración	GSI Corregido	Valoración
<b>E1</b>	1785+000.00 - 1785+005.00	85	Muy Buena	73	Muy Buena
<b>E2</b>	1785+005.00 - 1785+015.00	85	Muy Buena	72	Muy Buena
<b>E3</b>	1785+015.00 - 1785+025.00	85	Muy Buena	70	Muy Buena
<b>E4</b>	1785+025.00 - 1785+035.00	87	Muy Buena	73	Muy Buena
<b>E5</b>	1785+035.00 - 1785+045.00	83	Muy Buena	78	Muy Buena
<b>E6</b>	1785+045.00 - 1785+055.00	89	Muy Buena	77	Muy Buena
<b>E7</b>	1785+055.00 - 1785+065.00	87	Muy Buena	76	Muy Buena
<b>E8</b>	1785+065.00 - 1785+075.00	85	Muy Buena	76	Muy Buena
<b>E9</b>	1785+075.00 - 1785+085.00	89	Muy Buena	76	Muy Buena
<b>E10</b>	1785+085.00 - 1785+095.00	89	Muy Buena	79	Muy Buena
<b>E11</b>	1785+095.00 - 1785+105.00	85	Muy Buena	69	Muy Buena
<b>E12</b>	1785+105.00 - 1785+115.00	85	Muy Buena	73	Muy Buena
<b>E13</b>	1785+125.00 - 1785+125.00	88	Muy Buena	76	Muy Buena
<b>E14</b>	1785+125.00 - 1785+133.00	85	Muy Buena	77	Muy Buena
<b>E15</b>	1785+000.00 - 1785+005.00	83	Muy Buena	68	Muy Buena

### 6.1.6. Determinación de las Características Físico – Mecánicas de la Roca

#### Propiedades Físicas

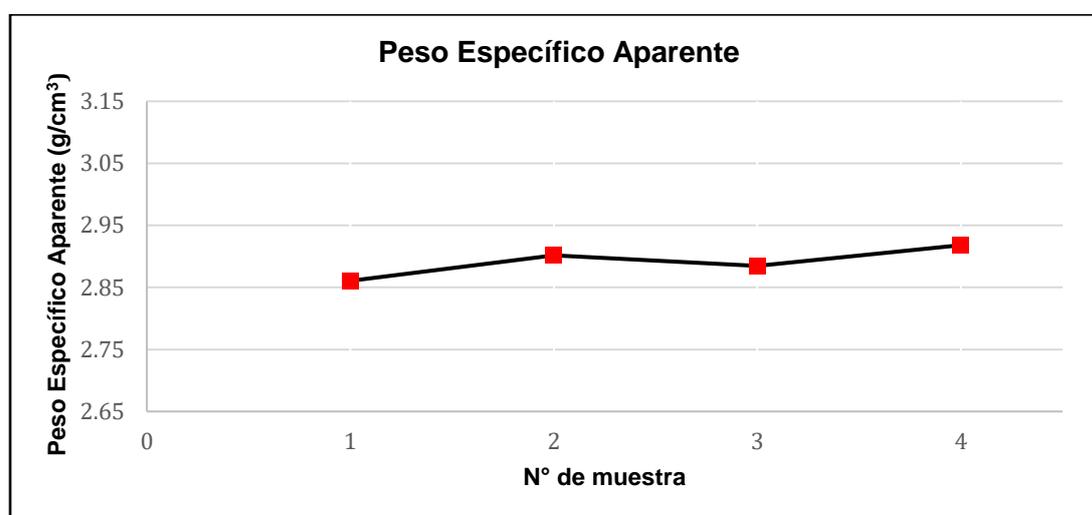
**Peso Específico Aparente.** Se analizaron cuatro muestras en laboratorio, luego de los ensayos se determinaron valores para el peso específico aparente que van desde los 2.86

g/cm<sup>3</sup> hasta los 2.92 g/cm<sup>3</sup>, con un promedio de 2.89 g/cm<sup>3</sup>. Los resultados obtenidos se detallan en la **Tabla 26**.

**Tabla 26.** Resultados del peso específico aparente

N°	Peso muestra (g)	Código recipiente	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Peso seco (g)	Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )
M1	273.54	Control	273.96	178.64	273.05	2.86
M2	278.09	MRVPO3	278.04	182.49	277.63	2.90
M3	310.73	MRVPO4	310.91	203.8	309.42	2.88
M4	214.88	-	215.16	141.78	214.43	2.92
<b>PROMEDIO</b>						<b>2.89</b>

En la **Figura 38** se presenta la distribución de los datos obtenidos. No existen variaciones importantes.



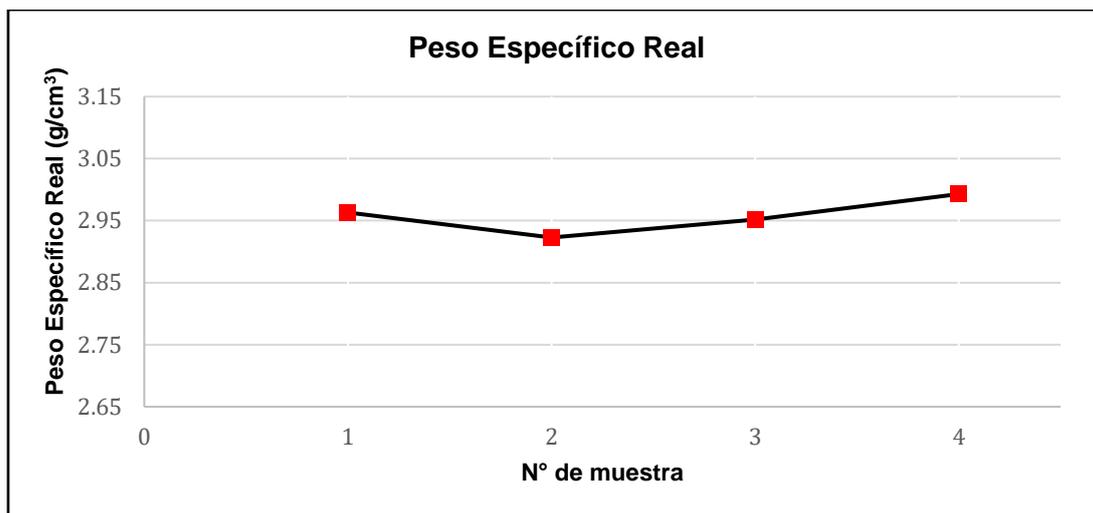
**Figura 38.** Distribución de los datos de peso específico aparente

**Peso Específico Real.** Se obtuvo un peso específico promedio de 2.96 g/cm<sup>3</sup>, los datos de los ensayos se detallan en la **Tabla 27**.

**Tabla 27.** Resultados del peso específico real

N° de muestra	Código recipiente	Peso muestra pulverizada (g)	Peso picnómetro + agua (g)	Peso picnómetro + agua + muestra (g)	Peso específico real (g/cm <sup>3</sup> )
M1	Mi C1 (289)	30	147.83	167.72	2.96
M2	MRMO3 (260)	30	147.83	167.58	2.92
M3	MRMO7 (243)	30	147.83	167.68	2.95
M4	MRMO8 (236)	30	147.83	167.82	2.99
<b>PROMEDIO</b>					<b>2.96</b>

En la **Figura 39** se presenta la distribución de los datos obtenidos para el peso específico real, se puede observar que no existen variaciones significativas en los valores.



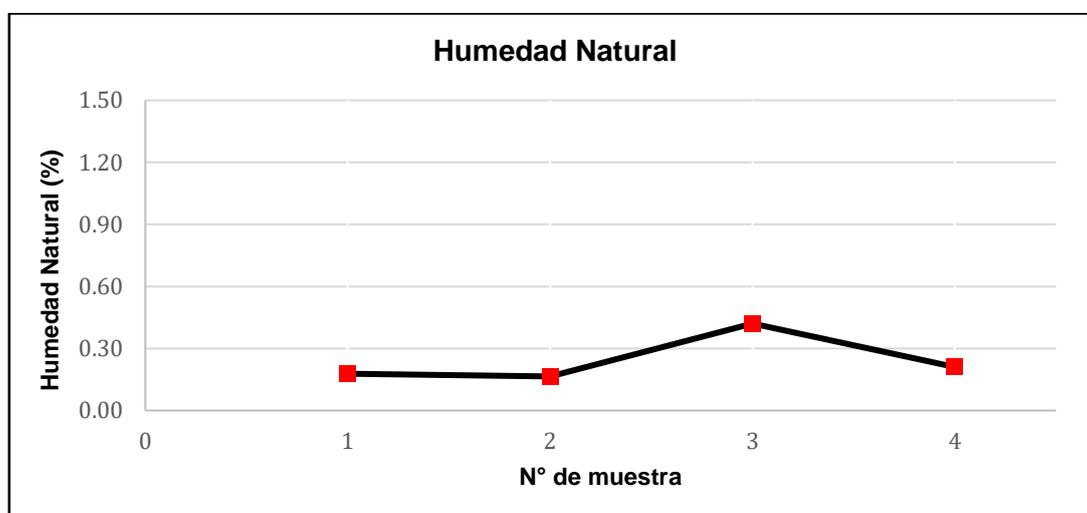
**Figura 39.** Distribución de los datos de peso específico real

**Contenido de Humedad.** Se ensayaron cuatro muestras inalteradas, en donde se obtuvo que el porcentaje de humedad promedio 0.24 %, evidenciando la poca presencia de agua en la excavación. Los resultados en detalle se encuentran en la **Tabla 28**.

**Tabla 28.** Resultados de la humedad natural

N° Muestra	Código recipiente	Peso de la Tara (g)	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Peso del agua (g)	Humedad (%)
M1	M1	34.15	337.17	336.57	0.6	0.18
M2	8R	32.12	54.72	54.63	0.09	0.16
M3	13R	31.58	203.04	202.19	0.85	0.42
M4	10R	30.65	223.61	223.14	0.47	0.21
<b>PROMEDIO</b>						<b>0.24</b>

En la **Figura 40** se presenta la distribución de los datos obtenidos para humedad, se evidencia el poco contenido de agua que tiene la roca.



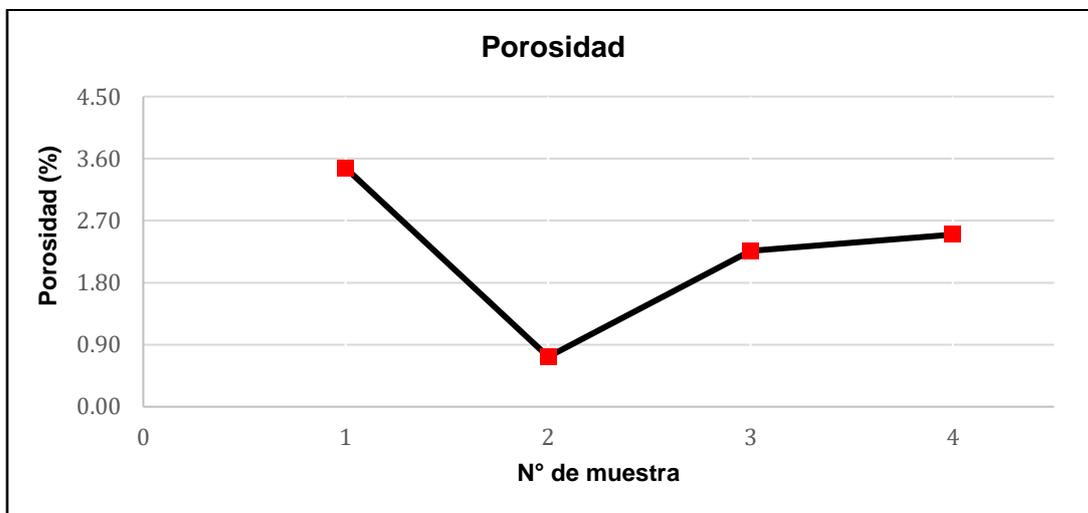
**Figura 40.** Distribución de los datos de humedad natural

**Porosidad.** La porosidad, calculada a partir del peso específico aparente y el peso específico real, muestra valores comprendidos entre 0.72 % y 3.46 %. Los valores se encuentran detallados en la **Tabla 29**.

**Tabla 29.** Resultados de la porosidad.

N° de muestra	Peso específico real (g/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
M1	2.96	2.86	3.46
M2	2.92	2.90	0.72
M3	2.95	2.88	2.26
M4	2.99	2.92	2.50
<b>PROMEDIO</b>			<b>2.24</b>

En la **Figura 41** se observa la distribución de los resultados, se evidencia en la muestra dos el menor valor obtenido para la porosidad.



**Figura 41.** Distribución de los resultados de la porosidad

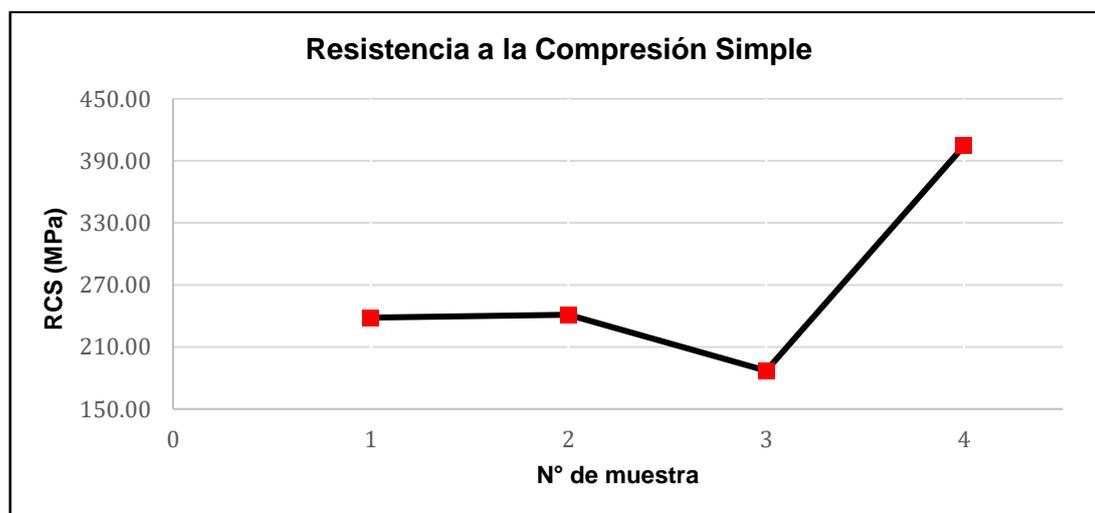
### Propiedades Mecánicas

**Resistencia a la Compresión Simple.** En la **Tabla 30** se presentan los resultados obtenidos luego del ensayo de resistencia a la compresión simple, se determinó una alta resistencia de la roca debido a la poca meteorización y presencia de discontinuidades, el valor mínimo es de 187.05 MPa mientras que el más alto es de 241.18 MPa. El promedio de la resistencia a la compresión simple quedó establecido en 222.21 MPa. La muestra cuatro presentó una resistencia inusualmente alta por lo que se descartó para determinar el promedio de resistencia de la roca, esto con el fin de evitar errores en los futuros cálculos correspondientes al diseño del crucero y pasaporte de perforación y voladura.

**Tabla 30.** Resultados de la resistencia a la compresión simple

N° de muestra	a (cm)	b (cm)	c (cm)	Peso (g)	Fuerza (kN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kN/mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
M1	50.5	49.06	49.73	345.33	589.9	2474.5	0.238	238.39
M2	48.38	49.61	48.4	339.14	583.8	2420.6	0.241	241.18
M3	49.11	49.57	49.52	342.92	453.7	2425.5	0.187	187.05
M4	48.79	49.16	49.55	344.77	969.2	2396	0.405	404.51
<b>PROMEDIO</b>								<b>222.21</b>

En la **Figura 42** se observa la distribución de los datos obtenidos luego de realizar los ensayos de compresión simple, en la muestra tres se obtuvo una resistencia menor debido a la presencia de fracturas y vetillas de cuarzo, sin embargo, los valores son altos y concordantes para una roca andesita basáltica. La última muestra se descartó.



**Figura 42.** Distribución de los datos de resistencia a la compresión simple

En la **Figura 43** se observa las muestras de roca y como se dio la fractura luego del ensayo de resistencia a la compresión simple.



**Figura 43.** Muestras fracturadas luego del ensayo de compresión simple

## 6.2. Resultados del Segundo Objetivo

“Analizar las variables geométricas para el diseño del crucero 955, en base a factores geológico-mineros y minero-técnicos”.

### 6.2.1. Selección de la Forma del Crucero.

**Intensidad de tensiones.**

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \rho_r * z \\ \sigma_v &= 0.0284 \frac{\text{MN}}{\text{m}^3} * 1020.31 \text{ m} \\ \sigma_v &= 28.98 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Donde:

$\rho_r$ : peso específico de la roca sobre el crucero (MN/m<sup>3</sup>).

z: profundidad máxima a la que se encuentra la excavación (m).

$$\begin{aligned}E_h &= 10^{\frac{\text{RMR}-10}{40}} \\ E_h &= 10^{\frac{79-10}{40}} \\ E_h &= 53.1 \text{ GPa}\end{aligned}$$

Donde:

$E_h$ : módulo elástico de la roca (GPa).

$$\begin{aligned}k &= 0.25 + 7E_h \left( 0.001 + \frac{1}{z} \right) \\ k &= 0.25 + 7 * 53.1 \text{ GPa} \left( 0.001 + \frac{1}{1020.31 \text{ m}} \right) \\ k &= 0.98 \approx 1\end{aligned}$$

Donde:

k: relación entre el esfuerzo vertical y esfuerzo horizontal.

$$\begin{aligned}\sigma_h &= k * \sigma_v \\ \sigma_h &= 1 * 28.98 \text{ MPa} \\ \sigma_h &= 28.98 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Donde:

k: relación entre el esfuerzo vertical y esfuerzo horizontal.

La relación de tensiones k

En base a los cálculos sobre los esfuerzos y considerando el valor de K que se iguala a 1, la forma más adecuada para la galería es la de sección circular, sin embargo, debido a las condiciones de uso que se requiere para la galería se usará la variante de sección abovedada o tipo D, considerando una bóveda con un radio igual a la mitad del ancho de la galería (arco de punto medio) para aumentar así la forma circular por el techo, además concuerda con la forma ideal del túnel frente a las condiciones del terreno (RMR>50) recomendada por Lawson y Bieniawski (2013) debido a que es una forma eficiente de auto

sostenimiento para macizos rocosos con RMR Bueno a Muy Bueno y de esta manera soportar correctamente las presiones mineras generadas en el techo. Además, es fácil de construir.

Los resultados de la selección se resumen en la **Tabla 31**.

**Tabla 31.** Resultados de la selección de la forma del crucero

Detalle	Valor
Esfuerzo Vertical	28.98 MPa
Esfuerzo Horizontal	28.98 MPa
RMR promedio	79
Forma Óptima del Crucero	Abovedada Tipo D

### 6.2.2. Dimensionamiento del Crucero.

#### Ancho de Excavación del Crucero.

$$2a = m + KA + p + n + a_1 + a_2$$

$$2a = 0.25 + (1 * 1.05) + 0 + 0.7 + 0.18 + 0.24 \text{ m}$$

$$2a = 2.42 \text{ m} \approx 2.4 \text{ m}$$

Donde:

m: distancia desde la pared o sostenimiento al extremo de la cuneta o durmientes (m).

K: número de vías.

A: ancho del sistema de transporte utilizado (m).

p: espacio entre medios de transporte si hay más de una vía (m).

n: espacio para permitir el paso del personal (m).

a<sub>1</sub>: ensanchamiento de la excavación por el lado de transportación (m).

a<sub>2</sub>: ensanchamiento por el lado de paso de personal (m).

$$a_1 = (h_0 - h_1) \tan \alpha_1$$

$$a_1 = (1.89 \text{ m} - 1.4 \text{ m}) \tan 20$$

$$a_1 = 0.18 \text{ m}$$

a<sub>2</sub>: ensanchamiento por el lado de paso de personal (m).

$$a_2 = (h_p - h_1) \tan \alpha_1$$

$$a_2 = (2.05 - 1.4) \tan 20$$

$$a_2 = 0.24 \text{ m}$$

Donde:

h<sub>0</sub>: altura del medio de transporte al nivel del piso del crucero (m).

$$h_0 = h_2 + h_B + h_R$$

$$h_0 = 1.5 + 0.25 + 0.14 \text{ m}$$

$$h_0 = 1.89 \text{ m}$$

h<sub>p</sub>: altura del paso libre del personal (m).

$$h_p = 1.8 + h_B$$

$$h_p = 1.8 + 0.25 m$$

$$h_p = 2.05 m$$

Donde:

$h_1$ : altura del hastial (m).

$\alpha_1$ : ángulo de transición de la parte recta de los apoyos a la curva (habitualmente se toma  $\alpha_1 = 10 - 20$  grados).

Para el cálculo de los valores  $h_0$  y  $h_p$  se usó las siguientes fórmulas:

$h_2$ : altura del medio de transporte desde la cabeza de los rieles (m)

$h_B$ : espesor de la capa de balasto (m).

$h_R$ : altura desde la capa de balasto a la cabeza de los rieles (m).

#### **Altura de Excavación del Crucero.**

$$h = \frac{2a}{2} + 1,3$$

$$h = \frac{2.4 m}{2} + 1,3$$

$$h = 2.5 m = 2.6 m$$

Donde:

$2a$ : ancho de excavación del crucero (m).

Se estableció la altura en 2.6 metros por cuestiones de distribución de tuberías, colocación de mangas de ventilación y ventiladores.

#### **Altura de la Bóveda.**

$$h_3 = r = \frac{2a}{2}$$

$$h_3 = r = \frac{2.4 m}{2}$$

$$h_3 = r = 1.2 m$$

#### **Sección de Excavación.**

$$A_1 = h_1 * 2a$$
$$A_1 = 1.4 * 2.4 m$$
$$A_1 = 3.36 m^2$$

$$A_2 = \frac{\pi * r^2}{2}$$

$$A_2 = \frac{\pi * 1.2^2}{2}$$

$$A_2 = 2.26 m^2$$

$$A_E = A_1 + A_2$$
$$A_E = 3.36 m^2 + 2.26 m^2$$
$$A_E = 5.62 m^2$$

Donde:

$h_1$ : altura del hastial (m).

$A_E$ : Área de excavación.

**Sección Óptima.** Será igual a la sección de excavación debido a que no se requiera de sostenimiento por el tipo de macizo rocoso.

$$A_O = A_E = 5.62 m^2$$

### Sección de Explosión.

$$A_{exp} = A_E * 1.05$$
$$A_{exp} = 5.62 \text{ m}^2 * 1.05$$
$$A_{exp} = 5.9 \text{ m}^2$$

Donde:

$A_E$ : área de excavación ( $\text{m}^2$ ).

$A_{exp}$ : área de excavación real producida por una leve sobre excavación por efectos de la voladura.

### 6.2.3. Sistema de Transporte Férreo.

#### Selección del Sistema de Transporte.

Principalmente por la geometría del yacimiento perteneciente a cuerpos tabulares angostos con potencias promedio de 0.3 m, usando el método de explotación por corte y relleno ascendente y con distancias de transporte mayores a 2 km, se necesita de un sistema de transporte compacto para trabajar en zonas reducidas y con una capacidad de producción promedio de hasta 150 tn/día. Entonces, los sistemas óptimos a usar serían el sistema férreo o cintas transportadoras, sin embargo, la aplicación de cintas transportadoras se recomienda para mayores inclinaciones (5-35%), materiales menos desgastantes y de una granulometría muy homogénea, lo cual requeriría de una trituración previa antes de transportarse. Por lo tanto, el sistema que más se adapta, para transportar cantidades de producción de hasta 150 tn/día, en labores mineras con gradientes menores a 1% y para recorrer largas distancias es el sistema férreo con locomotoras que puedan arrastrar un convoy de vagones para aumentar la capacidad de extracción por cada viaje.

#### Selección del Riel.

$$q = 9 \left( \frac{P}{2} + 0.00003861 * \frac{P * V^2}{2} \right)^{\frac{2}{3}}$$
$$q = 9 \left( \frac{4 \text{ t}}{2} + 0.00003861 * \frac{4 \text{ t} * \left( 7.5 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right)^2}{2} \right)^{\frac{2}{3}}$$
$$q = 14.29 \text{ kg/m}$$

Donde:

q: peso por cada metro lineal de riel (kg).

V: velocidad máxima del transporte (km/h).

P: carga por eje del transporte más pesado (t).

Según los cálculos se determinó que se necesita de un riel con un peso por metro lineal mínimo de 14.29 kg/m. Sin embargo, se consideró un factor de seguridad (FS) de 1.6 y se seleccionó el riel de perfil ASCE50 (TR25) que tiene un peso por metro lineal de 24.8 kg.

### Espesor del Balasto.

$$IF = \frac{33V * 0.62}{100D * 39.37} * 100$$

$$IF = \frac{33 * 7.5 \frac{km}{h} * 0.62}{100 * 0.68 m * 39.37} * 100$$

$$IF = 5.7 \%$$

Donde:

IF: factor de impacto de la locomotora (%).

V: velocidad máxima de la locomotora (km/h).

D: diámetro de la rueda de la locomotora (m).

$$ABP = \frac{[2P \left(1 + \frac{IF}{100}\right) \left(\frac{DF}{100}\right)]}{A}$$

$$ABP = \frac{[2 * 4409.24 lb \left(1 + \frac{5.7}{100}\right) \left(\frac{43}{100}\right)]}{310 \text{ pulg}^2}$$

$$ABP = 12.9 \text{ psi}$$

Donde:

ABP: presión media del balasto en la cara de la traviesa (psi).

P: carga por rueda (lb).

IF: factor de impacto de la locomotora (%).

DF: factor de distribución (%). 43 para durmientes de madera espaciados a 30 pulg.

A: área de la cara del durmiente (pulg<sup>2</sup>).

$$h = \left(\frac{16.8 * p_a}{p_c}\right)^{\frac{4}{5}}$$

$$h = \left(\frac{16.8 * 12.9 \text{ psi}}{18 \text{ psi}}\right)^{\frac{4}{5}}$$

$$h = 7.3 \text{ pulg} \approx 0.18 \text{ m}$$

Donde:

h: profundidad del balasto bajo la traviesa (pulg).

p<sub>c</sub>: presión de apoyo en el subbalasto para un FS=2, igual a 18 (psi).

p<sub>a</sub>: presión distribuida uniformemente sobre la cara de la traviesa (psi).

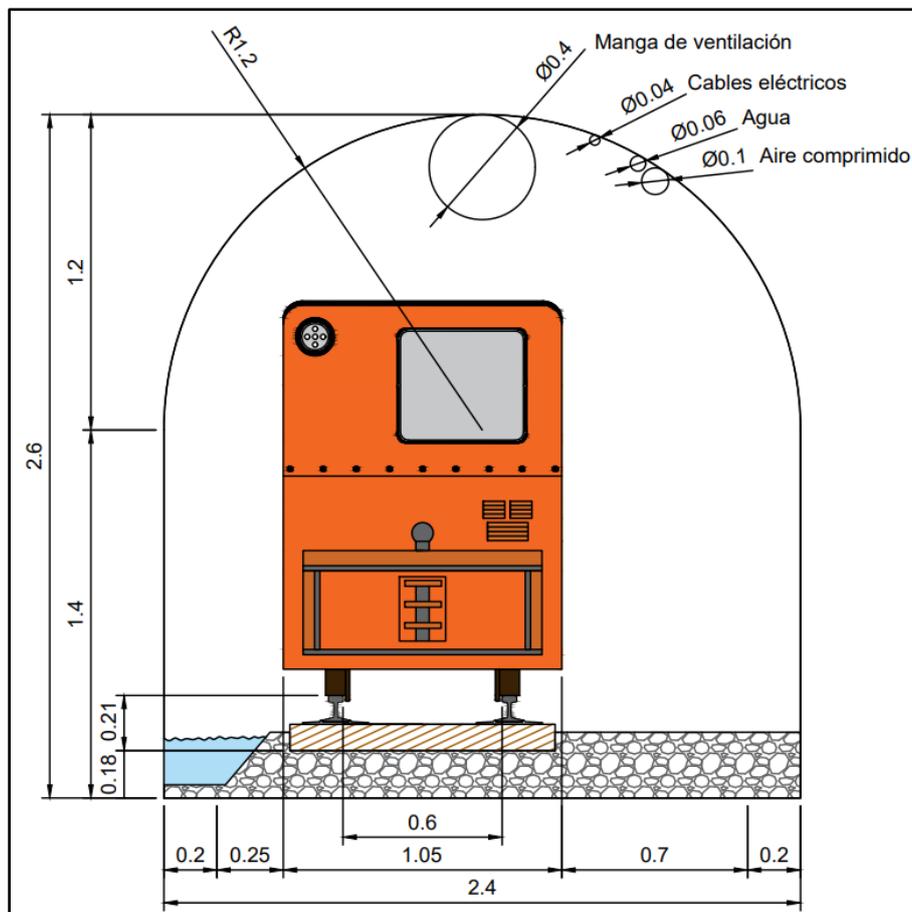
**Gradiente.** Se estableció en una pendiente de 5 en 1000 que es lo mismo que 0.5%.

Los resultados obtenidos para el dimensionamiento del crucero según el transporte, espacios de servicios y espacios de seguridad se resumen en la **Tabla 32**.

**Tabla 32.** Resultados del dimensionamiento del crucero

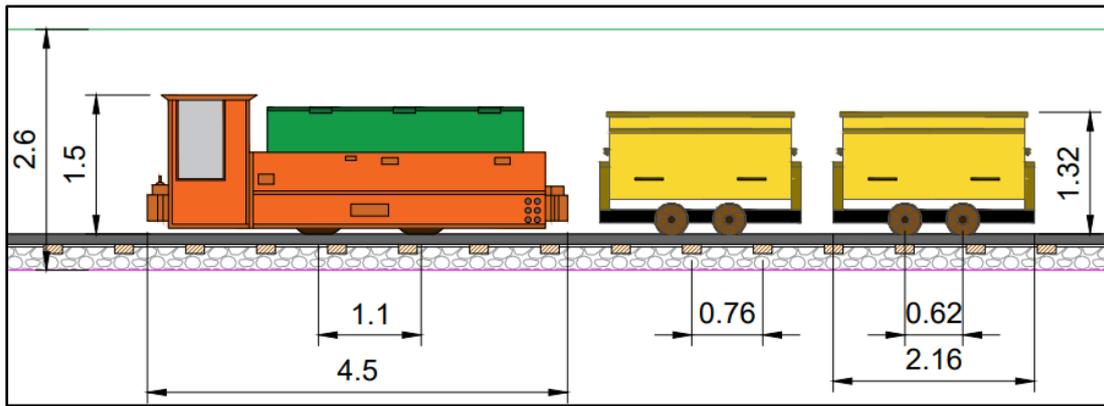
Detalle	Valor
Ancho de excavación	2.4 m
Altura de excavación	2.6 m
Altura de la bóveda	1.2 m
Altura del hastial	1.4 m
Radio de la bóveda	1.2 m
Distancia pared-transporte	0.25 m
Ancho del transporte	1.05 m
Espacio para el personal	0.7 m
Ensanchamiento	0.4 m
Espesor del balasto	0.18 m
Espesor del durmiente	0.10 m
Altura riel/placa de asiento	0.11 m
Altura del transporte	1.5 m
Sección de excavación	5.62 m <sup>2</sup>

El diseño de la sección del crucero se muestra en la **Figura 44**.

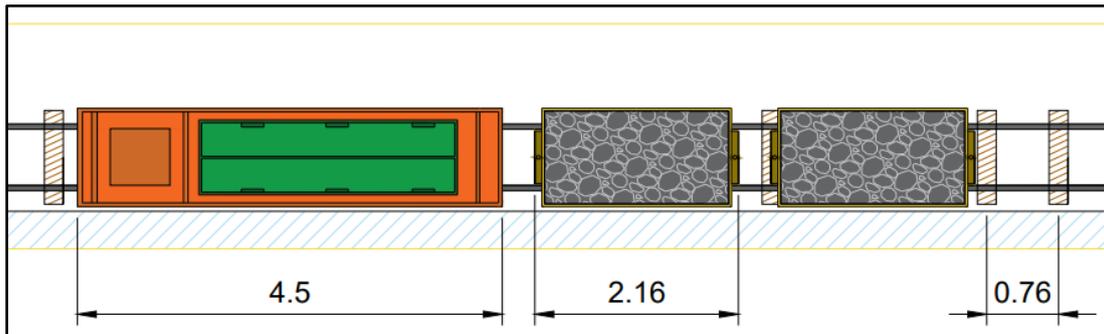


**Figura 44.** Diseño de la sección del crucero vista frontal

**Nota.** El plano completo se puede ver en el **Anexo 8**.



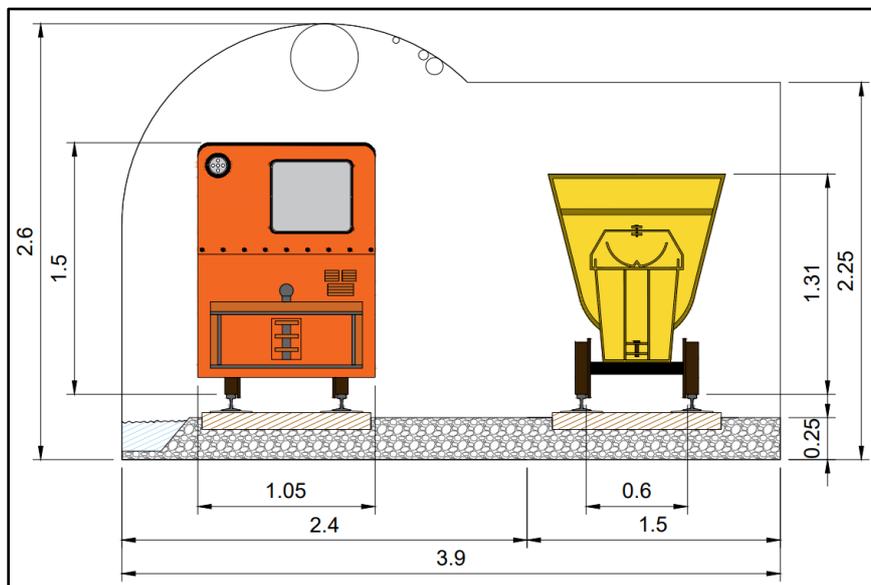
**Figura 45.** Diseño de la sección del crucero vista de perfil



**Figura 46.** Diseño de la sección del crucero vista de planta

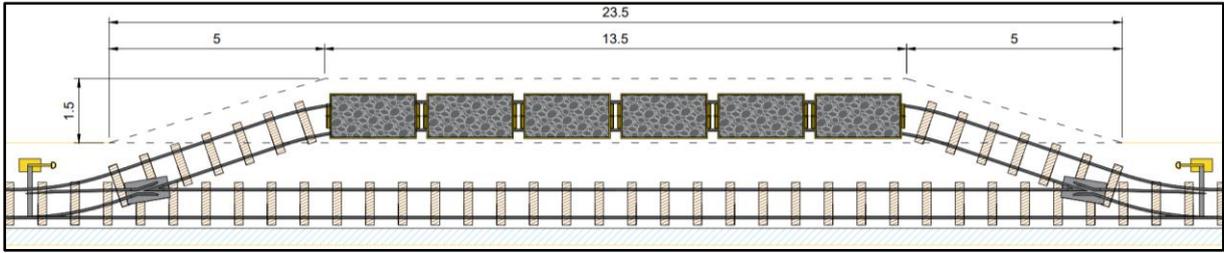
#### 6.2.4. Diseño de Refugios Peatonales y Ensanches Para Vagones.

**Dimensionamiento del Ensanche.** Se determinó dimensionar el ensanche según el ancho del transporte de 1.05 m más 0.35 m de distancia a la pared por cuestiones operativas y 0.10 m de distancia al peatón, dando así un ancho del ensanche de 1.5 m. Para la altura se estableció en 2 m sobre el balasto para que un trabajador entre cómodamente de pie, dando un total de 2.25 m de alto para el ensanche (Ver **Figura 47**).

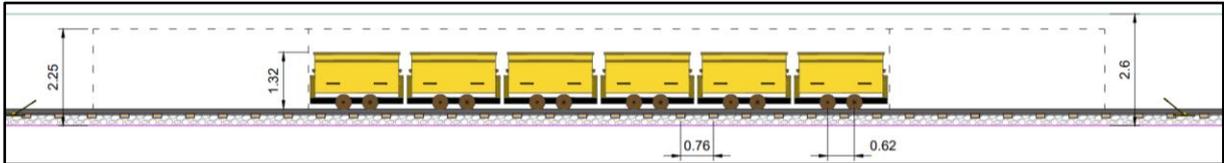


**Figura 47.** Diseño de los ensanches vista frontal

**Nota.** El plano completo se puede ver en el **Anexo 9**.

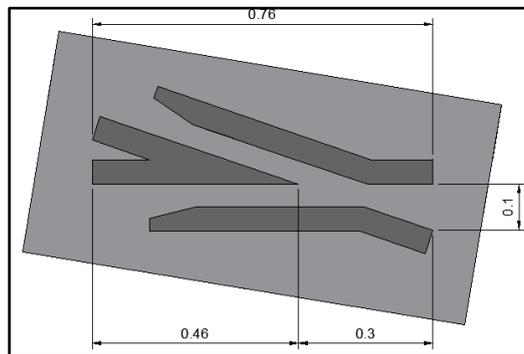


**Figura 48.** *Diseño de los ensanches vista de planta*



**Figura 49.** *Diseño de los ensanches vista de planta*

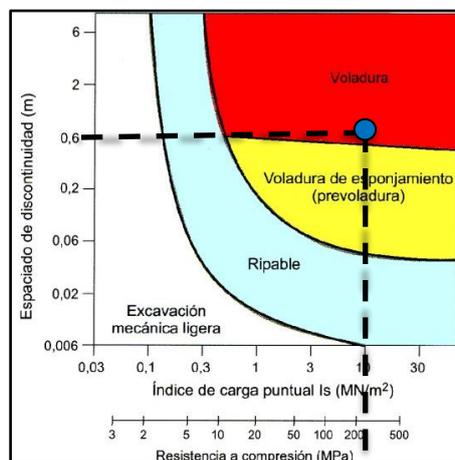
**Diseño del Desvío.** El desvío, también conocido como corazón recto, se diseñó en base al radio de giro mínimo del equipo de transporte que es de 7 m. A partir de ello, sus dimensiones quedaron definidas de acuerdo a la **Figura 50**.



**Figura 50.** *Diseño del corazón recto para el desvío*

### 6.2.5. Elección del tipo de Excavación

El espaciamiento promedio entre las diaclasas de la zona es de 0.6 m y la resistencia a la compresión simple promedio es de 222.21 Mpa. Por lo tanto, como se ve en la **Figura 51** el tipo de excavación que se debe realizar para el cruceo 955 es la Voladura.



**Figura 51.** *Elección del tipo de excavación*

**Nota.** Tomado de Franklin et al. (1971).

### 6.2.6. Pasaporte de Perforación y Voladura.

#### Diámetro Equivalente o Barreno Vacío.

$$\begin{aligned}\phi_2 &= \phi_1 * \sqrt{N} \\ \phi_2 &= 38mm * \sqrt{4} \\ \phi_2 &= 76 mm\end{aligned}$$

Donde:

$\phi_1$ : diámetro de los barrenos de alivio.

N: número de barrenos de alivio o sin carga en el arranque.

#### Longitud de Perforación.

$$\begin{aligned}H &= 0.15 + 34.1 * \phi_2 - 39.4\phi_2^2 \\ H &= 0.15 + 34.1 * 0.038 m - 39.4(0.038 m)^2 \\ H &= 2.52 m\end{aligned}$$

Donde:

H: longitud teórica de barreno con respecto al diámetro equivalente (m).

La longitud de perforación máxima recomendada por Holmberg es de 2.52 m, sin embargo, se estableció en 1.8 m por recomendaciones de avance de RMR.

#### Avance Efectivo.

$$\begin{aligned}L &= 0.95 * H \\ L &= 0.95 * 2.52 m \\ L &= 1.74 m\end{aligned}$$

Donde:

L: avance por voladura estimado (m).

H: longitud práctica de perforación (m).

#### Error de perforación.

$$\begin{aligned}Ep &= \alpha * H + e' \\ Ep &= 0.01 \frac{m}{m} * 1.83 m + 0.02 m \\ Ep &= 0.038 m\end{aligned}$$

Donde:

Ep: error de perforación (m).

$\alpha$ : desviación angular (m/m).

e': error de emboquillaje (m).

H: profundidad de perforación (m).

**Selección del Tipo de Explosivo.** Los explosivos que se usarán en la voladura fueron seleccionados bajo el criterio de impedancia de roca de acuerdo con el resultado de Q de Barton promedio para el cruce 955. Los cálculos realizados se presentan a continuación y se resumen en la **Tabla 33**.

$$Vop = (1000 * \ln Q) + 3500$$

$$Vop = (1000 * \ln 53.1) + 3500$$

$$Vop = 7472.18 \frac{m}{s}$$

$$\text{Impedancia del explosivo} = \rho_e * VoD$$

$$\text{Impedancia del explosivo} = 1.14 \frac{g}{cm^3} * 5700 \frac{m}{s}$$

$$\text{Impedancia del explosivo} = 6498$$

$$\text{Impedancia de la roca} = \rho_r * Vop$$

$$\text{Impedancia de la roca} = 2.89 \frac{g}{cm^3} * 7472.18 \frac{m}{s}$$

$$\text{Impedancia de la roca} = 21594.6$$

$$6498 < 21594.6$$

**Tabla 33.** Criterio de impedancia para la selección del explosivo

Parámetro	Emulnor 3000	Anfo
Q de Barton	53.1	53.1
Vop	7412.18 m/s	7412.18 m/s
$\rho_e$	1.14 g/cm <sup>3</sup>	0.8 g/cm <sup>3</sup>
VoD	5700 m/s	3200 m/s
$\rho_r$	2.89 g/cm <sup>3</sup>	2.89 g/cm <sup>3</sup>
Imp. Roca	21594.6	21594.6
Imp. explosivo	6498	2560
Cumple	SI	SI

Las características de los explosivos se presentan en la **Tabla 34.**

**Tabla 34.** Características del explosivo de carga de fondo

Parámetro	Emulnor 3000 1" x 12"
Densidad relativa	1.14 g/cm <sup>3</sup>
VOD confinado	5700 m/s
Presión de detonación	93 Kbar
Energía	920 kcal/kg
Volumen normal de gases	880 L/kg
RWS potencia relativa por peso	100 %
RBS potencia relativa por volumen	145%
Longitud del explosivo	0.3048 m
$\phi$ del explosivo	0.0254 m
Masa del explosivo por cartucho	0.1736 kg
Sensibilidad al fulminante	N°8
Resistencia al agua	Excelente
Categoría de Humos	Primera

**Tabla 35. Características del explosivo de carga de columna**

<b>Parámetro</b>	<b>Anfo</b>
Densidad relativa	0.80 g/cm <sup>3</sup>
VOD confinado	3200 m/s
Energía	911 kcal/kg
Volumen normal de gases	985 L/kg
Longitud del explosivo	0.30 m
φ del explosivo	0.0318 m
Masa del explosivo por cartucho	kg
Resistencia al agua	Poca

**Sistema de Iniciación.** La iniciación se realizará de manera individual y secuencialmente por secciones en este orden: cuele, ayudas hastiales, ayudas corona, ayudas zapateras, hastiales, corona y finalmente zapateras. El sistema de inicio de la voladura será con fuego mediante el encendido de mecha lenta o de seguridad y posterior detonación del fulminante común N° 8 debido a que se combinan eficientemente con los explosivos a utilizar. Además, en minas con mismas condiciones de trabajo del sector el sistema es de gran uso y ha dado éxito en las voladuras.

**Distribución de Cargas en los Barrenos.**

**Arranque, Ayudas y Zapateras.**

$$\text{Longitud de taco} = 10 * D_1$$

$$T = 10 * 0.038\text{m}$$

$$T = 0.38 \text{ m} \approx 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Longitud carga de fondo} = \frac{H}{3}$$

$$Lcf = \frac{1.8 \text{ m}}{3}$$

$$Lcf = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Longitud carga de columna} = H - (Lcf + T)$$

$$Lcc = 1.8 \text{ m} - (0.61 \text{ m} + 0.3 \text{ m})$$

$$Lcc = 0.9 \text{ m}$$

**Corona y Hastiales.**

$$\text{Longitud de taco} = 10 * D_1$$

$$T = 10 * 0.038\text{m}$$

$$T = 0.38 \text{ m} \approx 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de carga de fondo} = \frac{H}{6}$$

$$Lcf = \frac{1.8 \text{ m}}{6}$$

$$L_{cf} = 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de carga de columna} = H - (L_{cf} + T)$$

$$L_{cc} = 1.8 \text{ m} - (0.3 \text{ m} + 0.3 \text{ m})$$

$$L_{cc} = 1.2 \text{ m}$$

Los resultados de las longitudes de retacado, carga de fondo y de columna para las diferentes secciones se resumen en la **Tabla 36**.

**Tabla 36.** Longitudes de carga para las diferentes secciones

Tipo	Arranque	Zapateras	Corona	Ayudas	Hastiales
L <sub>cc</sub>	0.90 m	0.90 m	1.20 m	0.90 m	1.20 m
L <sub>cf</sub>	0.60 m	0.60 m	0.30 m	0.60 m	0.30 m
T	0.30 m	0.30 m	0.30 m	0.30 m	0.30 m

Donde:

L<sub>cc</sub>: Longitud de Carga en Columna.

L<sub>cf</sub>: Longitud de Carga en Fondo.

T: Taco o Retacado.

### Concentración Lineal de Carga.

#### Carga de Fondo.

$$q_1 = \rho_e * \frac{\pi * (\phi_e)^2}{4} * 10^{-3}$$

$$q_1 = 1.14 \frac{g}{cm^3} * \frac{\pi * (25.4 \text{ mm})^2}{4} * 10^{-3}$$

$$q_1 = 0.58 \frac{kg}{m}$$

#### Carga de Columna.

$$q_2 = \rho_e * \frac{\pi * (\phi_e)^2}{4} * 10^{-3}$$

$$q_2 = 0.80 \frac{g}{cm^3} * \frac{\pi * (31.8 \text{ mm})^2}{4} * 10^{-3}$$

$$q_2 = 0.63 \frac{kg}{m}$$

#### Peso Lineal del Retacado.

$$q_t = \rho_e * \frac{\pi * (\phi_e)^2}{4} * 10^{-3}$$

$$q_t = 1.5 \frac{g}{cm^3} * \frac{\pi * (31.8 \text{ mm})^2}{4} * 10^{-3}$$

$$q_t = 1.19 \frac{kg}{m}$$

Donde:

q: concentración lineal de carga (kg/m).

$\rho_e$ : densidad del explosivo (g/cm<sup>3</sup>).

$\emptyset_e$ : Diámetro del explosivo (mm).

**Selección del Tipo de Arranque o Cuele.** Se determinó un arranque cilíndrico de 4 cuadrantes con 4 taladros de alivio en el centro, esto principalmente debido a la alta resistencia a la compresión y buena calidad de roca que presenta el macizo rocoso en el crucero de estudio. Además, siguiendo las recomendaciones de López Jimeno (2004) sobre eficiencia y avance efectivo logrado por voladura con este tipo de arranque.

#### **Consumo Específico de Explosivo.**

$$SE = \frac{10}{A_T} + 0,6 \times A \times B \times C$$
$$SE = \frac{10}{5.62 \text{ m}^2} + 0.6 \times 1 \times 1.2 \times 1.45$$
$$SE = 2.82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

SE: consumo específico de sustancia explosiva (kg/m<sup>3</sup>).

A<sub>T</sub>: área de excavación (m<sup>2</sup>).

A, B y C: constantes de la roca y explosivo según metodología española.

Según la metodología de Langefors y Kihlström el consumo específico recomendado es el siguiente:

$$SE = \frac{14}{A_T} + 0.8$$
$$SE = \frac{14}{5.62 \text{ m}^2} + 0.8$$
$$SE = 3.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### **Diseño del Arranque de 4 Cuadrantes.**

##### **Burden Primer Cuadrante.**

$$B_{m\acute{a}x} = 1.7 * D_2$$

$$B_{m\acute{a}x} = 1.7 * 0.078 \text{ m}$$

$$B_{m\acute{a}x} = 0.13 \text{ m}$$

$$B_{pr\acute{a}c} = B_{m\acute{a}x} - E_p$$

$$B_{pr\acute{a}c} = 0.13 \text{ m} - 0.038 \text{ m}$$

$$B_{pr\acute{a}c} = 0.09 \text{ m} \approx 0.10 \text{ m}$$

Donde:

E<sub>p</sub>: error de Perforación (m).

D<sub>2</sub>: diámetro equivalente.

##### **Ancho Creado Primer Cuadrante.**

$$Ah_0 = \sqrt{2} * B_{pr\acute{a}c}$$

$$Ah_0 = \sqrt{2} * 0.1 \text{ m}$$

$$Ah_0 = 0.14 \text{ m}$$

### **Burden Segundo Cuadrante.**

$$B_{m\acute{a}x} = 8.8 \times 10^{-2} \times \sqrt{\frac{Ah_0 \times q \times PRP_{anfo}}{D_1 \times c}}$$
$$B_{m\acute{a}x} = 8.8 \times 10^{-2} \times \sqrt{\frac{0.14 \text{ m} \times 0.58 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 1}{0.038 \text{ m} \times 0.717 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$
$$B_{m\acute{a}x} = 0.15 \text{ m}$$

Donde:

Ah: ancho de abertura anterior creado.

PRP<sub>anfo</sub>: potencia relativa en peso referida al Anfo.

D<sub>1</sub>: diámetro de perforación.

c: constante de la roca.

$$B_{pr\acute{a}c} = B_{m\acute{a}x} - E_p$$
$$B_{pr\acute{a}c} = 0.15 \text{ m} - 0.038$$
$$B_{pr\acute{a}c} = 0.11 \text{ m} \approx 0.12 \text{ m}$$

### **Ancho Creado Segundo Cuadrante.**

$$Ah_i = B'_{pr\acute{a}c} + \left(\frac{Ah'}{2}\right) * \sqrt{2}$$
$$Ah_i = 0.12 + \left(\frac{0.14 \text{ m}}{2}\right) * \sqrt{2}$$
$$Ah_i = 0.27 \text{ m}$$

Donde:

Ah': ancho generado del cuadrante anterior.

B<sub>práctico</sub>': burden práctico del cuadrante.

Los cálculos de los demás cuadrantes son similares a los del cuadrante 2. Los resultados se resumen en la **Tabla 37**.

**Tabla 37.** Diseño del arranque

<b>Cuadrante</b>	<b>B<sub>máx</sub> (m)</b>	<b>B<sub>prác</sub> (m)</b>	<b>Ahi (m)</b>	<b>N° Barrenos</b>
Primero	0.13	0.1	0.14	4
Segundo	0.14	0.12	0.27	4
Tercero	0.22	0.20	0.47	4
Cuarto	0.28	0.25	0.69	4

### Constante de Roca.

$$c = 0.8784 * CE + 0.0052$$

$$c = 0.8784 * 0.81 \frac{kg}{m^3} + 0.0052$$

$$c = 0.717 \frac{kg}{m^3}$$

Donde CE es el consumo específico de explosivo.

$$CE = \frac{0.56 * \rho_r * \tan\left(\frac{GSI + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - RQD}{3.3}}}$$

$$CE = \frac{0.56 * 2.89 \frac{g}{cm^3} * \tan\left(\frac{74 + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - 90}{3.3}}}$$

$$CE = 0.81 \frac{kg}{m^3}$$

Donde:

CE: consumo específico.

GSI: índice geological strength index.

RQD: índice rock quality designation.

pr: peso específico aparente de la roca.

### Diseño de la Zapatera.

$$Burden\ máximo = 0.9 * \sqrt{\frac{q_1 * PRP_{anfo}}{C * f * S/B}}$$

$$B_{m\acute{a}x} = 0.9 * \sqrt{\frac{0.58 \frac{kg}{m} * 1}{0.78 \frac{kg}{m^3} * 1.45 * 1}}$$

$$B_{m\acute{a}x} = 0.65\ m$$

$$Burden\ pr\acute{a}ctico = B_{m\acute{a}x} - H * \text{sen}(\gamma) - Ep$$

$$B_{pr\acute{a}c} = 0.65\ m - 1.83\ m * \text{sen}(3^\circ) - 0.038\ m$$

$$B_{pr\acute{a}c} = 0.54\ m$$

Se estableció en 0.40 m debido a las condiciones de alta resistencia a la compresión y buena calidad del macizo rocoso.

$$N\acute{u}mero\ de\ barrenos = \frac{2a + 2H * \text{sen}(\gamma)}{B_{m\acute{a}x} * S/B} + 2$$

$$N_B = \frac{(2.4\ m) + 2(1.83\ m) * \text{sen}(3^\circ)}{0.65\ m * 1} + 2$$

$$N_B = 5.99 \approx 6$$

$$\text{Espaciamiento} = \frac{2a + 2H * \text{sen}(\gamma)}{N_B - 1}$$

$$E = \frac{(2.4 \text{ m}) + 2(1.83 \text{ m}) * \text{sen}(3^\circ)}{6 - 1}$$

$$E = 0.51 \text{ m} \approx 0.50 \text{ m}$$

$$\text{Espaciamiento esquinas} = E - H * \text{sen}(\gamma)$$

$$E_e = 0.50 \text{ m} - (1.83 \text{ m} * \text{sen}(3^\circ))$$

$$E_e = 0.40 \text{ m}$$

$$\text{Constante de roca corregida} = C + \frac{0.07}{B}$$

$$C' = 0.717 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + \frac{0.07}{1.1}$$

$$C' = 0.78 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Los cálculos para los hastiales son similares. Los resultados para zapateras y hastiales se resumen en la **Tabla 38**.

**Tabla 38.** Diseño de zapateras y hastiales.

Parámetro	Zapateras	Hastiales
Burden máximo	0.65 m	0.58 m
Burden práctico	0.54 m	0.40 m
Espaciamiento	0.50 m	0.46 m
Espaciamiento esquinas	0.40 m	N/A
Número de Barrenos	6	6

#### Diseño de la Corona.

$$\text{Espaciamiento} = K * D_1$$

$$E = 15 * 0.038 \text{ m}$$

$$E = 0.57 \text{ m} \approx 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Burden máximo} = \frac{E}{S/B}$$

$$B_{\text{máx}} = \frac{0.57 \text{ m}}{0.8}$$

$$B_{\text{máx}} = 0.71 \text{ m}$$

$$\text{Burden práctico} = B_{\text{máx}} - H * \text{sen}(\gamma) - E_p$$

$$B_{\text{prác}} = 0.71 \text{ m} - 1.83 * \text{sen}(3^\circ) - 0.038 \text{ m}$$

$$B_{\text{prác}} = 0.58 \text{ m} \approx 0.50 \text{ m}$$

$$\text{Número de barrenos} = \frac{2a}{B_{\text{máx}} * S/B} + 2$$

$$N_B = \frac{2.40 \text{ m}}{0.71 \text{ m} * 0.8} + 2$$

$$N_B = 6.22 \approx 6$$

Los resultados del diseño de la corona se muestran en la **Tabla 39**.

**Tabla 39.** Fórmulas para el cálculo de la corona

Parámetro	Corona o Techo
Burden máximo	0.71 m
Burden práctico	0.50 m
Espaciamiento	0.50 m
Número de barrenos	6

### Diseño de Ayudas.

#### Ayudas Hastiales.

$$\text{Burden máximo} = 0.9 * \sqrt{\frac{q_1 * PRP_{\text{anfo}}}{C' * f * S/B}}$$

$$B_{\text{máx}} = 0.9 * \sqrt{\frac{0.58 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 1}{0.78 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.45 * 1.25}}$$

$$B_{\text{máx}} = 0.58 \text{ m}$$

$$\text{Burden práctico} = \frac{2a - Ah_4}{4}$$

$$B_{\text{prác}} = \frac{2.4 \text{ m} - 0.69 \text{ m}}{4}$$

$$B_{\text{prác}} = 0.43 \text{ m} \approx 0.40 \text{ m}$$

$$\text{Número de barrenos} = \frac{2a - Ah_4}{S/B} + 2$$

$$N_B = \frac{2.40 \text{ m} - 0.69 \text{ m}}{1.25} + 2$$

$$N_B = 3$$

$$\text{Espaciamiento} = \frac{Ah_4}{N_B - 1}$$

$$E = \frac{0.69 \text{ m}}{3 - 1}$$

$$E = 0.35 \text{ m} \approx 0.40 \text{ m}$$

Los cálculos para ayudas de zapatera y corona son similares, sin embargo, algunas constantes cambian. Los resultados del diseño de las ayudas se muestran en la **Tabla 40**

**Tabla 40.** *Diseño de las Ayudas*

<b>Parámetro</b>	<b>Ayuda Hastiales</b>	<b>Ayuda Corona</b>	<b>Ayuda Zapatera</b>
Burden máximo	0.58 m	0.64 m	0.58 m
Burden práctico	0.40 m	0.50 m	0.49 m
Espaciamiento	0.40 m	0.50 m	0.50 m
Número de Barrenos	3	3	4

### **Cálculos de Cargas.**

#### **Cargas Arranque.**

$$Q_{FB} = L_{cf} * q_1$$

$$Q_{FB} = 0.61 \text{ m} * 0.58 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Q_{FB} = 0.35 \text{ kg}$$

$$N_{ccf} = \frac{L_{cf}}{L_{\text{cartucho}}}$$

$$N_{ccf} = \frac{0.61 \text{ m}}{0.3048 \text{ m}}$$

$$N_{ccf} = 2 \text{ cartuchos}$$

$$N_{ctcf} = N_{ccf} * N_{BC}$$

$$N_{ctcf} = 2 * 16$$

$$N_{ctcf} = 32 \text{ cartuchos}$$

$$Q_{FT} = Q_{FB} * N_{BC}$$

$$Q_{FT} = 0.35 \text{ kg} * 16$$

$$Q_{FT} = 5.6 \text{ kg}$$

$$Q_{CB} = L_{cc} * q_2$$

$$Q_{CB} = 0.9 \text{ m} * 0.63 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Q_{CB} = 0.56 \text{ kg}$$

$$N_{ccc} = \frac{L_{cc}}{L_{\text{cartucho}}}$$

$$N_{ccc} = \frac{0.9 \text{ m}}{0.30 \text{ m}}$$

$$N_{ccc} = 3 \text{ cartuchos}$$

$$N_{ctcc} = N_{ccc} * N_{BC}$$

$$N_{ctcc} = 3 * 16$$

$$N_{ctcc} = 48 \text{ cartuchos}$$

$$Q_{CT} = Q_{CB} * N_{BC}$$

$$Q_{CT} = 0.56 \text{ kg} * 16$$

$$Q_{CT} = 8.9 \text{ kg}$$

$$Q_{TB} = Q_{FB} + Q_{CB}$$

$$Q_{TB} = 0.35 \text{ kg} + 0.56 \text{ kg}$$

$$Q_{TB} = 0.91 \text{ kg}$$

$$Q_T = Q_{TB} * N_{BC}$$

$$Q_T = 0.91 \text{ kg} * 16$$

$$Q_T = 14.5 \text{ kg}$$

Los cálculos para el arranque son iguales para zapateras y ayudas. Los resultados se encuentran resumidos en la **Tabla 41**.

**Tabla 41.** Cálculos de carga para arranque, zapateras y ayudas

<b>Sección</b>	<b>Carga de Fondo</b>		<b>Carga de Columna</b>	
<b>Arranque</b>	Carga Fondo/Barreno	0.35 kg	Carga Columna/Barreno	0.56 kg
	Cartuchos Fondo/barreno	2 cartuchos	Cartuchos Columna/barreno	3 cartuchos
	Cartuchos de Fondo	32	Cartuchos de Columna	48
	Totales	cartuchos	Totales	cartuchos
	Carga Fondo Total	5.6 kg	Carga Columna Total	8.9 kg
	Carga Total/barreno		0.91 kg	
	Carga Total		14.5 kg	
<b>Zapateras</b>	Carga Fondo/Barreno	0.35 kg	Carga Columna/Barreno	0.56 kg
	Cartuchos Fondo/barreno	2 cartuchos	Cartuchos Columna/barreno	3 cartuchos
	Cartuchos de Fondo	12	Cartuchos de Columna	18
	Totales	cartuchos	Totales	cartuchos
	Carga Fondo Total	2.1 kg	Carga Columna Total	3.36 kg
	Carga Total/barreno		0.91 kg	
	Carga Total		5.46 kg	
<b>Ayuda Hastiales</b>	Carga Fondo/Barreno	0.35 kg	Carga Columna/Barreno	0.56 kg
	Cartuchos Fondo/barreno	2 cartuchos	Cartuchos Columna/barreno	3 cartuchos
	Cartuchos de Fondo	12	Cartuchos de Columna	18
	Totales	cartuchos	Totales	cartuchos
	Carga Fondo Total	2.1 kg	Carga Columna Total	3.36 kg
	Carga Total/barreno		0.91 kg	
	Carga Total		5.46 kg	
<b>Ayuda Corona</b>	Carga Fondo/Barreno	0.35 kg	Carga Columna/Barreno	0.56 kg
	Cartuchos Fondo/barreno	2 cartuchos	Cartuchos Columna/barreno	3 cartuchos
	Cartuchos de Fondo	6	Cartuchos de Columna	9
	Totales	cartuchos	Totales	cartuchos
	Carga Fondo Total	1.05 kg	Carga Columna Total	1.68 kg
	Carga Total/barreno		0.91 kg	
	Carga Total		2.73 kg	

	Carga	0.35 kg	Carga	0.56 kg
	Fondo/Barreno		Columna/Barreno	
	Cartuchos	2	Cartuchos	3
<b>Ayuda</b>	Fondo/barreno	cartuchos	Columna/barreno	cartuchos
<b>Zapatera</b>	Cartuchos de Fondo	8	Cartuchos de Columna	12
	Totales	cartuchos	Totales	cartuchos
	Carga Fondo Total	1.4 kg	Carga Columna Total	2.24 kg
	Carga Total/barreno		0.91 kg	
	Carga Total		3.64 kg	

### **Cargas Hastiales y Corona.**

$$Q_{FB} = L_{cf} * q_1$$

$$Q_{FB} = 0.305 \text{ m} * 0.58 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Q_{FB} = 0.177 \text{ kg}$$

$$N_{ccf} = \frac{L_{cf}}{L_{cartucho}}$$

$$N_{ccf} = \frac{0.305 \text{ m}}{0.3048 \text{ m}}$$

$$N_{ccf} = 1 \text{ cartucho}$$

$$N_{ctcf} = N_{ccf} * N_{BC}$$

$$N_{ctcf} = 1 * 6$$

$$N_{ctcf} = 6 \text{ cartuchos}$$

$$Q_{FT} = Q_{FB} * N_{BC}$$

$$Q_{FT} = 0.177 \text{ kg} * 6$$

$$Q_{FT} = 1.06 \text{ kg}$$

$$Q_{CB} = L_{cc} * q_2$$

$$Q_{CB} = 1.2 \text{ m} * 0.63 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Q_{CB} = 0.75 \text{ kg}$$

$$N_{ccc} = \frac{L_{cc}}{L_{cartucho}}$$

$$N_{ccc} = \frac{1.2 \text{ m}}{0.30 \text{ m}}$$

$$N_{ccc} = 4 \text{ cartuchos}$$

$$N_{ctcc} = N_{ccc} * N_{BC}$$

$$N_{ctcc} = 4 * 6$$

$$N_{ctcc} = 24 \text{ cartuchos}$$

$$Q_{CT} = Q_{CB} * N_{BC}$$

$$Q_{CT} = 0.75 \text{ kg} * 6$$

$$Q_{CT} = 4.5 \text{ kg}$$

$$Q_{TB} = Q_{FB} + Q_{CB}$$

$$Q_{TB} = 0.177 \text{ kg} + 0.75 \text{ kg}$$

$$Q_{TB} = 0.92 \text{ kg}$$

$$Q_T = Q_{TB} * N_{BC}$$

$$Q_T = 0.92 \text{ kg} * 6$$

$$Q_T = 5.52 \text{ kg}$$

Para las secciones de la corona y hastiales, los cálculos se realizan de igual manera, los resultados de estas secciones se pueden visualizar en la **Tabla 42**.

**Tabla 42. Cálculos de carga para corona y hastiales**

Sección	Carga de Fondo		Carga de Columna	
<b>Corona</b>	Carga Fondo/Barreno	0.177 kg	Carga Columna/Barreno	0.75 kg
	Cartuchos Fondo/barreno	1 cartucho	Cartuchos Columna/barreno	4 cartuchos
	Cartuchos de Fondo Totales	6 cartuchos	Cartuchos de Columna Totales	24 cartuchos
	Carga Fondo/Barreno	1.06 kg	Carga Columna/Barreno	4.5 kg
	Carga Total/barreno		0.92 kg	
	Carga Total		5.52 kg	
<b>Hastiales</b>	Carga Fondo/Barreno	0.177 kg	Carga Columna/Barreno	0.75 kg
	Cartuchos Fondo/barreno	1 cartucho	Cartuchos Columna/barreno	4 cartuchos
	Cartuchos de Fondo Totales	6 cartuchos	Cartuchos de Columna Totales	24 cartuchos
	Carga Fondo/Barreno	1.06 kg	Carga Columna/Barreno	4.5 kg
	Carga Total/barreno		0.92 kg	
	Carga Total		5.52 kg	

**Carga de Arena de Retacado.**

$$Q_{TB} = T * q_t$$

$$Q_{FB} = 0.30 \text{ m} * 1.19 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Q_{FB} = 0.36 \text{ kg}$$

$$N_T = \frac{T}{L_{\text{cartucho}}}$$

$$N_T = \frac{0.30}{0.30}$$

$$N_T = 1$$

$$N_{TT} = N_T * N_{BC}$$

$$N_{TT} = 1 * 47$$

$$N_{TT} = 1 * 47$$

$$Q_{TT} = Q_{TB} * N_{BC}$$

$$Q_{TT} = 0.36 \text{ kg} * 47$$

$$Q_{TT} = 16.92 \text{ kg}$$

Los resultados de cargas para cada una de las secciones se resumen en la **Tabla 43**.

**Tabla 43.** Cálculos de carga total por voladura

Sección	Carga de fondo	Carga de columna	Carga total
Arranque	5.6 kg	8.9 kg	14.5 kg
Zapateras	2.10 kg	3.36 kg	5.46 kg
Ayuda hastiales	2.10 kg	3.36 kg	5.46 kg
Ayuda corona	1.05 kg	1.68 kg	2.73 kg
Ayuda zapatera	1.40 kg	2.24 kg	3.64 kg
Corona	1.06 kg	4.5 kg	5.52 kg
Hastiales	1.06 kg	4.5 kg	5.52 kg
<b>Carga Total por Voladura</b>	<b>14.3 kg</b>	<b>28.5 kg</b>	<b>42.8 kg</b>

### Mecha Lenta de Seguridad y Fulminantes.

$$M_L = \frac{\text{tiempo de seguridad}}{V_C}$$

$$M_L = \frac{300 \text{ seg}}{165 \frac{\text{seg}}{\text{m}}}$$

$$M_L = 1.82 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

$$M_{LTotal} = M_L * N_{BC}$$

$$M_{LTotal} = 2 \text{ m} * 47$$

$$M_{LTotal} = 94 \text{ m}$$

Donde:

$M_L$ : longitud de mecha lenta por cada barreno (m).

$V_C$ : velocidad de combustión de la mecha lenta.

$N_{BC}$ : número de barrenos cargados.

Se necesitará 94 m de mecha de seguridad por cada voladura, más medio metro de mecha para realizar el encendido.

El número de fulminantes es uno por cada barreno cargado por lo que serán 47 fulminantes por voladura.

### Cálculo de las Variables Tecnológicas.

#### Volumen Arrancado por Voladura.

$$V_T = A_T * L$$

$$V_T = 5.62 \text{ m}^2 * 1.74 \text{ m}$$

$$V_T = 9.78 \text{ m}^3$$

#### Tonelaje Arrancado por Voladura.

$$T = \rho_a * V_T$$

$$T = 2.89 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3} * 9.78 \text{ m}^3$$

$$T = 28.26 \text{ tn}$$

**Factor de Carga Lineal.**

$$F_{cl} = \frac{Q_T}{L}$$

$$F_{cl} = \frac{42.8 \text{ kg}}{1.74 \text{ m}}$$

$$F_{cl} = 24.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

**Factor de Carga.**

$$FC = \frac{Q_T}{V_T}$$

$$FC = \frac{42.8 \text{ kg}}{9.78 \text{ m}^3}$$

$$FC = 4.37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Factor de Potencia.**

$$FP = \frac{Q_T}{T}$$

$$FP = \frac{42.8 \text{ kg}}{28.26 \text{ tn}}$$

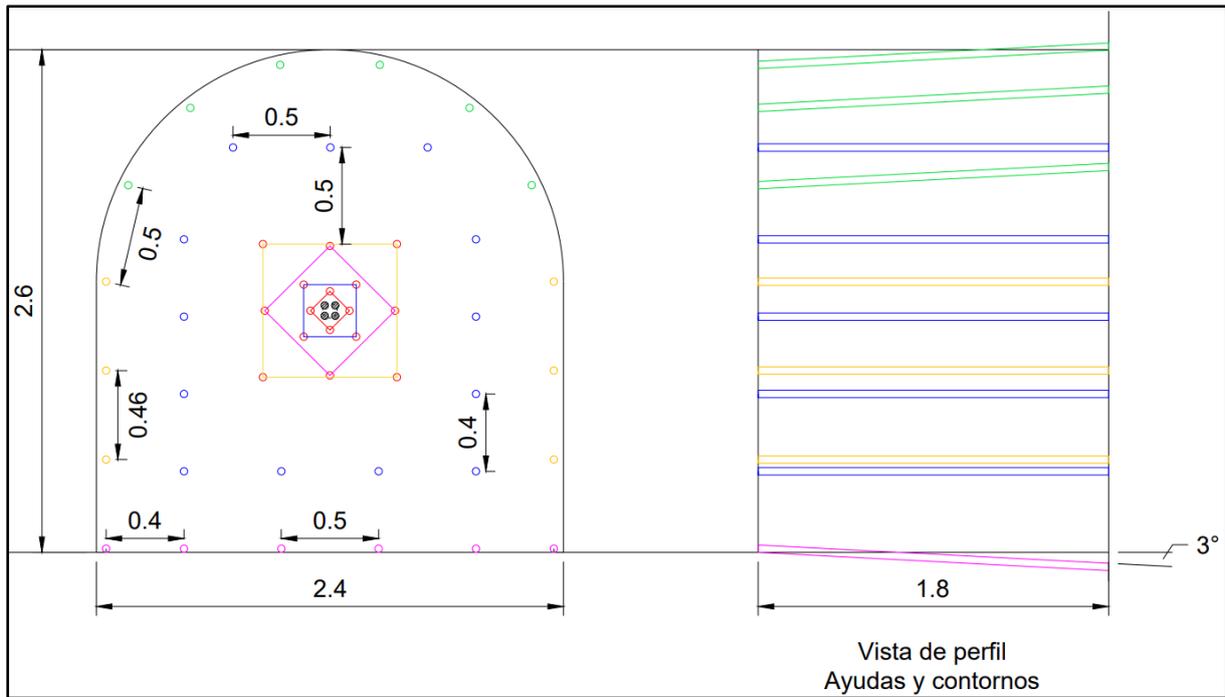
$$FP = 1.51 \frac{\text{kg}}{\text{tn}}$$

Los resultados se resumen en la **Tabla 44**.

**Tabla 44.** Factores tecnológicos relacionados a la voladura

Parámetro	Fórmulas
Volumen de Roca / Voladura	9.78 m <sup>3</sup>
Toneladas de Roca / Voladura	28.26 tn
Factor de Carga / Metro Lineal	24.6 kg/m
Factor de Carga	4.37 kg/m <sup>3</sup>
Factor de Potencia	1.51 kg/tn

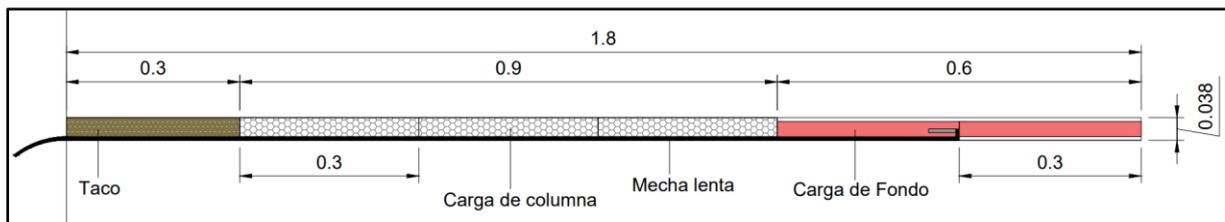
La representación de los resultados para el diseño del pasaporte de perforación y voladura se puede observar en la **Figura 52**.



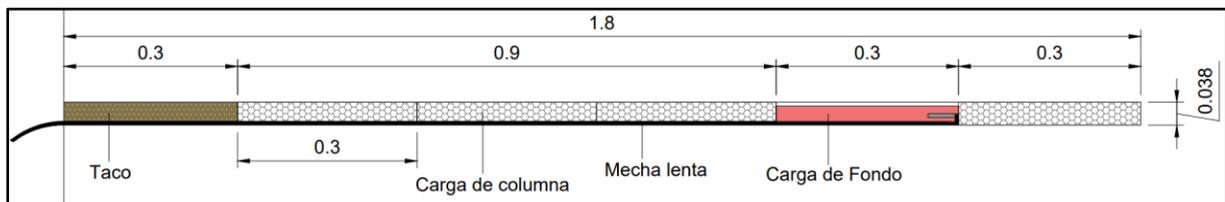
**Figura 52.** Diseño del pasaporte de perforación y voladura

**Nota.** El plano completo se puede ver en el Anexo 10.

La distribución de carga en los barrenos quedó predefinida de dos formas. Una para la sección de arranque, ayudas y zapateras (Ver **Figura 48**); y otra para la sección de contornos: corona y hastiales (Ver **Figura 57**).



**Figura 53.** Distribución de carga para arranque, ayudas y zapateras

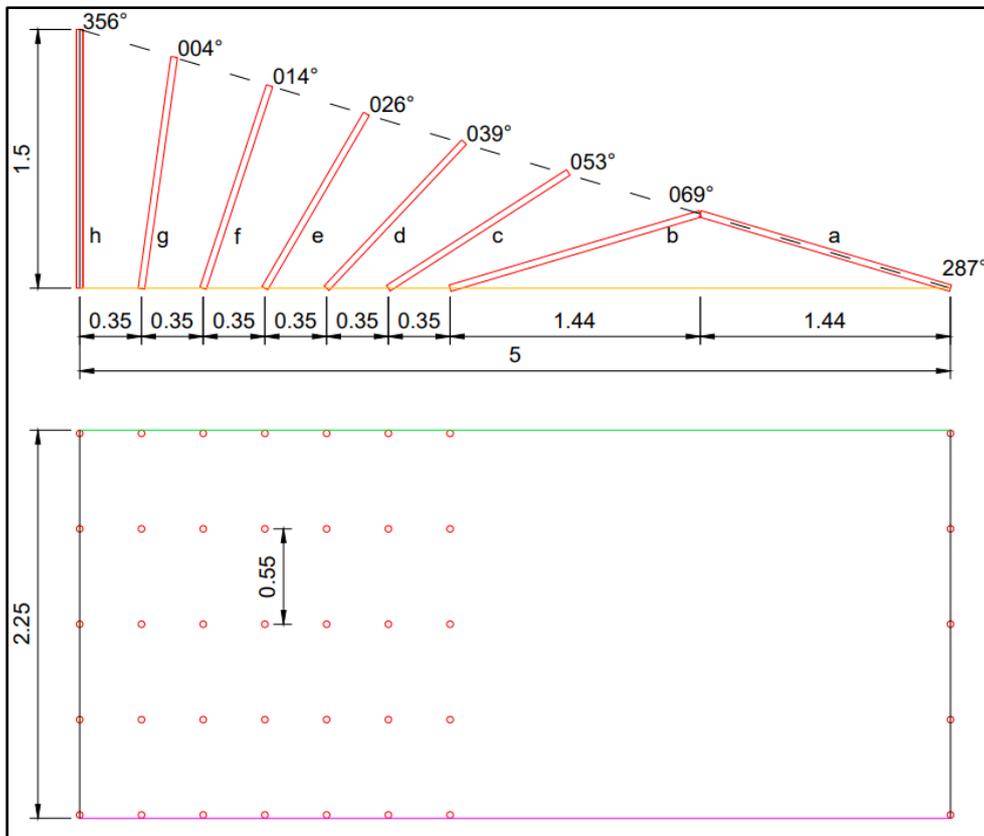


**Figura 54.** Distribución de carga para corona y hastiales

**Pasaporte de Perforación y Voladura para el Ensanche.** El diseño del pasaporte para el tramo central y final del ensanche se realizó con las mismas fórmulas utilizadas para los hastiales del pasaporte del crucero. Por otra parte, para generar el tramo inicial del nicho se utilizó un arranque de tipo abanico con barrenos inclinados, logrando así generar la parte inicial. Los resultados del diseño del pasaporte para el ensanche se detallan en las **Tabla 45, 46 y 47**; y su distribución se puede observar en las **Figura 55, 56 y 57**.

**Tabla 45.** Distribución de barrenos tramo inicial del ensanche

Barreno	Dirección y longitud de perforación
a	287° / 1.5 m
b	069° / 1.5 m
c	053° / 1.23 m
d	039° / 1.16 m
e	026° / 1.16 m
f	014° / 1.23 m
g	004° / 1.36 m
h	356° / 1.5 m
Barrenos por fila	8
Barrenos por columna	5
Barrenos totales	40

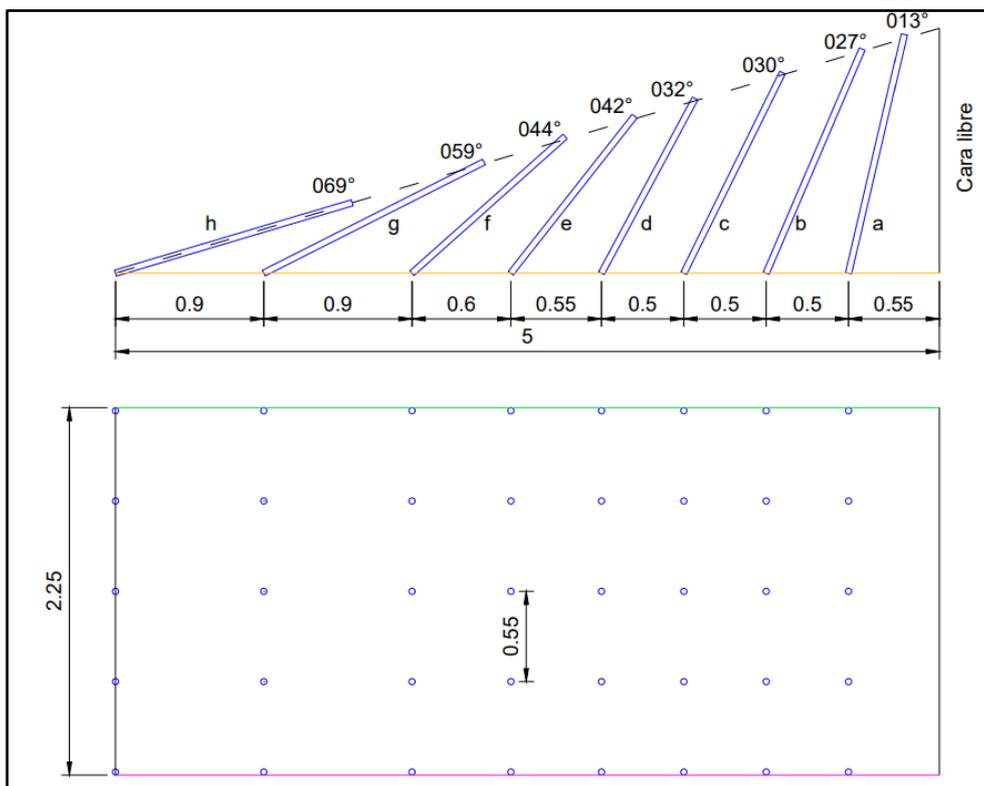


**Figura 55.** Diseño del pasaporte para el tramo inicial del ensanche

**Nota.** El plano completo se puede ver en el **Anexo 11**.

**Tabla 46.** Distribución de barrenos tramo final del ensanche

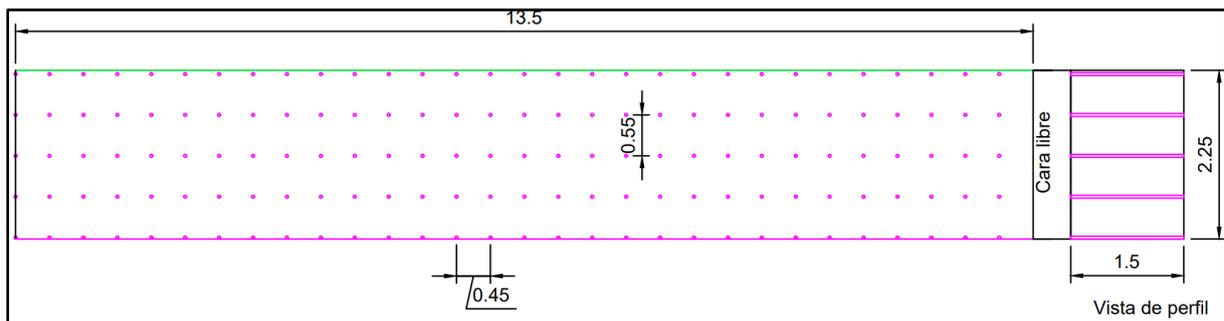
Barreno	Dirección y longitud de perforación
a	013° / 1.5 m
b	027° / 1.5 m
c	030° / 1.37 m
d	032° / 1.22 m
e	042° / 1.22 m
f	044° / 1.25 m
g	059° / 1.5 m
h	069° / 1.5 m
Barrenos por fila	8
Barrenos por columna	5
Barrenos totales	40



**Figura 56.** Diseño del pasaporte para el tramo final del ensanche

**Tabla 47.** Distribución de barrenos tramo central del ensanche

Barreno	Dirección y longitud de perforación
a	176° / 1.5 m
b	176° / 1.5 m
c	176° / 1.5 m
d	176° / 1.5 m
e	176° / 1.5 m
Barrenos por fila	30
Barrenos por columna	5
Barrenos totales	150



**Figura 57.** Diseño del pasaporte para el tramo central del ensanche

**Nota.** El plano completo se puede ver en el **Anexo 11**.

### 6.2.7. Cálculo de la Ventilación

Para obtener la ventilación se consideró el consumo específico de la sustancia explosiva por voladura, el número de personas que trabajarán en el frente y el caudal necesario para remover polvos. Además, considerando un factor de seguridad por pérdidas o fugas del 15% adicional.

Considerando estos parámetros se estableció que para brindar una ventilación suficiente para garantizar la salud y seguridad del personal que laborará en la construcción del crucero se requiere de un sistema de ventilación impelente o soplante debido a que es una labor de un solo acceso (labor ciega) con un ventilador auxiliar instalado al inicio del crucero y con una capacidad mínima de caudal de aire de 282.4 m<sup>3</sup>/min.

#### Cantidad de Aire de Acuerdo a la Cantidad de Sustancia Explosiva.

$$Q_{SE} = \frac{100 * A * a}{d * t}$$

Donde:

Q = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado (m<sup>3</sup>/min.)

A = Cantidad de explosivo detonado, equivalente a dinamita 60% (Kg.)

a = Volumen de gases generados por cada kg de explosivo.

a = 0.04 (m<sup>3</sup>/kg. de explosivo); valor tomado como norma general.

d = % de dilución de los gases en la atmósfera, deben ser diluidos a no menos de 0.008 % y se aproxima a 0.01 %.

t = tiempo de dilución de los gases (minutos); generalmente, este tiempo no es mayor de 30 minutos, cuando se trata de detonaciones corrientes.

$$Q_{SE} = \frac{100 * (0.60 * 42.8 \text{ kg}) * (0.04 \frac{m^3}{kg})}{0.01\% * 60\text{min}}$$

$$Q_{SE} = 171.2 \frac{m^3}{\text{min}}$$

### **Cantidad de Aire de Acuerdo al Número de Trabajadores.**

Según el reglamento de Seguridad y Salud en el trabajo en el ámbito minero, en el Capítulo IV, Artículo 104, establece que para alturas de hasta 1500 metros sobre el nivel del mar, el flujo mínimo de aire requerido por persona es de 3 m<sup>3</sup>/min. Se consideró este valor debido a que Mina Paraíso y la labor como tal se encuentra a una cota máxima de 512.13 m.s.n.m.

Dato: Máximo de 8 personas en el frente de trabajo.

$$Q_{PT} = q * n$$

$$Q_{PT} = 3 \frac{m^3}{\text{min}} * 8 = 24 \frac{m^3}{\text{min}}$$

### **Caudal de Aire Para Remover Polvos.**

Velocidad de aire: 0.15 m/s

Sección de franqueo: 5.62 m<sup>2</sup>

$$Q_{PV} = 0.15 * \text{Sección de franqueo}$$

$$Q_{PV} = 0.15 \frac{m}{s} * 5.62 m^2 = 0.84 \frac{m^3}{s} = 50.4 \frac{m^3}{\text{min}}$$

### **Caudal de Aire Total.**

$$Q_{T1} = Q_{SE} + Q_{PT} + Q_{PV}$$

$$Q_{T1} = 171.2 \frac{m^3}{\text{min}} + 24 \frac{m^3}{\text{min}} + 50.4 \frac{m^3}{\text{min}} = 245.6 \frac{m^3}{\text{min}} = 4.09 \frac{m^3}{s}$$

### **Caudal de Aire por Pérdidas.**

$$Q_{FU} = 15\% \times Q_{T1}$$

$$Q_{FU} = 15\% \times 4.09 \frac{m^3}{s} = 0.61 \frac{m^3}{s} = 36.8 \frac{m^3}{\text{min}}$$

### **Caudal de Aire Requerido.**

$$Q_R = Q_{T1} + Q_{FU}$$

$$Q_R = 245.6 \frac{m^3}{\text{min}} + 36.8 \frac{m^3}{\text{min}} = 282.4 \frac{m^3}{\text{min}} = 4.7 \frac{m^3}{s}$$

De acuerdo a los cálculos y según recomendaciones de ventilación del Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Ámbito Minero de Ecuador y la Guía de Seguridad

Para Ventilación de Minas Subterráneas de Perú, se implementará un sistema de ventilación soplante para eliminar los polvos y gases contaminantes generados por las voladuras. Para ello, se utilizará una manga de ventilación con un diámetro de 40 cm junto con un ventilador axial modelo VAF8000A-3 que se instalará al inicio del cruce. Las especificaciones de este ventilador se encuentran detalladas en la **Tabla 48**.

**Tabla 48.** *Características del ventilador*

<b>Especificaciones Técnicas del Ventilador</b>		
Diámetro	0.52	m
Peso	53.97	kg
Altura	0.698	m
Longitud	0.698	m
Caudal de Aire	290	m <sup>3</sup> /s
Voltaje	230	V (CA)
Frecuencia	60/50	Hz
Revoluciones	3450	r.p.m.



**Figura 58.** *Ventilador axial VAF8000A-3.*

**Nota.** Tomado de Bisco (2024).

### **6.2.8. Saneamiento**

Para el saneamiento el primer paso será regar el frente y revisar minuciosamente el estado del techo y los hastiales de la excavación, así como comprobar que no hayan quedado tiros sin detonar. En el caso de existir uno se debe proceder cuidadosamente con su eliminación. El procedimiento de saneamiento será con una barretilla de acero debidamente condicionada para la operación, de longitud de 2 m, colocándolo a un ángulo de 45° respecto a la horizontal para el saneo y en dirección del avance de la galería de atrás hacia el frente.

### 6.2.9. Carga y Transporte

El cargado del material volado en el frente se realizará con ayuda de una pala neumática modelo Eimco 12B haciéndose el carguío en vagones modelo V40. El transporte se realizará en un solo convoy de 13 vagones arrastrados por una locomotora a baterías modelo CTY8/6GP.

#### Número de Vagones Requerido.

$$N_v = \frac{(V_r * F_e) - V_b}{C_v * F_{II}}$$

$$N_v = \frac{(9.78 \text{ m}^3 * 1.4) - 0.81 \text{ m}^3}{1.13 \text{ m}^3 * 0.9}$$

$$N_v = \frac{(9.78 \text{ m}^3 * 1.4) - 0.81 \text{ m}^3}{1.13 \text{ m}^3 * 0.9}$$

$$N_v = 12.67 \approx 13 \text{ vagones}$$

Donde:

V<sub>r</sub>: Volumen de roca volada.

F<sub>e</sub>: Factor de esponjamiento.

V<sub>v</sub>: Volumen para balasto.

K<sub>v</sub>: Capacidad del vagón.

F<sub>II</sub>: Factor de llenado.

Las especificaciones de la locomotora se pueden observar en la **Tabla 49**.

**Tabla 49.** Características de la locomotora

Especificaciones Técnicas de la Locomotora	
Modelo	CTY8/6GP
Trocha	0.6 m
Longitud	4.5 m
Altura sobre el riel	1.5 m
Ancho	1.05 m
Distancia entre ejes	1.1 m
Peso	8 tn
Fuerza de tracción	11.18 KN
Fuerza de tracción máxima	19.6 KN
Diámetro de la rueda	0.68 m
Velocidad	7.5 km/h
Radio de giro mínimo	7 m
Voltaje de alimentación	110 V
Altura de tracción	0.21 m
Modo de frenado	Freno mecánico



**Figura 59.** Locomotora a batería CTY8/6GP

**Nota.** Tomado de Shaoli (2024).

Las especificaciones de los vagones se pueden observar en la **Tabla 50**.

**Tabla 50.** Características de los vagones

<b>VAGÓN MINERO MODELO V40</b>	
Capacidad (m <sup>3</sup> )	1.13
Altura sobre riel (mm)	1313
Distancia entre ejes (mm)	620
Trocha (mm)	500/600
Longitud total (mm)	2155
Ancho total (mm)	1045
Diámetro de rueda	14 pulgadas
Peso total (kg)	1220



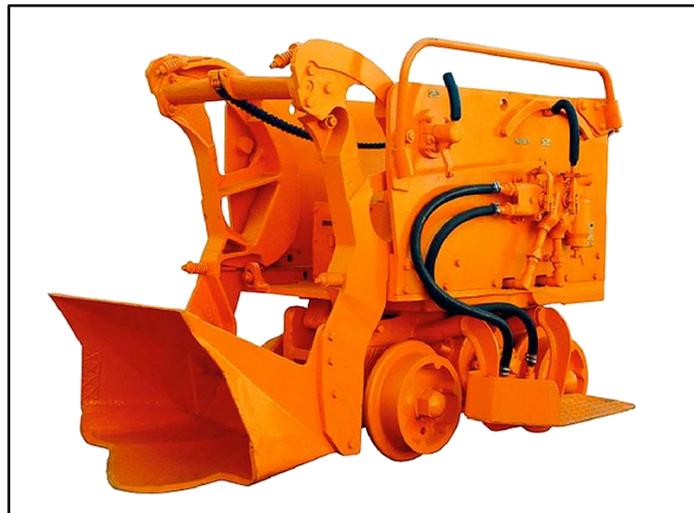
**Figura 60.** Vagones mineros V40

**Nota.** Tomado de Sermecin (2024).

Las especificaciones de los vagones se pueden observar en la **Tabla 51**.

**Tabla 51.** *Características de la pala cargadora.*

<b>EIMCO 12B</b>	
Características	Especificaciones
Ancho general	735 mm
Ancho de Operación	865 mm
Largo General	1120 mm
Largo con cuchara abajo	1805 - 1980 mm
Alto con cuchara abajo	1220 - 1295 mm
Alto en descarga	1995 - 2110 mm
Alto de cuchara en descarga	1170 - 1500 mm
Trocha	380 - 915 mm
Rango de presión de aire	4.2 - 8.8 kg/cm <sup>2</sup>
Diámetro de manguera	20 - 25 mm
Ciclo de carga	6 seg
Capacidad de cuchara	0.13 - 0.17 m <sup>3</sup>
Capacidad de carga	0.5 - 1 m <sup>3</sup> /min
Motores (Neumáticos)	2
Peso	1905 kg
Consumo de Aire	250 cfm



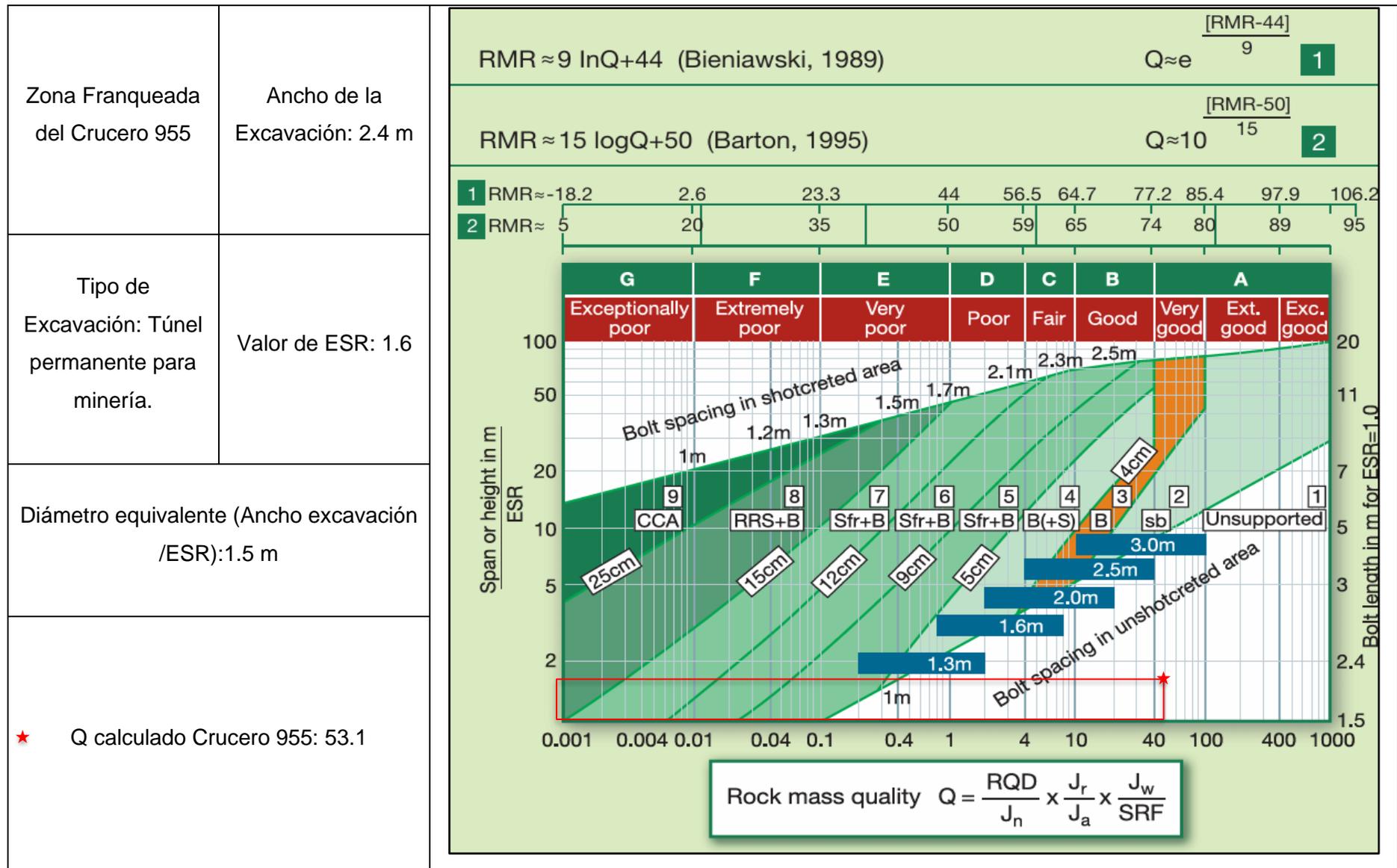
**Figura 61.** *Pala neumática EIMCO 12B*

**Nota.** Tomado de Serminsa (2024).

#### **6.2.10. Cálculo del Sostenimiento**

Con base a los resultados de la caracterización geomecánica de la zona ya franqueada del crucero 955 presentados en la **Tabla 23** y junto a la metodología propuesta por Barton y Bieniawski (2008) para la elección del sostenimiento en túneles, el mismo corresponderá a lo que se establece en la **Tabla 52**.

**Tabla 52. Selección de sostenimiento**



Con base en los resultados de la **Tabla 52** se determinó que para el crucero 955 que será franqueado en roca de calidad entre Buena y Muy buena según RMR y Q de Barton, no se requerirá métodos de soporte o sostenimiento, debido a que la relación del valor de Q con el diámetro equivalente de la excavación cae sobre la zona 1 de la gráfica, es decir, el macizo es estable sin requerir de soporte. Por tanto, se puede interpretar que el tramo del crucero por franquear cuenta con una calidad semejante que la zona ya franqueada y no requerirá de la instalación de sostenimiento adicional a excepción de pernos de anclaje ocasionales en posibles apariciones de cuñas con un factor de seguridad bajo.

### 6.2.11. Cálculo del Drenaje

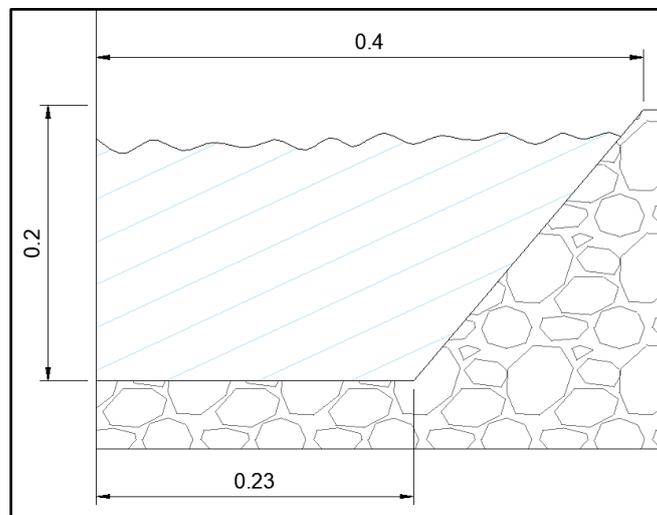
Luego de realizado el levantamiento geológico y geomecánico de la zona en que se proyecta la construcción del crucero, se determinó que no existe presencia de aguas subterráneas, por lo que el único caudal de agua que se consideró para el diseño del drenaje es el que se usará por futuros trabajos de explotación que es de 0.05 L/s por máquina perforadora modelo Jack Leg YT27, como se proyecta el trabajo continuo de al menos cuatro de está máquinas a la vez se trabajará con un caudal de 0.2 L/s.

Dato: Caudal de agua utilizado por perforadora Jack Leg YT27: 0.05 L/s

$$Q_{\text{Agua total}} = \text{Caudal por máquina} * N^{\circ} \text{ máquinas trabajo simultáneo}$$

$$Q_{\text{Agua total}} = 0.05 \frac{L}{s} * 4 = 0.2 \frac{L}{s} = 12 \frac{L}{\text{min}}$$

Considerando el caudal de agua, se consideró el diseño de una cuneta de drenaje con una profundidad de 0.2 m y con la misma gradiente del crucero de 0.5 %, junto al hastial izquierdo. El drenaje está delimitado por la roca del hastial y el balasto. Las dimensiones del drenaje se observan en la **Figura 62**.



**Figura 62.** Diseño de la cuneta de drenaje

### 6.2.12. Cálculo de la Iluminación

Se optó por una tira LED Sylvania modelo P29947 debido al ahorro en espacio y consumo energético que estas tienen.

#### Factor de Utilización.

$$k = \frac{a * b}{h * (a + b)}$$
$$k = \frac{2.4 * 118}{2.35 * (2.4 + 118)} = 1.0009$$
$$Cu = 0.45$$

Donde:

a: ancho del crucero (2.40 m).

b: longitud del crucero (118 m).

h: altura útil del crucero (2.35 m).

Cu: factor de utilización seleccionado según k y factor de reflexión.

k: índice del crucero a iluminar.

#### Flujo Luminoso Total Necesario.

$$\phi_T = \frac{Em * S}{Cu * Cm}$$
$$\phi_T = \frac{100 \text{ lux} * 283.2 \text{ m}^2}{0.45 * 0.6} = 104888.9 \text{ lm}$$

Donde:

Em: Iluminancia media según la zona de trabajo (vía de circulación de uso habitual 100 lux).

S: Superficie total a iluminar (largo por ancho del crucero).

Cu: Factor de utilización calculado.

Cm: Factor de mantenimiento para un ambiente sucio (0.6).

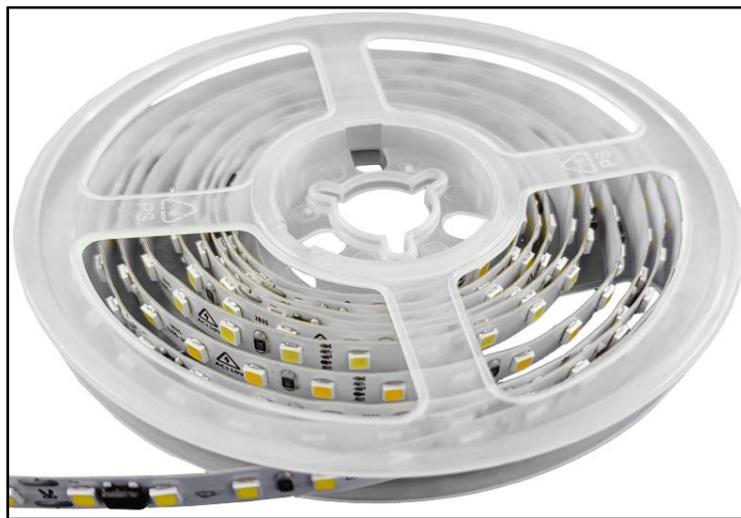
#### Flujo Luminoso Necesario por Metro

$$Fl = \frac{104888.9 \text{ lm}}{118 \text{ m}} = 888.9 \frac{\text{lm}}{\text{m}}$$

Se necesita aproximadamente por cada metro del crucero 888.9 lumens de potencia por ello se determinó usar una tira LED Sylvania modelo P29947, que según su ficha técnica tiene un flujo luminoso de 900 lm por cada metro de tira. La tira se instalará a lo largo de todo el crucero lo que también creará una distribución de iluminación uniforme. Los 118 metros de tira LED a instalar generarán un flujo luminoso total de 106200 lm, con lo cual de esta manera cumple con el flujo luminoso necesario para cumplir con los lux necesarios según la norma.

**Tabla 53. Características de la tira LED**

<b>Especificaciones Técnicas de la Tira LED</b>	
Color de luz	6500K
Flujo luminoso	900 lm/m
Ángulo de apertura	120°
IRC	80
Vida útil	20000 h
Potencia de entrada	9 W/m
Voltaje de operación	110 V
Grado de protección	IP64



**Figura 63. Led Cinta 9W/m 6500k**

**Nota.** Tomado de Sylvania (2022).

### **6.2.13. Cálculo del Ciclo de Laboreo y Planificación de Actividades.**

#### **Limpieza y Retiro de Roca Volada.**

La eficiencia o rendimiento de la pala cargadora es de 51.42 m<sup>3</sup>/h o lo mismo que 0.86 m<sup>3</sup>/min, por lo que demorará aproximadamente 1.20 min en cargar un vagón minero V40.

#### **Rendimiento de la Pala Cargadora.**

$$R_{cg} = \frac{(3600 * K_{ch} * F_{cg})}{t_{cg} * fe}$$

$$R_{cg} = \frac{(3600 * 0.15 \text{ m}^3 * 0.80)}{6 \text{ s} * 1.40}$$

$$R_{cg} = 51.42 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Donde:

R<sub>cg</sub>: rendimiento de la pala neumática (m<sup>3</sup> /h).

K<sub>ch</sub>: capacidad de la pala (m<sup>3</sup>).

F<sub>cg</sub>: factor de carga (%).

fc: factor de conversión de roca, esponjamiento.

fe: factor de eficiencia.

tcg: ciclo de carguío (s).

### **Rendimiento del Transporte.**

$$R_t = \frac{(K_v * \#v * F_{cg} * fc * fe)}{\frac{t_t}{60} + \left(\frac{2D}{V_l * 1000}\right)}$$
$$R_t = \frac{(1.13 \text{ m}^3 * 13 * 0.8 * 1.4 * 0.9)}{\frac{2.36 \text{ min}}{60} + \left(\frac{2 * 1675 \text{ m}}{5 * 1000}\right)}$$
$$R_t = 20.87 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Donde:

R<sub>t</sub>: rendimiento del equipo de transporte (m<sup>3</sup> /h)

K<sub>v</sub>: capacidad de los vagones (m<sup>3</sup>)

#v: número de vagones

F<sub>cg</sub>: factor de carga (%)

fc: factor de conversión de roca, esponjamiento.

fe: factor de eficiencia

t<sub>t</sub>: ciclo de transporte (min)

D: distancia del transporte

V<sub>l</sub>: velocidad media de la locomotora (km/h)

### **Tiempo de Limpieza de Escombros Tramo 1.**

$$T_{total} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$$
$$T_{total} = 1.20 \text{ min} + 2.55 \text{ min} + 2.55 \text{ min}$$
$$T_{total} = 6.3 \text{ min}$$

T<sub>total</sub>: Tiempo del ciclo de acarreo de material (min)

T<sub>1</sub>: tiempo de carga del material (min)

T<sub>2</sub>: tiempo de descarga del material (min)

T<sub>3</sub>: tiempo de ida.

T<sub>4</sub>: tiempo de retorno.

El tiempo de carguío de un vagón (T<sub>1</sub>) quedó determinando por el rendimiento de la pala neumática, la capacidad del vagón y el porcentaje de llenado.

$$T_1 = \frac{K_v}{\frac{R_{cg}}{60}}$$
$$T_1 = \frac{1.02 \text{ m}^3}{\frac{51.42 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{60}}$$

$$T_1 = 1.20 \text{ min}$$

El tiempo 2 es 0 debido a que al ubicarse el vagón cargado no se lo descarga en el sitio, sino que luego al transportarse en convoy se descargan en superficie.

El tiempo de ida del vagón cargado hasta ubicarse en un lugar donde no obstruya el paso del siguiente vagón en el tramo 1 es:

$$T_3 = \frac{\text{Distancia promedio de acarreo}}{V_t}$$

$$T_3 = \frac{170 \text{ m}}{1.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$T_3 = 153.15 \text{ s} = 2.55 \text{ min}$$

El tiempo 4 es igual al tiempo 3 y se trata del tiempo en colocar un nuevo vagón en el frente para su carga.

### **Tiempo de Limpieza de Escombros Tramo 2.**

$$T_{total} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$$

$$T_{total} = 1.20 \text{ min} + 0.9 \text{ min} + 0.9 \text{ min}$$

$$T_{total} = 3 \text{ min}$$

$T_{total}$ : Tiempo del ciclo de acarreo de material (min)

$T_1$ : tiempo de carga del material (min)

$T_2$ : tiempo de descarga del material (min)

$T_3$ : tiempo de ida.

$T_4$ : tiempo de retorno.

El tiempo de carguío de un vagón ( $T_1$ ) es el mismo que para el tramo 1.

El tiempo 2 es el mismo que para el tramo 1.

El tiempo de ida del vagón cargado hasta ubicarse en un lugar donde no obstruya el paso del siguiente vagón en el tramo 2 es:

$$T_3 = \frac{\text{Distancia máxima de acarreo}}{\frac{v_t}{3.6}}$$

$$T_3 = \frac{60 \text{ m}}{1.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$T_3 = 54.05 \text{ s} = 0.9 \text{ min}$$

El tiempo 4 es igual al tiempo 3 y se trata del tiempo en colocar un nuevo vagón en el frente para su carga.

### **Tiempo de Perforación.**

$$Vp = \frac{60 * k_1 * k_2 * k_3 * k_4}{t_{n.p}}$$

$$Vp = \frac{60 * 1 * 1.25 * 1.15 * 1}{1.6 \frac{\text{m}}{\text{min}}}$$

$$V_p = 53.9 \frac{m}{h}$$

Donde:

$V_p$ : Velocidad de perforación pura.

$t_{n.p.}$ : tiempo de perforación según ficha t m/min.

$K_1$ : coeficiente según peso y tipo de perforadora. 0.8 a 1.3 para perforadoras manuales.

$K_2$ : coeficiente de influencia de la presión de trabajo del aire comprimido. De 1,0 a 1,5 para una presión de 4,5 a 5,0 kgf/cm<sup>2</sup>.

$K_3$ : coeficiente según diámetro de broca de perforación. De 1.0 a 1.25 para  $\varnothing = 32$  a 42 mm.

$K_4$ : coeficiente según la profundidad del barreno. De 0.95 a 1.0 para barrenos de hasta 2.0 metros.

$$T_p = \frac{N * L_b}{\beta * \theta * V_p * n_p}$$

$$T_p = \frac{51 * 1.8 m}{0.8 * 0.7 * 53.9 \frac{m}{h} * 1}$$

$$T_p = 3.04 h = 182.5 min$$

Donde:

$N$ : número de barrenos en el frente.

$L_b$ : longitud promedio de los barrenos (m).

$\beta$ : coeficiente de utilización de los perforadores. De 0.70 a 0.85.

$\theta$ : coeficiente de simultaneidad en el trabajo de las máquinas perforadoras.

se toma 0.7 a 0.9.

$n_p$ : número de máquinas perforadoras que trabajan en el frente

$V_p$ : velocidad pura de perforación (m/h).

#### **Cálculo del Carguío de Explosivos.**

$$t_c = Nb * t_{cb}$$

$$t_{cb} = 47 * 1.15 min$$

$$t_{cb} = 54.05 min$$

Donde:

$t_{cb}$ : tiempo para cargar un barreno.

$Nb$ : número de barrenos con carga.

#### **Cálculo del Tiempo de Ventilación.**

Por lo general, se toma un rango de 20 a 60 min. En este caso se estableció: 60 min.

### Cálculo del Tiempo de Colocación de Rieles.

$$t_{ir} = (N_{dur \times avan} * t_{ins \times dur}) + (t_{ins \times riel} * 2)$$

$$t_{ir} = (8 * 7min) + (8 min * 2)$$

$$t_{ir} = 72 min$$

Esta operación no se realizará diario, sino cada 4 voladuras.

### Tiempo de Operaciones Auxiliares

Para labores como topografía, revisiones del frente y geomecánica se tomará un tiempo de 20 min. Para la instalación de servicios 32 min. Esta última operación no se realizará diario, sino cada 4 voladuras.

El resumen de los tiempos de las operaciones unitarias y de otras operaciones auxiliares se pueden observar en la **Tabla 54**.

**Tabla 54.** *Tiempos de operaciones unitarias y auxiliares.*

<b>Id</b>	<b>Actividad de perforación</b>	<b>Tiempo teórico (min)</b>	<b>Tiempo real (min)</b>	<b>Observación</b>
A	Ingreso al frente de trabajo	13	17	
B	Revisión del estado de los equipos	2	4	Perforación
C	Llenado de aceite, conexión de aire y agua	4	6	Perforación
D	Perforación de los barrenos	182.5	190	Perforación
E	Desempate de aire y agua de las perforadoras	3	4	Perforación
F	Retirar equipos de perforación	4	5	Perforación
G	Carga de los explosivos	45	54	Voladura
H	Amarrado de Guías	3	5	Voladura
I	Encendido de la guía	2	2.5	Voladura
J	Ventilación	60	60	Ventilación
K	Regado del frente	5	6	Saneamiento
L	Desquinche	7	10	Saneamiento
M	Limpieza del material Tramo 1	82	100	Limpieza
N	Limpieza del material Tramo 2	39	50	Limpieza
O	Colocación de rieles	72	84	Operaciones auxiliares
P	Colocación de servicios	32	45	Operaciones auxiliares
Q	Análisis geomecánico	8	10	Operaciones auxiliares
R	Topografía	8	10	Operaciones auxiliares
S	Salida del turno	13	17	



### 6.3. Resultados del Tercer Objetivo

“Determinar la inversión económica del diseño del crucero 955, para su construcción”.

Se llevó a cabo un análisis económico para determinar el costo necesario para avanzar un metro lineal en el crucero 955, tomando en cuenta las características de diseño y los costos directos basados en presupuestos de materia prima, mano de obra, mantenimiento, consumo eléctrico, así como los costos indirectos (gastos administrativos, alimentación, y seguridad) los cuales se consideraron como un porcentaje del 1.5% del costo total. La **Tabla 57** muestra un resumen del costo por metro lineal del crucero 955.

**Tabla 57.** Resultados de costos por metro lineal de avance

Operación unitaria	Costo unitario por m de avance
Perforación	\$85.34
Voladura	\$197.42
Ventilación	\$52.46
Saneamiento	\$19.12
Limpieza	\$169.21
Operaciones auxiliares	\$66.80
Total costos directos	\$590.34
Costos indirectos	\$8.86
<b>Total costos por metro de avance</b>	<b>\$599.19 USD</b>

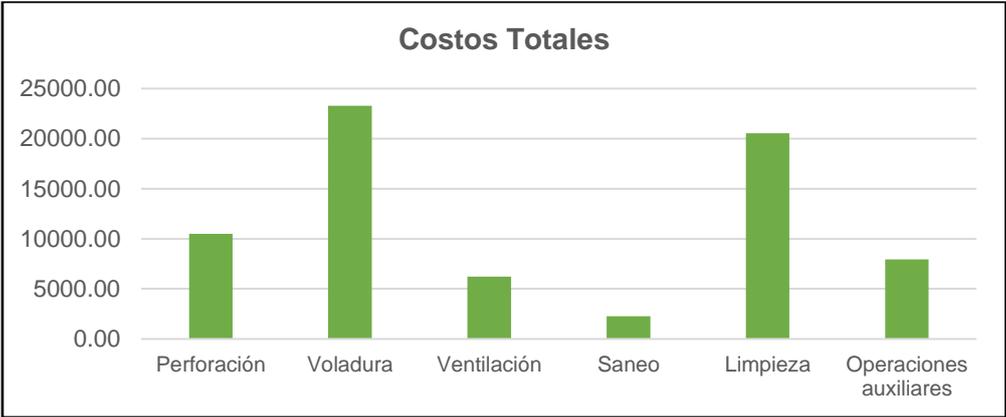
De acuerdo con el costo por metro de avance lineal del crucero 955 se obtuvo la inversión económica total de construcción de la labor, estos se presentan en la **Tabla 58**.

**Tabla 58.** Costos totales por actividad para la construcción del crucero

Operación unitaria	Costo total	%
Perforación	\$10069.68	14.6%
Voladura	\$23295.59	32.4%
Ventilación	\$6190.10	8.7%
Saneamiento	\$2256.13	3.1%
Limpieza	\$19966.30	28.6%
Operaciones auxiliares	\$7881.91	11.1%
Total costos directos	\$69659.72	98.5%
Costos indirectos	\$1044.90	1.5%
<b>Total Costos de Franqueo</b>	<b>\$70704.61 USD</b>	<b>100.0%</b>

En la **Tabla 58** se observa que la inversión necesaria para el franqueo de los 118 metros del crucero 955 es de \$70704.61 USD, de los cuales \$69659.72 USD son costos directos y corresponden al 98.50 % del total. Los costos más representativos son los de voladura y, carga y transporte, con \$23295.59 USD y \$19966.30 USD respectivamente. Por

otra parte, los costos indirectos se calcularon en base a un 1.50% del total y se estiman en \$1044.90 USD (Ver **Figura 65**).



**Figura 65.** Representación de costos totales en dólares

Los cálculos de costos detallados por operación tanto de mano de obra, materia prima, mantenimiento y costo eléctrico se muestran en las **Tabla 59-Tabla 82**.

**Tabla 59.** Costo de mano de obra por jornada x turno y \$/m avanzado

Cargo	Nº personas/cargo	Trabajador								
		Ingresos				Egresos			Total	
		Salario bruto	13 sueldo	14 sueldo (costa)	Fondo de reserva	Total ingresos	Aporte trabajador/cargo	Total egresos	Salario neto	\$/m x cargo
Ing. Minas	1	1200	150	37.5	99.96	1487.46	113.40	113.40	1374.06	18.80
Supervisor de operaciones	1	800	100	37.5	66.64	1004.14	75.60	75.60	928.54	12.71
Perforista	1	800	100	37.5	66.64	1004.14	75.60	75.60	928.54	12.71
Ayudante de perforista	1	501.48	62.685	37.5	41.77	643.44	47.39	47.39	596.05	8.16
Trabajador de campo	1	800	100	37.5	66.64	1004.14	75.60	75.60	928.54	12.71

**Tabla 60.** *Incidencias en las actividades basado en el cargo*

<b>Cargo</b>	<b>Nº personas x cargo</b>	<b>Sueldo neto x cargo (\$/m)</b>	<b>Perforación</b>	<b>Voladura</b>	<b>Ventilación</b>	<b>Saneamiento</b>	<b>Limpieza</b>	<b>Operaciones Auxiliares</b>	<b>Total</b>
Ing. Minas	1	18.80	20.00%	20.00%	10.00%	15.00%	10.00%	25.00%	100.00%
Supervisor de operaciones	1	12.71	20.00%	20.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	100.00%
Perforista	1	12.71	40.00%	40.00%	10.00%	0.00%	0.00%	10.00%	100.00%
Ayudante de perforista	1	8.16	40.00%	40.00%	10.00%	0.00%	0.00%	10.00%	100.00%
Trabajador de campo	1	12.71	0.00%	0.00%	10.00%	20.00%	60.00%	10.00%	100.00%

**Tabla 61.** Costo de mano de obra por cargo, operación y metro de avance (\$/m)

<b>Cargo</b>	<b>Nº personas x cargo</b>	<b>Sueldo neto x cargo (\$/m)</b>	<b>Perforación</b>	<b>Voladura</b>	<b>Ventilación</b>	<b>Saneamiento</b>	<b>Limpieza</b>	<b>Operaciones Auxiliares</b>	<b>Total</b>
Ing. Minas	1	18.80	3.76	3.76	1.88	2.82	1.88	4.70	18.80
Supervisor de operaciones	1	12.71	2.54	2.54	1.91	1.91	1.91	1.91	12.71
Perforista	1	12.71	5.08	5.08	1.27	0.00	0.00	1.27	12.71
Ayudante de perforista	1	8.16	3.26	3.26	0.82	0.00	0.00	0.82	8.16
Operador de maquinaria	1	12.71	0.00	0.00	1.27	2.54	7.62	1.27	12.71
Trabajador de campo	3	7.55	0.00	0.00	0.00	9.06	10.19	3.40	22.64
<b>Total</b>	<b>8.00</b>	<b>72.62</b>	<b>14.65</b>	<b>14.65</b>	<b>7.14</b>	<b>16.32</b>	<b>21.60</b>	<b>13.36</b>	

**Tabla 62. Costos de mano de obra**

Operación	\$/m avance optimista	\$/proyecto
Perforación	14.65	1728.27
Voladura	14.65	1728.27
Ventilación	7.14	842.86
Saneamiento	16.32	1926.13
Limpieza	21.60	2548.48
Operaciones Auxiliares	13.36	1728.27
<b>Totales</b>	<b>\$ 87.72 USD</b>	<b>\$ 10502.28 USD</b>

**Tabla 63. Presupuesto de materia prima para la perforación**

Item	Unidad	Precio unitario	Unidades	Precio Total USD
Perforadora YT-27***	Días	1.15	46	59.87
Brocas 38 mm Rockbit 38 mm	U	38	40	1520
Barra punta cónica 1.8 m	U	155	8	1240
Aceite hidráulico Prozessol ISO 150	Balde	94	1	94
Alicate	U	7.5	2	15
Llave francesa 12"	U	12.5	2	25
Manguera 1/2" 190 psi	m	0.27	130	35.1
Manguera 1" 190 psi	m	0.53	130	68.9
Lubricador Atlas Copco	U	94	2	188
Alambre galvanizado	kg	0.7	30	21
Llave esférica 1/2"	U	2.35	2	4.7
Llave esférica 3/4"	U	2.65	2	5.3
Neple adaptador aluminio 1/2"	U	0.85	5	4.25
Neplo galvanizado 3/4" x 3"	U	1.05	6	6.3
Casco 3M	U	27.2	8	217.6
Respirador 3M	U	25	8	200
Filtro gases 6003	Par	19	16	304
Filtros particulados 7093	Par	12	16	192
Guantes Showa 703	Par	5	16	80
Tapón auditivo	Par	2.8	16	44.8
Orejeras Peltor	Par	25	8	200
Mangas PVC	Par	11	3	33
Cobertor frontal PVC	U	12	6	72
<b>Total</b>				<b>\$ 4630.82</b>

**Nota.** Equipo depreciado (\*\*\*).

**Tabla 64.** *Presupuesto de materia prima para la voladura*

Ítem	Unidades	Precio unitario	Unidades	Precio Total USD
Emulnor 3000	Cajas	140	50	7000
ANFO	Sacos 25 kg	112.5	80	9000
Mecha Lenta	m	0.65	6500	4225
Fulminante N°8	Unidades	0.42	3196	1342.32
<b>Total</b>				<b>\$ 21567.32</b>

**Tabla 65.** *Presupuesto de materia prima para el transporte*

Ítem	Unidades	Precio unitario	Unidades	Precio Total USD
Locomotora CTY8/6GP***	Días	27.40	46	1424.66
Batería para locomotora 110 V***	Días	5.48	46	284.93151
Riele 24.8 kg/m, 6 m longitud	Unidades	115	40	4600
Durmientes	Unidades	5	160	190
Eclisas	Unidades	14	38	2128
Pernos ecliseros	Unidades	2.1	152	319.2
Placas de asiento	Unidades	8.5	320	2720
Clavos rieleros 1/2" x 4"	Unidades	2.5	960	2400
Vagonetas V-40***	Días	3.56	46	185.21
<b>Total</b>				<b>\$ 14251.99</b>

**Nota.** Equipo depreciado (\*\*\*).

**Tabla 66.** *Presupuesto de materia prima para la carga*

Ítem	Unidades	Precio unitario	Unidades	Precio Total USD
Cargadora EIMCO 12B***	Días	30.68	46	1595.62
Llave francesa 12"	Unidades	12.5	2	25
Manguera 1" 190psi	m	0.53	130	68.9
Lubricador EIMCO	Unidades	94	2	188
Alambre galvanizado	lb	0.75	9	6.75
Llave esférica 1/2"	Unidades	2.35	2	4.7
Llave esférica 3/4"	Unidades	2.65	2	5.3
Niple adaptador aluminio de 1/2"	Unidades	0.85	5	4.25
Niple galvanizado 3/4" x 5"	Unidades	1.05	6	6.3
<b>Total</b>				<b>\$ 1904.82</b>

**Nota.** Equipo depreciado (\*\*\*).

**Tabla 67.** Presupuesto de materia prima para la ventilación

Ítem	Unidades	Precio unitario	Unidades	Precio Total USD
Ventilador axial VAF8000A-3***	Días	4.57	46	237.44
Manga de ventilación flexible 16"	m	3.5	118	413
Cable trifásico N 8	m	20	118	2360
Tablero eléctrico completo	U	650	1	650
Varilla corrugada 1" x 6 m	U	53	2	106
Tablones madera 2" x 4" x 3 m	U	11	2	22
Alambre galvanizado N14	lb	0.6	6	3.6
<b>Total</b>				<b>\$ 3792.04</b>

**Nota.** Equipo depreciado (\*\*).

**Tabla 68.** Presupuesto de materia prima para el saneo

Ítem	Unidades	Precio unitario	Unidades	Precio total USD
Barretilla 2 m	U	140	2	280
<b>Total</b>				<b>\$ 280</b>

**Tabla 69.** Presupuesto de materia prima para las operaciones auxiliares

Ítem	Unidades	Precio unitario	Unidades	Precio total USD
Tubería HDPE 4"	m	37	118	4366
Reducción de 4" a 2"	U	17	2	34
Válvula esférica 2"	U	16	2	32
Varilla corrugada 3/4" x 6 m	U	45	7	315
Piola 4H	Rollo	40	1	40
Estación Total Leica TS 06***	Días	4.38	46	227.95
<b>Total</b>				<b>\$ 5014.94</b>

**Nota.** Equipo depreciado (\*\*).

**Tabla 70.** Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos para la perforación

Ítem	Mantenimiento	Repuestos	Insumos	Precio total USD
Jack Leg YT-27	120	300	20	440
<b>Total</b>				<b>\$ 440</b>

**Tabla 71.** *Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos para el transporte*

Ítem	Mantenimiento	Repuestos	Insumos	Total
Locomotora	230	500	100	830
Rieles, eclisas, pernos, placas	120	-	10	130
Traviesas	-	120	-	120
Vagonetas V-40	70	240	40	350
<b>Total</b>				<b>\$ 1430</b>

**Tabla 72.** *Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos para la carga*

Ítem	Mantenimiento	Repuestos	Insumos	Total
Cargadora EIMCO 12B	100	250	20	370
<b>Total</b>				<b>\$ 370</b>

**Tabla 73.** *Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos para la ventilación*

Ítem	Mantenimiento	Repuestos	Insumos	Total
Ventilador axial VAF8000A-3.	250	800	20	1070
Manga de ventilación flexible 16"	125	-	50	175
Cable trifásico N 8	20	-	20	40
Tablero eléctrico completo	100	150	20	270
<b>Total</b>				<b>\$ 1555</b>

**Tabla 74.** *Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos para el saneo*

Ítem	Mantenimiento	Repuestos	Insumos	Total
Barretilla 2 m	40	-	10	50
<b>Total</b>				<b>\$ 50</b>

**Tabla 75.** *Presupuesto de mantenimiento, repuestos e insumos operaciones auxiliares*

Ítem	Mantenimiento	Repuestos	Insumos	Total
Tubería HDPE 4"	120	250	200	570
Estación Total Leica TS 06	200	-	50	250
<b>Total</b>				<b>\$ 820</b>

**Tabla 76.** Consumo eléctrico por operación unitaria

Ítem	Potencia (KW)	Horas/turno	Consumo x turno	Consumo x jornada (KWh)	Consumo x proyecto (KWh)	Precio \$/KWh	Costo energía (\$)
Perforación	150	3.17	475.00	31350.00	65550.00		3277.50
Limpieza	150	1.25	187.50	12375.00	25875.00	0.05	1293.75
Ventilación	4	1.00	4.00	264.00	552.00		27.60
Demoras	100	0.50	50.00	3300.00	6900.00		345.00

A continuación, se presenta un resumen de los costos generados para cada operación unitaria en base a los cálculos de las tablas anteriores.

**Tabla 77. Costos de perforación**

<b>Perforación</b>	
Ítem	Total, crucero USD
Materia prima	4630.82
Mano de obra	1728.27
Mantenimiento-insumos	440.00
Energía	3705.00
<b>Costos perforación</b>	<b>10069.68 USD</b>

**Tabla 78. Costos de voladura**

<b>Voladura</b>	
Ítem	Total, crucero
Materia prima	21567.32
Mano de obra	1728.27
Mantenimiento-insumos	-
<b>Costo voladura</b>	<b>23295.59 USD</b>

**Tabla 79. Costos de ventilación**

<b>Ventilación</b>	
Ítem	Total, crucero
Materia prima	3792.04
Mano de obra	842.86
Mantenimiento-insumos	1555.00
Energía	31.20
<b>Costo ventilación</b>	<b>6190.10 USD</b>

**Tabla 80. Costos de saneamiento**

<b>Saneamiento</b>	
Ítem	Total crucero
Materia prima	280.00
Mano de obra	1926.13
Mantenimiento-insumos	50.00
<b>Costo saneo</b>	<b>2256.13 USD</b>

**Tabla 81.** *Costos de carga y transporte*

<b>Limpieza (carga y transporte)</b>	
<b>Ítem</b>	<b>Total crucero</b>
Materia prima	16156.81
Mano de obra	2548.48
Mantenimiento-insumos	370.00
Energía	1462.50
<b>Costo limpieza</b>	<b>19966.30 USD</b>

**Tabla 82.** *Costos de operaciones auxiliares*

<b>Operaciones auxiliares</b>	
<b>Ítem</b>	<b>Total crucero</b>
Materia prima	5014.95
Mano de obra	1728.27
Mantenimiento-insumos	820.00
Energía eléctrica	390.00
<b>Costo operaciones auxiliares</b>	<b>7881.91 USD</b>

## 7. Discusión

La presente investigación tiene como base el diseño de la continuidad del crucero 955 con el fin de avanzar en las labores de explotación de la mina “El Paraíso” en la que se busca interceptar la veta SN01, para lo cual se determinó las características geológicas de la roca, las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, las variables minero técnicas y los costos económicos en los que incurrirá el franqueo de este crucero. Dicho esto, se determina que:

La investigación realizada ha permitido la caracterización geológica de la roca existente en el Nivel 2 donde será construido el crucero, ya han existido autores como (Ruilova, 2015) el cual detalla el hallazgo de rocas de tipo andesitas basálticas, las cuales se ha corroborado su existencia tanto superficialmente como dentro de mina en esta investigación, presentan un color gris oscuro con minerales como plagioclasas cálcicas y anfíboles, en las mismas se encuentran también vetillas de cuarzo diseminadas.

Geomecánicamente el macizo rocoso de la galería corresponde a la Clase I y II de acuerdo a Bieniawski y con una calidad de roca que va de Buena a Muy buena según el índice Q. Esto hace que el macizo rocoso en donde se emplazará el crucero se catalogue como un macizo de buenas características para excavación, de igual manera la presencia de fracturas no es elevada, y en general el crucero no necesitará la instalación de sostenimiento. Estos resultados son consistentes con el trabajo realizado por (Peralta, 2023) “Diseño del crucero de acceso CX-815N a la concesión minera Papa Grande en el sector La López Alto, Cantón Ponce Enríquez, Azuay, Ecuador” que tuvo lugar dentro de la misma concesión minera, en donde se determinó que el macizo rocoso era de buena calidad con condiciones geomecánicas muy favorables para la excavación.

El diseño del crucero inició con la elección de su forma, y en concordancia con lo determinado por (Lowson y Bieniawski, 2013), se optó por una sección abovedada tipo D, lo cual proporciona mejor auto sostenimiento en macizos con un RMR superior a 50, como es el caso de la roca en que se trabajará que es de 222 MPa. El ancho de la excavación se determinó en 2.4 m y su altura en 2.6 m, esta metodología asegura una distribución adecuada de los espacios necesarios para el transporte, personal y servicios, asegurando la continuidad de las operaciones, de acuerdo a la metodología de (Blanco Torrens, 2000).

Se seleccionó el método de transporte de tipo férreo debido a la producción, distancias de transporte mayores a 2 km, con labores con gradiente de 0.5%, lo cual es óptimo para este sistema, adicional, que se desempeñan muy bien en espacios reducidos debido al tipo de minería de corte y relleno ascendente de vetas angostas, siendo uno de los sistemas más usados en este tipo de minería a nivel mundial. El sistema se diseñó de acuerdo a las normas de la American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (2010), un riel con un peso por metro lineal de 24.8 kg, un espacio de 0.76 m entre durmientes, una trocha de 0.60 m y un espesor del balasto de 0.18 m para asegurar la estabilidad y distribuir las cargas

que genera el medio de transporte. Así mismo, atendiendo a lo recomendado por el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Ámbito Minero (2020) se diseñó el ensanche para vagones con las medidas recomendadas, en este caso de 1.50 m de ancho por 2.25 m de altura y una longitud de 13.5 m, teniendo espacio suficiente para el almacenamiento de 6 vagones y cumpliendo una doble función como ensanche peatonal.

Con respecto a la elección del método de arranque de roca, se mantiene concordancia con el estudio de Franklin et al. (1971), en el que en su teoría plantea que para rocas con resistencia a la compresión elevadas se recomienda excavación por voladura. Atendiendo a esto último se propone un pasaporte de perforación y voladura en la cual se determinó un avance efectivo de 1.74 m, con barrenos de 38 mm de diámetro. La elección del explosivo se hizo siguiendo el criterio de impedancia de la roca, que en la investigación de (Peralta, 2023) resultó eficaz, bajo esto se dio la elección de Emulnor 3000 como carga de fondo y Anfo para la carga de columna, estos dos explosivos son adecuados para generar la energía suficiente con el fin de fracturar la roca sin causar daños excesivos a los contornos. Para el sistema de iniciación se usará mecha lenta y fulminante común N°8, estos son comunes en minería a pequeña escala y junto con la longitud de seguridad de la mecha de 2 m brindan un tiempo adecuado para la evacuación del personal encargado del encendido. El número de barrenos es de 51, con 47 de estos cargados y los cuatro restantes formando el hueco inicial de cara libre. Se contempla un factor de carga de  $4.37 \text{ kg/m}^3$ . Los resultados de los cálculos y el diseño están en concordancia con la metodología empleada por Holmberg (1982) para el diseño y franqueo de túneles.

Para el diseño de las labores auxiliares se tomó en cuenta fórmulas que buscan cumplir con las normas de seguridad en minería, como puede ser el caudal de aire requerido para el personal y la ventilación después de la voladura, el estándar de iluminación necesario para realizar trabajos en mina y consideraciones de desagüe de aguas producto de los trabajos de perforación, autores como (Valarezo, 2020) y (Peralta, 2023) han probado la eficacia de estas mismas en sus respectivos trabajos de investigación. De esta manera la luminaria instalada será tiras LED Sylvana, para el drenaje se diseñó una cuneta trapezoidal según el caudal que se espera recolectar, de 0.2 m de profundidad, para la ventilación se cuenta con un ventilador soplante axial que suministra un flujo de aire de  $290 \text{ m}^3/\text{min}$ . En cuanto a sostenimiento no se requiere la instalación de ningún soporte adicional debido a la alta competencia del macizo rocoso, similar a lo encontrado por (Peralta, 2023) en un lugar cercano a la zona de estudio con condiciones geológicas y geomecánicas similares.

Para la construcción del cruce se consideró el trabajo de ocho personas, entre el encargado de la mina, el supervisor, el perforista, el ayudante del perforista, el operador de la pala neumática, y tres obreros. Las operaciones se dividirán en tres turnos el primero de estos corresponde a la perforación y voladura, la cual demandará 5.4 horas de trabajo, luego de una

espera de 60 minutos para la ventilación ingresa el segundo turno encargado de la limpieza del frente el cual tardará 2.5 h, este tiempo aumentará cuando se necesite colocar rieles e instalar los servicios auxiliares a 4.65 h. Finalmente el tercer turno se encargará nuevamente de la perforación y voladura para que el primer turno del día siguiente se encargue de la limpieza del frente, y así el ciclo se repite. Para la construcción del tramo en el que se espera ya esté construido el ensanche el tiempo del ciclo del turno de carga y acarreo disminuye hasta 3.82 h cuando se instale rieles y servicios, mientras que será de 1.67 h cuando no. Con este trabajo se concluirá la construcción del crucero en un plazo de 49 días. La importancia de la organización en la planificación del trabajo es importante para poder generar labores en un menor tiempo de ejecución del trabajo, lo que disminuye el tiempo de acceso a la veta, pudiendo iniciar los trabajos de preparación previo a su explotación más rápido.

Para finalizar, la inversión requerida en la construcción del crucero 955 es de \$ 70704.61 USD, el costo de avance se determinó en \$ 599.19 USD por metro lineal avanzado, esta inversión espera ser recuperada al iniciar la explotación en la veta SN01. Los costos más importantes son por una parte el de voladura, justificado en la alta competencia del macizo rocoso y la elevada resistencia de la roca, y por otro, la carga del material volado debido al uso de maquinaria y por tanto un elevado uso de energía, insumos y repuestos. Estos costos son equiparables a lo realizado por (Peralta, 2023) en su diseño de un crucero para condiciones de roca y diseño similares.

## 8. Conclusiones

- En base al levantamiento geológico se determinó la presencia de rocas ígneas volcánicas de color gris oscuro, específicamente andesitas basálticas con peso específico de 2.89 g/cm<sup>3</sup> pertenecientes a la Formación Macuchi de la Unidad Pallatanga, el análisis de las rocas muestra minerales como plagioclasas, anfíboles, piroxenos y vetillas de cuarzo.
- La caracterización geomecánica en la zona ya franqueada del crucero 955, indica calidades de roca entre Buena y Muy buena. El RMR<sub>89</sub> se sitúa en valores de 73 a 84, que corresponden a rocas de Clase I y II. El índice Q presenta valores de 25.08 a 85.15 y el GSI varía de 68 a 79. Las estaciones geomecánicas cercanas a las vetas presentan más fracturas, las cuales están influenciadas por la orientación de la veta de N4°W y buzamiento 63°E. En general se establece un macizo sano, con buenas condiciones geomecánicas y estable, lo que determina que no necesitará de sostenimiento.
- La sección del crucero será abovedada tipo D, con dimensiones de 2.4 m de ancho, 1.4 m de altura en los hastiales y una altura total de 2.6 m. Estas dimensiones se consideraron tomando en cuenta el uso de vagones V40, una locomotora modelo CTY8/6GP a baterías y la instalación de vía férrea. De igual manera, se consideran los espacios necesarios para las operaciones auxiliares, con una manga de 50 cm de diámetro junto con un Ventilador axial VAF8000A-3 que suministra un flujo de aire de 290 m<sup>3</sup>/min, la construcción de una cuneta de 0.2 m de profundidad, colocación de una manguera de 4" de diámetro para el aire comprimido y una de 2 ½ "para suministrar agua a las máquinas perforadoras.
- El ensanche se ubicará en el centro de los 118 metros por franquear y ha sido diseñado con dimensiones de 1.5 metros de ancho por 2.25 metros de altura. Este diseño se determinó considerando el ancho del transporte, que es de 1.05 metros, al cual se añadió una distancia adicional de 0.35 metros respecto a la pared, garantizando un espacio suficiente para maniobrar. Este ensanche permite el almacenamiento de hasta 6 vagones.
- El tiempo total de franqueo planificado es de 49 días, con un avance efectivo de 1.74 metros por voladura y operando tres turnos diarios de 6 horas.
- La inversión económica total para la construcción del crucero 955 se estima en \$70704.61 USD. Entre las actividades más costosas se tiene, la voladura representando un 32.4% del costo total. Este alto costo se debe principalmente al elevado gasto en materia prima de voladura, que asciende a \$23295.59; y la carga-transporte con un costo total de \$19966.30, equivalente al 28.6% del total. Este costo alto se debe a los gastos de equipos usados y energía, que son significativamente elevados. En rubros menos importantes económicamente están, la ventilación y el saneo que representan una menor proporción del costo total, con un 8.7% y un 3.1%, respectivamente. Las operaciones auxiliares tienen un costo total de \$7,881.91, que representa el 11.1% del costo total. Finalmente, el costo total por metro de avance calculado es de \$599.19 USD.

## **9. Recomendaciones**

- Se sugiere llevar a cabo la clasificación del macizo rocoso utilizando los métodos RMR89 y Q de Barton mientras se lleve a cabo el desarrollo de la labor, lo que permitirá conocer la calidad del macizo de manera precisa e identificar cualquier variación de la misma.
- Se sugiere realizar inspecciones periódicas durante la construcción del Crucero 955 para asegurar que las dimensiones se mantengan de acuerdo con las especificaciones iniciales, con el fin de identificar y corregir cualquier desviación que pueda ocurrir debido a errores en la perforación.
- Se recomienda analizar constantemente las operaciones unitarias para optimizar los recursos y reducir los costos necesarios para la construcción del crucero.
- Se recomienda que el personal encargado de la perforación y sus ayudantes tengan experiencia en el manejo de la maquinaria y explosivos, manteniendo una constante capacitación a los encargados de esta tarea. Así mismo, se aconseja revisar periódicamente las máquinas y realizar el mantenimiento preventivo adecuado.

## 10. Bibliografía

- Arias Ochoa, J. (2023). "Optimización del diseño de malla de perforación subterránea en el frente de avance 70 de la mina PROMINE, Camilo Ponce Enríquez – Azuay. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/13081/1/18607.pdf>
- Auquilla Terán, C. F., & Rojas Ovaco, D. E. (2021). *Precios unitarios en la explotación aurífera subterránea de pequeña minería en el distrito Ponce Enríquez*. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11144>
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbet, J. (2013). *Perforación y Voladura de Rocas en Minería*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [https://oa.upm.es/21848/8/20131007\\_PERFORACION\\_Y\\_VOLADURA.pdf](https://oa.upm.es/21848/8/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf)
- Cardenas, Y. (2019). *PROYECTO DE DESARROLLO DEL CRUCERO 2050 PARA INTERCEPTAR LA VETA PAOLA E INCREMENTAR LAS RESERVAS EN MINERA YANAQUIHUA UNIDAD ALPACAY*. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/6e10ebd8-3231-475c-bac7-590c294af20a/content>
- Castro Dorado, A. (1989). *Petrografía básica: Texturas, clasificación y nomenclatura de rocas*.
- Correa, A. (2016). *Galerías Mineras: La modelización analítica como una ayuda geomecánica para el diseño minero*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/646473606/Galerias-Mineras-La-Modelizacion-Analitica-Como-Una-Ayuda-Geomecanica-Para-El-Diseno-Minero>
- Díaz Aguado, M. B. (2005). *Carga, Transporte y Extracción en Minería Subterránea*. Obtenido de <https://www.serlib.com/pdflibros/9788496491458.pdf>
- Gavilan Ruiz, D. G. (2020). *Estudio geomecánico del cruceo XC850 - Nivel 4025, mediante la aplicación del gráfico múltiple GDE - Mina Codiciada, Compañía Minera Argentum*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7831>
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Herrera Herbet, J. (2019). *Introducción a la minería subterránea* (Segunda ed.). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. doi:<https://doi.org/10.20868/UPM.book.62723>
- Huaman Carpio, Y. Á. (2022). *GEOLOGÍA ECONÓMICA Y ESTRUCTURAL DEL DEPÓSITO AURÍFERO PARAÍSO, DISTRITO MINERO PONCE ENRIQUEZ, PROVINCIA DEL AZUAY, ECUADOR*. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ee016e34-2842-45bb-a07d-26e32c7af257/content>
- INIGEMM. (2017). *Hoja Geológica Machala 2017 Escala 1:100000*. Quito.

- International Society for Rock Mechanics. (1981). *Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM suggested methods*. E.T. Brown. Pergamon Press.
- Jaimes, D. (2022). *Principales Minas en Latinoamérica*. Obtenido de Promine: <https://promine.com/es/blog-es/principales-minas-en-latinoamerica/>
- Jiménez, A. (2021). *Automatización del modelo matemático Holmberg para el cálculo y diseño de mallas de perforación en frentes de desarrollo*.
- Mamani Matos, D. (2018). *DISEÑO GEOTECNICO DEL CRUCERO XC 410, MINA SHALCA*. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/604/1/TESIS.pdf>
- Mendieta, D. (2023). *Diseño de la galería principal de transporte de la mina Piedras Verdes, área minera Piedras Verdes 35 código 30000498, cantón Atahualpa, provincia de El Oro*. Obtenido de [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/26756/1/Dom%c3%a9nicaSalome\\_MendietaCueva.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/26756/1/Dom%c3%a9nicaSalome_MendietaCueva.pdf)
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). La pequeña minería de Azuay y El Oro concentran el 86% de la producción nacional de oro. Obtenido de <https://www.recursosyenergia.gob.ec/la-pequena-mineria-de-azuay-y-el-oro-concentran-el-86-de-la-produccion-nacional-de-oro/>
- Philpotts. (1989). *Petrography of Igneous and Metamorphic Rocks*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Piña, A. (2020). *Estimación de costos en proyectos mineros*.
- Recabarren Ortiz, C. (2023). *La Historia de la Minería Subterránea en el Mundo*. Obtenido de Revista Digital Minera Chile: <https://www.redimin.cl/la-historia-de-la-mineria-subterranea-en-el-mundo/>
- Renovables, Ministerio de Energía y Recursos Naturales no. (2020). *Plan nacional de desarrollo del sector minero 2020 - 2030*.
- Revista Seguridad Minera. (2020). *Métodos y planeación de ventilación de minas subterráneas*. Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/metodos-y-planeacion-de-ventilacion-de-minas-subterraneas/>
- Sandoval, C. (2015). *Labores mineras*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/carlosDaniel995/labores-mineras>
- T&S Servicios de Ingeniería. (2022). *¿Qué es la topografía minera?* Obtenido de <https://grupots.com/que-es-topografia-minera/>
- Universidad del País Vasco. (2019). *¿Qué es la geología?* Obtenido de <https://www.ehu.eus/es/web/geologia/zer-da-geologia>
- Universidad Nacional de Loja. (2021). *Reglamento de régimen académico de la Unl*.

- Universidad Tecnológica de Chile. (2023). *EXTRACCIÓN MINA II: APUNTES CARGUÍO Y TRANSPORTE*. Obtenido de [https://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Mineria-y-Geomatica/AAI\\_OPEX02\\_Material\\_Extraccion\\_Mina\\_II\\_Carguio\\_y\\_Transporte.pdf](https://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Mineria-y-Geomatica/AAI_OPEX02_Material_Extraccion_Mina_II_Carguio_y_Transporte.pdf)
- Vásquez, P. (2019). *Manual de prácticas de laboratorio de Mecánica de Rocas. (Parte I)*.
- Velasco Redrobán, E. (2016). *DISEÑO DE SOSTENIMIENTO EN BASE A LA CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO EN EL SECTOR VETILLA 1 SUBNIVELES 1 Y 2 DE SOCIEDAD MINERA LIGA DE ORO*.
- Yepes Piqueras, V. (2019). *Medición del grado de fracturación de un macizo rocoso: el índice RQD*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/07/30/medicion-del-grado-de-fracturacion-de-un-macizo-rocoso-el-indice-rqd/>
- Bernaola Alonso, José, Castilla Gómez, Jorge & Herrera Herbert, Juan (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas., Madrid, España. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.21848>.
- Estupiñán R., Romero P., García M., Garcés D. & Valverde P., (2021). *La minería en Ecuador. Pasado, presente y futuro*, 132 (4): 533-549 ISSN: 0366-0176 DOI: 10.21701/bolgeomin.132.4.010
- Espí, J.A. 2001. *El libro de la minería del oro en Iberoamérica*. Red XIII-B, CYTED, 398 pp.
- Frakaland Vangsnes, G. 2018. The meanings of mining: A perspective on the regulation of artisanal and small-scale gold mining in southern Ecuador. *The Extractive Industries and Society*, 5 (2), 317-326.
- SALINAS, C. *Construcción de túneles, piques y chimeneas* [en línea]. Santiago de Chile-Chile: Universidad de Chile, 1998. [https://www.academia.edu/36767035/Construccion\\_de\\_Tuneles\\_Piques\\_y\\_Chimeneas\\_1\\_](https://www.academia.edu/36767035/Construccion_de_Tuneles_Piques_y_Chimeneas_1_)
- Valarezo, M. (2020). *Diseño del sistema de ventilación en la concesión minera "Cebral" y diseño del sistema de desagüe en la concesión minera "R-Nivel", Zaruma - El Oro* [Tesis para optar por el título de Ingeniero en Minas, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10146/1/15776.pdf>

## **11. Anexos**

**Anexo 1.** *Mapa de ubicación de Mina "Paraíso".*

**Anexo 2.** *Mapa de geología regional concesión minera "Bella Rica" código 015.*

**Anexo 3.** *Mapa de topografía concesión minera "Bella Rica" código 015.*

**Anexo 4.** *Mapa de topografía subterránea Mina Paraíso.*

**Anexo 5.** *Mapa de geología local Mina Paraíso.*

**Anexo 6.** *Mapa de geología estructural zona del crucero a diseñar.*

**Anexo 7.** *Mapa de zonificación RMR del crucero a diseñar.*

**Anexo 8.** *Plano de diseño de la sección del crucero.*

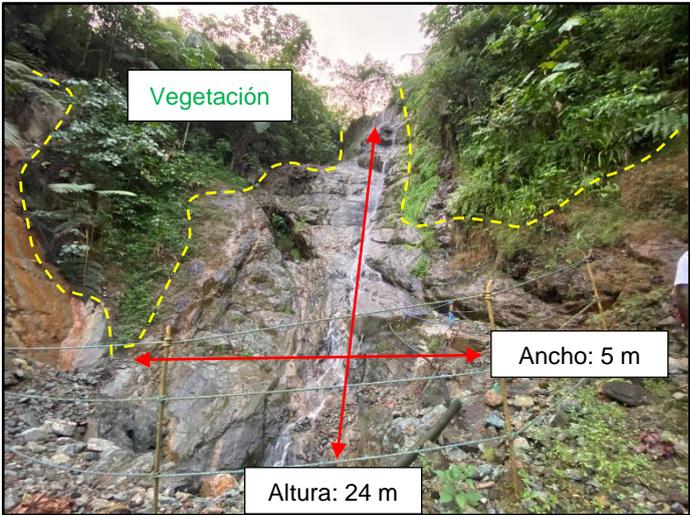
**Anexo 9.** *Plano de diseño del ensanche.*

**Anexo 10.** *Plano de diseño del pasaporte de perforación y voladura.*

**Anexo 11.** *Plano de diseño del pasaporte de perforación y voladura para el ensanche.*

Ubicados en carpeta de anexos

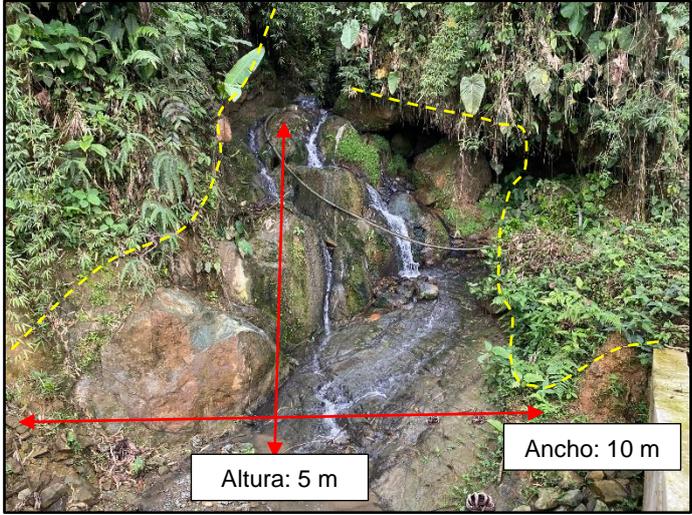
**Anexo 12.** *Fichas de afloramientos descritos*

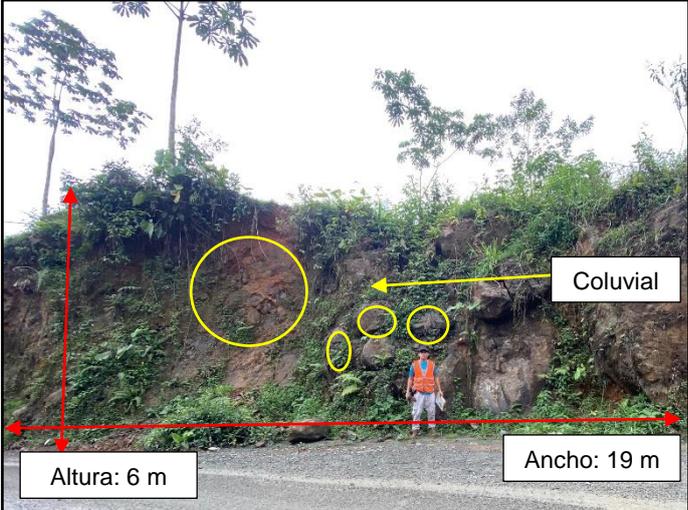
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL						
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
N° de afloramiento: A1		Código de la muestra: Af1		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x: 644686 m	y: 9658446 m	z: 628 m.s.n.m.		Datum: WGS84	
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar		Formación:			
<b>Descripción:</b> Este afloramiento pertenece a la Unidad Pallatanga y corresponde a andesitas basálticas expuestas en una quebrada cerca del campamento y a 150 m de la bocamina. La roca de color gris oscuro y de grano fino muestra evidencias de leve meteorización superficial y fracturamiento.						
Elementos de Yacencia	Rumbo:	Buzamiento:		Dip/Dip Dir:		
Estructuras	Fallas ( )	Vetas ( )		Otros ( )		
Ancho	5m		Alto		24 m	
Hidrología	Seco ( )		Húmedo ( )		Goteo ( )	Flujo ( x )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( x )	Resistente ( )	Moder. Resistente ( )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( )
Grado de Meteorización	Inalterada ( )	Liger. Meteorizada ( x )	Moder. Meteorizada ( )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( )	Suelo Residual ( )
MATRIZ ROCOSA						
Nombre	Andesita Basáltica					
Color	Gris Oscuro					
Mineralogía	Pirita					
Estado	Roca sana					
Fotografía						

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL						
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
N° de afloramiento: A2		Código de la muestra: Af2		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x: 643922 m	y: 9659010 m	z: 761 m.s.n.m.		Datum: WGS84	
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar		Formación:			
Descripción: Roca ígnea moderadamente fracturada y cobertura vegetal de 2m. La roca presente venillas de cuarzo de < 1 cm.						
Elementos de Yacencia	Rumbo: 155 °		Buzamiento: 85°		Dip/Dip Dir: 85°/ 245°	
Estructuras	Fallas ( )		Vetas ( x )		Otros ( )	
Ancho	5m		Alto		2 m	
Hidrología	Seco ( )		Húmedo ( x )		Goteo ( )	Flujo ( x )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( x )	Resistente ( )	Moder. Resistente ( )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( )
Grado de Meteorización	Inalterada ( )	Liger. Meteorizada ( )	Moder. Meteorizada ( x )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( )	Suelo Residual ( )
MATRIZ ROCOSA						
Nombre	Andesita Basáltica					
Color	Gris Oscuro					
Mineralogía	Pirita					
Estado	Roca sana					
Fotografía						

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL						
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
N° de afloramiento: A3		Código de la muestra: Af3		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x: 644023 m	y: 9658903 m	z: 746 m.s.n.m.		Datum: WGS84	
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar		Formación:			
Descripción: Suelo residual de coloración rojiza y presenta fragmentos de la roca matriz menores a 10 cm dentro de una matriz areno-arcillosa, capa vegetal < 0.8 m.						
Elementos de Yacencia	Rumbo: 155 °		Buzamiento: 85°		Dip/Dip Dir: 85°/ 245°	
Estructuras	Fallas ( )		Vetas ( )		Otros ( )	
Ancho	9 m		Alto		5 m	
Hidrología	Seco ( )		Húmedo ( x )		Goteo ( )	Flujo ( x )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( )	Resistente ( )	Moder. Resistente ( )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( x )
Grado de Meteorización	Inalterada ( )	Liger. Meteorizada ( )	Moder. Meteorizada ( )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( )	Suelo Residual ( x )
MATRIZ ROCOSA						
Nombre	Suelo Residual					
Color	Pardo Rojizo					
Mineralogía						
Estado	Totalmente meteorizado					
Fotografía						

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL						
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
N° de afloramiento: A4		Código de la muestra: Af4		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x: 644290 m	y: 9658577 m	z: 630 m.s.n.m.		Datum: WGS84	
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar		Formación:			
Descripción: Suelo residual de coloración rojiza y presenta fragmentos muy meteorizados de la roca matriz menores a 10 cm dentro de una matriz areno-arcillosa, capa vegetal < 0.4 m.						
Elementos de Yacencia	Rumbo: 065 °		Buzamiento: 79°		Dip/Dip Dir: 79°/ 155°	
Estructuras	Fallas ( )		Vetas ( x ) Dip/Dip Dir: 60°/095°		Otros ( )	
Ancho	14 m		Alto		7 m	
Hidrología	Seco ( )		Húmedo ( x )		Goteo ( )	Flujo ( x )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( )	Resistente ( )	Moder. Resistente ( )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( x )
Grado de Meteorización	Inalterada ( )	Liger. Meteorizada ( )	Moder. Meteorizada ( )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( x )	Suelo Residual ( )
MATRIZ ROCOSA						
Nombre	Suelo Residual					
Color	Pardo Rojizo					
Mineralogía						
Estado	Totalmente meteorizado					
Fotografía						

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL						
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
N° de afloramiento: A5		Código de la muestra: Af5		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x: 644357 m	y: 9658626 m	z: 623 m.s.n.m.		Datum: WGS84	
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar		Formación:			
Descripción: Quebrada, presencia de grandes bloques de roca matriz y afloramientos de roca sana (macizo rocosa) roca ígnea, a los lados del afloramiento se evidencia capa de saprolito de 2 – 3 m .						
Elementos de Yacencia	Rumbo: 115 °		Buzamiento: 18°		Dip/Dip Dir: 18°/ 205°	
Estructuras	Fallas ( )		Vetas ( )		Otros ( )	
Ancho	10 m		Alto		5 m	
Hidrología	Seco ( )		Húmedo ( )		Goteo ( )	Flujo ( x )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( x )	Resistente ( )	Moder. Resistente ( )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( )
Grado de Meteorización	Inalterada ( )	Liger. Meteorizada ( x )	Moder. Meteorizada ( )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( )	Suelo Residual ( )
MATRIZ ROCOSA						
Nombre	Andesita Basáltica					
Color	Gris Oscura					
Mineralogía						
Estado	Ligeramente Meteorizado					
Fotografía						

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL						
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
N° de afloramiento: A6		Código de la muestra: Af6		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x: 644473 m	y: 9658539 m	z: 606 m.s.n.m.		Datum: WGS84	
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar		Formación:			
Descripción: Roca ígnea muy fracturada (andesita-basalto) y muy meteorizada en zonas de fractura; se presenta suelo residual, vegetación < 0.8 m.						
Elementos de Yacencia	Rumbo: 290°		Buzamiento: 75°		Dip/Dip Dir: 75°/ 020°	
Estructuras	Fallas ( )		Vetas ( )		Otros ( )	
Ancho	19 m		Alto		6 m	
Hidrología	Seco ( )		Húmedo ( x )		Goteo ( )	Flujo ( )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( )	Resistente ( )	Moder. Resistente ( x )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( )
Grado de Meteorización	Inalterada ( )	Liger. Meteorizada ( )	Moder. Meteorizada ( x )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( )	Suelo Residual ( )
MATRIZ ROCOSA						
Nombre	Suelo Residual					
Color	Pardo Rojizo					
Mineralogía						
Estado	Totalmente alterada					
Fotografía						

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL						
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
N° de afloramiento: A7		Código de la muestra: Af7		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x: 644560 m	y: 9658496 m	z: 557 m.s.n.m.		Datum: WGS84	
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar		Formación:			
Descripción: Roca ígnea moderadamente fracturada por presencia de una veta de 0.2 m, vegetación > 3m						
Elementos de Yacencia	Rumbo: 290°		Buzamiento: 75°		Dip/Dip Dir: 75°/ 020°	
Estructuras	Fallas ( )		Vetas ( )		Otros ( )	
Ancho	6 m		Alto		2.5 m	
Hidrología	Seco ( x )		Húmedo ( )		Goteo ( )	Flujo ( )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( x )	Resistente ( )	Moder. Resistente ( )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( )
Grado de Meteorización	Inalterada ( )	Liger. Meteorizada ( x )	Moder. Meteorizada ( )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( )	Suelo Residual ( )
MATRIZ ROCOSA						
Nombre	Andesita Basáltica					
Color	Gris Oscuro					
Mineralogía						
Estado	Ligeramente Alterada					
Fotografía						

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL						
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
N° de afloramiento: A8		Código de la muestra: Af8		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x: 644495 m	y: 9658114 m	z: 415 m.s.n.m.		Datum: WGS84	
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar		Formación:			
Descripción: Afloramiento completo de saprolito o suelo residual, ya no se presentan fragmentos de la matriz rocosa original.						
Elementos de Yacencia	Rumbo: 150°		Buzamiento: 88°		Dip/Dip Dir: 88°/ 240°	
Estructuras	Fallas ( )		Vetas ( )		Otros ( )	
Ancho	18 m		Alto		5 m	
Hidrología	Seco ( )		Húmedo ( x )		Goteo ( )	Flujo ( )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( )	Resistente ( )	Moder. Resistente ( )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( x )
Grado de Meteorización	Inalterada ( )	Liger. Meteorizada ( )	Moder. Meteorizada ( )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( )	Suelo Residual ( x )
MATRIZ ROCOSA						
Nombre	Suelo Residual					
Color	Pardo Rojizo					
Mineralogía						
Estado	Totalmente alterado					
Fotografía						

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL						
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
N° de afloramiento: A9		Código de la muestra: Af9		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x: 644351 m	y: 9658001 m	z: 371 m.s.n.m.	Datum: WGS84		
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar		Formación:			
<p><b>Descripción:</b> El macizo rocoso se encuentra expuesto y moderadamente meteorizado, compuesto de andesita de grano fino. Al pie de este se encuentra la quebrada en donde se identificó un depósito aluvial compuesto de fragmentos de rocas ígneas transportados de las partes altas con mayor pendiente y depositados en esta zona de menor pendiente, los fragmentos están semiredondeados y corresponden a andesitas y basaltos de grano fino con tonalidades de gris a azul oscuro.</p>						
Elementos de Yacencia	Rumbo: 155°	Buzamiento: 74°	Dip/Dip Dir: 88°/ 245°			
Estructuras	Fallas ( )	Vetas ( )	Otros ( )			
Ancho	10 m	Alto	4 m			
Hidrología	Seco ( )		Húmedo ( x )		Goteo ( )	Flujo ( )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( )	Resistente ( x )	Moder. Resistente ( )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( )
Grado de Meteorización	Inalterada ( )	Liger. Meteorizada ( )	Moder. Meteorizada ( x )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( )	Suelo Residual ( )
MATRIZ ROCOSA						
Nombre	Andesita					
Color	Azul Oscuro					
Mineralogía						
Estado	Moderadamente Meteorizado					
Fotografía						

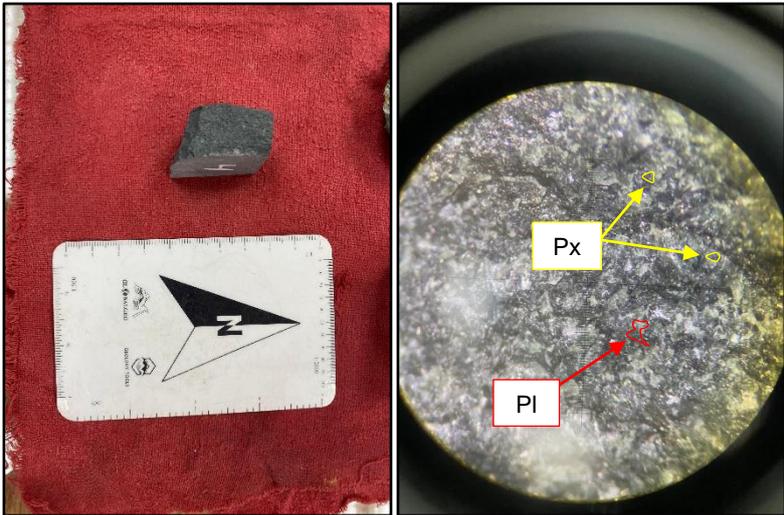
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL						
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
N° de afloramiento: A10		Código de la muestra: Af10		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x: 644495 m	y: 9658114 m	z: 415 m.s.n.m.		Datum: WGS84	
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar		Formación:			
Descripción: Quebrada con afloramiento de macizo rocoso, roca ígnea por ambos lados, la roca esta sana y zonas levemente fracturadas, vegetación > 2m.						
Elementos de Yacencia	Rumbo: 160°		Buzamiento: 70°		Dip/Dip Dir: 70°/ 240°	
Estructuras	Fallas ( )		Vetas ( )		Otros ( )	
Ancho	30 m		Alto		15 m	
Hidrología	Seco ( )		Húmedo ( )		Goteo ( )	Flujo ( x )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( x )	Resistente ( )	Moder. Resistente ( )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( )
Grado de Meteorización	Inalterada ( )	Liger. Meteorizada ( x )	Moder. Meteorizada ( )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( )	Suelo Residual ( )
MATRIZ ROCOSA						
Nombre	Andesita					
Color	Azul Oscura					
Mineralogía						
Estado	Ligeramente alterado					
Fotografía						

**Anexo 13.** *Fichas de descripción petrográfica de las muestras*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA									
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES									
CARRERA DE INGENIERÍA EN MINAS									
PROYECTO DISEÑO DE UN CRUCERO EN LA MINA PARAÍSO									
<b>CÓDIGO DE LA MUESTRA</b>				M1		<b>COLECTOR:</b>		Victor David Rodriguez Aguilar	
<b>PROCEDENCIA DE LA MUESTRA</b>				<b>DATOS DE UBICACIÓN</b>					
Procedencia	Interior Mina	X	Superficie	<b>DATUM</b>		WGS84	X	PSAD56	
Ubicación	Hastial izquierdo			<b>Norte (Y)</b>				<b>Provincia</b>	Azuay
Abscisa	P 1785 1785-005.00			<b>Este (X)</b>				<b>Cantón</b>	Ponce
<b>DATOS ESTRUCTURALES</b>				<b>Cota (Z)</b>				<b>Sector</b>	Bella R.
<b>Rumbo/Azimut</b>				<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA</b>					
<b>Buzamiento</b>				<b>Minerales Principales</b>					
<b>Dirección de Bz</b>								Cuarzo	2 %
<b>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</b>								Feldspatos	3 %
<b>Color</b>				Gris oscuro				Plagioclasa	52 %
0-25%		25-45%	X	45-85%		85-100%			
<b>Textura</b>			<b>Grado de Cristalinidad</b>			<b>Minerales Secundarios</b>			
Fanerítica			Holohialinas			Piroxeno		X	
Afanítica		X	Hipocristalinas		X	Hornblenda		X	
Porfídica			Holocristalinas			Olivino			
Vítrea			<b>Composición Química</b>			Otros			
Piroclástica			Intermedia			<b>Mineralización</b>			
<b>Tipo de roca</b>		Ígnea extrusiva			Pirita		X		
<b>Nombre de la roca</b>		Andesita basáltica							
FOTOGRAFÍA									

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA									
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES									
CARRERA DE INGENIERÍA EN MINAS									
PROYECTO DISEÑO DE UN CRUCERO EN LA MINA PARAÍSO									
<b>CÓDIGO DE LA MUESTRA</b>			M2			<b>COLECTOR:</b>		Victor David Rodriguez Aguilar	
<b>PROCEDENCIA DE LA MUESTRA</b>					<b>DATOS DE UBICACIÓN</b>				
Procedencia	Interior Mina	X	Superficie		<b>DATUM</b>	WGS84	X	PSAD56	
Ubicación	Hastial izquierdo				<b>Norte (Y)</b>		<b>Provincia</b>	Azuay	
Abscisa	P 1785 1785+045.00				<b>Este (X)</b>		<b>Cantón</b>	Ponce	
<b>DATOS ESTRUCTURALES</b>					<b>Cota (Z)</b>		<b>Sector</b>	Bella R.	
Rumbo/Azimut					<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA</b>				
Buzamiento					<b>Minerales Principales</b>				
<b>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</b>					Cuarzo		4 %		
Color	Gris oscuro				Feldespatos		2 %		
					Plagioclasa		53 %		
0-25%		25-45%	X	45-85%		85-100%			
<b>Textura</b>			<b>Grado de Cristalinidad</b>			<b>Minerales Secundarios</b>			
Fanerítica		Holohialinas				Piroxeno		X	
Afanítica	X	Hipocristalinas			X	Hornblenda		X	
Porfídica		Holocristalinas				Olivino			
Vítrea		<b>Composición Química</b>			Otros				
Piroclástica		Intermedia			<b>Mineralización</b>				
<b>Tipo de roca</b>	Ígnea extrusiva				Pirita		X		
<b>Nombre de la roca</b>	Andesita basáltica								
FOTOGRAFÍA									

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA									
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES									
CARRERA DE INGENIERÍA EN MINAS									
PROYECTO DISEÑO DE UN CRUCERO EN LA MINA PARAÍSO									
<b>CÓDIGO DE LA MUESTRA</b>			M3			<b>COLECTOR:</b>		Victor David Rodriguez Aguilar	
<b>PROCEDENCIA DE LA MUESTRA</b>					<b>DATOS DE UBICACIÓN</b>				
Procedencia	Interior Mina	X	Superficie		<b>DATUM</b>	WGS84	X	PSAD56	
Ubicación	Hastial izquierdo				<b>Norte (Y)</b>		<b>Provincia</b>	Azuary	
Abscisa	P 1785 1785+095.00				<b>Este (X)</b>		<b>Cantón</b>	Ponce	
<b>DATOS ESTRUCTURALES</b>					<b>Cota (Z)</b>		<b>Sector</b>	Bella R.	
Rumbo/Azimut					<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA</b>				
Buzamiento					<b>Minerales Principales</b>				
<b>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</b>					Cuarzo		4 %		
Color	Gris oscuro				Feldespatos		3 %		
					Plagioclasa		57 %		
0-25%		25-45%	X	45-85%		85-100%			
<b>Textura</b>			<b>Grado de Cristalinidad</b>			<b>Minerales Secundarios</b>			
Fanerítica		Holohialinas				Piroxeno		X	
Afanítica	X	Hipocristalinas			X	Hornblenda		X	
Porfídica		Holocristalinas				Olivino			
Vítrea		<b>Composición Química</b>			Otros				
Piroclástica		Intermedia			<b>Mineralización</b>				
<b>Tipo de roca</b>	Ígnea extrusiva				Pirita		X		
<b>Nombre de la roca</b>	Andesita basáltica								
FOTOGRAFÍA									

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA									
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES									
CARRERA DE INGENIERÍA EN MINAS									
PROYECTO DISEÑO DE UN CRUCERO EN LA MINA PARAÍSO									
<b>CÓDIGO DE LA MUESTRA</b>			M4			<b>COLECTOR:</b>		Victor David Rodriguez Aguilar	
<b>PROCEDENCIA DE LA MUESTRA</b>					<b>DATOS DE UBICACIÓN</b>				
Procedencia	Interior Mina	X	Superficie		<b>DATUM</b>	WGS84	X	PSAD56	
Ubicación	Frente del Crucero				<b>Norte (Y)</b>		<b>Provincia</b>	Azuay	
Abscisa	P 1785 1785+133.00				<b>Este (X)</b>		<b>Cantón</b>	Ponce	
<b>DATOS ESTRUCTURALES</b>					<b>Cota (Z)</b>		<b>Sector</b>	Bella R.	
Rumbo/Azimut					<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA</b>				
Buzamiento					<b>Minerales Principales</b>				
Dirección de Bz									
<b>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</b>					Cuarzo		2 %		
Color	Gris oscuro				Feldespatos		4 %		
					Plagioclasa		54 %		
0-25%		25-45%	X	45-85%		85-100%			
<b>Textura</b>			<b>Grado de Cristalinidad</b>			<b>Minerales Secundarios</b>			
Fanerítica		Holohialinas				Piroxeno		X	
Afanítica	X	Hipocristalinas			X	Hornblenda		X	
Porfídica		Holocristalinas				Olivino			
Vítrea		<b>Composición Química</b>			Otros				
Piroclástica		Intermedia			<b>Mineralización</b>				
<b>Tipo de roca</b>	Ígnea extrusiva				Pirita		X		
<b>Nombre de la roca</b>	Andesita basáltica								
FOTOGRAFÍA									
+									

**Anexo 14.** *Fichas de estaciones geomecánicas*



Ficha de Caracterización Geomecánica																		
Proyecto		Diseño de un Crucero						Ubicación				Por	Victor David Rodriguez					
Mina		Paraíso						Punto	1785		Abscisa	+015.00		Fecha	27 de abril de 2024			
N° Estación		Azimet (°)	Buzamiento (°)				Valoración del Macizo Rocoso (RMR 1989)											
E2		266	90				Parámetros			Rango de Valores								
Tipo de Roca		Dureza	RQD (%)				Resistencia a la compresión (Mpa)		>250 Mpa	250 - 100 Mpa	100 - 50 Mpa	50 - 25 Mpa	25-5	5-1	<1			
Andesita basáltica		MR	98.5				Valoración		15	12	7	4	2	1	0			
Característica de las discontinuidades																		
N° De Familias	Tipo De Estructura	Buzamiento	Dir. Buz.	N° De estructuras	Esp. (m)	Forma	Persistencia (val)	Abertura (val)	Rugosidad (val)	Relleno (val)	Alteración (val)	RQD						
												90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
S1		57	51		0.2		4	5	5	6	6	Valoración		20	17	13	8	3
												Espaciamiento		> 2m	> 0.6 - 2m	0.2 - 0.6m	0.06 - 0.2m	< 0.06m
		57	51		0.2		4	6	5	6	6	Valoración		20	15	10	8	5
												Condición de Juntas						
		57	51		0.2		4	6	5	6	6	Persistencia		< 1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
												Abertura		Cerrada	<0.1mm.	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm
		57	51		0.2		4	6	5	6	6	Valoración		6	5	4	1	0
												Rugosidad		Muy Rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Lisa	Pulido
		69	53		0.2		4	5	5	6	5	Valoración		6	5	3	1	0
												Relleno		Limpio	Duro <5mm.	Duro >5mm.	Suave<5mm	Suave>5mm
												Valoración		6	4	2	2	0
												Alteración		Sana	Lig. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta
				PROM.	0.2		4.0	5.6	5.0	6.0	5.8	Valoración		6	5	3	1	0
												Agua Subterránea		Seco	Húmedo	Saturado	Goteo	Fluyendo
												Valoración		15	10	7	4	0
												Corrección por Orientación		Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable
												Valoración		0	-2	-5	-10	-12
												Clasificación		Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
												Valoración		100-81	80-61	60-41	40-21	<20
												Clase de Macizo / Calidad		<b>Clase II / Buena</b>				
Proyección Estereográfica												Fotografía de la Estación						
												Hastial derecho						
																		













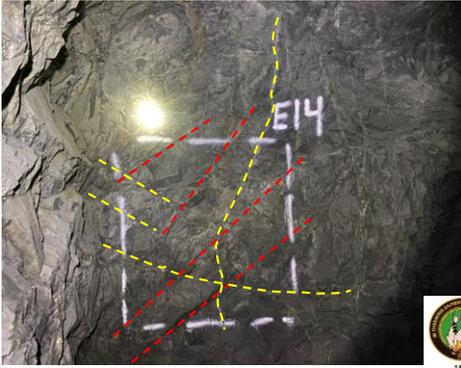
Ficha de Caracterización Geomecánica																			
Proyecto		Diseño de un Crucero						Ubicación				Por	Victor David Rodriguez						
Mina		Paraíso						Punto	1785	Abscisa	+085.00	Fecha	27 de abril de 2024						
N° Estación		Azimut (°)	Buzamiento (°)	Valoración del Macizo Rocoso (RMR 1989)															
E9		266	90	Parámetros				Rango de Valores											
Tipo de Roca		Dureza	RQD (%)	Resistencia a la compresión (Mpa)				>250 Mpa	250 - 100 Mpa	100 - 50 Mpa	50 - 25 Mpa	25-5	5-1	<1					
Andesita basáltica		MR	100	Valoración				15	12	7	4	2	1	0					
Característica de las discontinuidades																			
N° De Familias	Tipo De Estructura	Buzamiento	Dir. Buz.	N° De estructuras	Esp. (m)	Forma	Persistencia (val)	Abertura (val)	Rugosidad (val)	Relleno (val)	Alteración (val)	RQD			Condición de Juntas				
												90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%	Persistencia	< 1m	1-3m
S1		41	5		0.5		6	6	5	6	6	Valoración	20	17	13	8	3		
		43	7		0.5		6	6	5	6	6	Espaciamiento	> 2m	> 0.6 - 2m	0.2 - 0.6m	0.06 - 0.2m	< 0.06m		
S2		44	176		1		6	6	5	6	6	Valoración	20	15	10	8	5		
												Condición de Juntas							
												Persistencia	< 1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
												Valoración	6	4	2	1	0		
												Abertura	Cerrada	<0.1mm.	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
												Valoración	6	5	4	1	0		
												Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Lisa	Pulido		
												Valoración	6	5	3	1	0		
												Relleno	Limpio	Duro <5mm.	Duro >5mm.	Suave<5mm	Suave>5mm		
												Valoración	6	4	2	2	0		
												Alteración	Sana	Lig. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta		
					PROM. 0.667		6.0	6.0	5.0	6.0	6.0	Valoración	6	5	3	1	0		
												Agua Subterránea	Seco	Húmedo	Saturado	Goteo	Fluyendo		
												Valoración	15	10	7	4	0		
												Corrección por Orientación	Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable		
												Valoración	0	-2	-5	-10	-12		
												Clasificación	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
												Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	<20		
												GSI	89	Valoración RMR	81	Clase de Macizo / Calidad			
															Clase I / Muy buena				
												Proyección Estereográfica				Fotografía de la Estación			
																Hastial derecho			
																			









Ficha de Caracterización Geomecánica																				
Proyecto		Diseño de un Crucero						Ubicación				Por	Victor David Rodriguez							
Mina		Paraíso						Punto	1785	Abscisa	+133.00	Fecha	27 de abril de 2024							
N° Estación		Azimut (°)	Buzamiento (°)	Valoración del Macizo Rocoso (RMR 1989)																
E14		176	90	Parámetros				Rango de Valores												
Tipo de Roca		Dureza	RQD (%)	Resistencia a la compresión (Mpa)				>250 Mpa	250 - 100 Mpa	100 - 50 Mpa	50 - 25 Mpa	25-5	5-1	<1						
Andesita basáltica		MR	89.26	Valoración				15	12	7	4	2	1	0						
Característica de las discontinuidades																				
N° De Familias	Tipo De Estructura	Buzamiento	Dir. Buz.	N° De estructuras	Esp. (m)	Forma	Persistencia (val)	Abertura (val)	Rugosidad (val)	Relleno (val)	Alteración (val)	RQD								
												90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%				
													Valoración	20	17	13	8	3		
													Espaciamiento	> 2m	> 0.6 - 2m	0.2 - 0.6m	0.06 - 0.2m	< 0.06m		
													Valoración	20	15	10	8	5		
Condición de Juntas																				
													Persistencia	< 1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
													Valoración	6	4	2	1	0		
													Abertura	Cerrada	<0.1mm.	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
													Valoración	6	5	4	1	0		
													Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Lisa	Pulido		
													Valoración	6	5	3	1	0		
													Relleno	Limpio	Duro <5mm.	Duro >5mm.	Suave<5mm	Suave>5mm		
													Valoración	6	4	2	2	0		
													Alteración	Sana	Lig. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta		
													Valoración	6	5	3	1	0		
													Agua Subterránea	Seco	Húmedo	Saturado	Goteo	Fluyendo		
													Valoración	15	10	7	4	0		
													Corrección por Orientación	Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable		
													Valoración	0	-2	-5	-10	-12		
													Clasificación	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
													Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	<20		
													GSI	85	Valoración RMR	82	Clase de Macizo / Calidad			
																Clase I / Muy buena				
													Proyección Estereográfica				Fotografía de la Estación			
																	Frente - Tope			
																				

Ficha de Caracterización Geomecánica																			
Proyecto		Diseño de un Crucero						Ubicación				Por	Victor David Rodriguez						
Mina		Paraíso						Punto	1785	Abscisa	-005.00	Fecha	27 de abril de 2024						
N° Estación		Azimut (°)	Buzamiento (°)	Valoración del Macizo Rocoso (RMR 1989)															
E15		266	90	Parámetros				Rango de Valores											
Tipo de Roca		Dureza	RQD (%)	Resistencia a la compresión (Mpa)				>250 Mpa	250 - 100 Mpa	100 - 50 Mpa	50 - 25 Mpa	25-5	5-1	<1					
Andesita basáltica		MR	87.5	Valoración				15	12	7	4	2	1	0					
Característica de las discontinuidades																			
N° De Familias	Tipo De Estructura	Buzamiento	Dir. Buz.	N° De estructuras	Esp. (m)	Forma	Persistencia (val)	Abertura (val)	Rugosidad (val)	Relleno (val)	Alteración (val)	RQD							
												90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
S1		51	65		0.12		4	4	5	4	5	Valoración		20	17	13	8	3	
												Espaciamiento		> 2m	> 0.6 - 2m	0.2 - 0.6m	0.06 - 0.2m	< 0.06m	
		51	65		0.12		4	6	5	6	5	Valoración		20	15	10	8	5	
Condición de Juntas																			
		52	65		0.12		4	6	5	6	5	Persistencia		< 1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	
		55	65		0.12		4	6	5	6	5	Abertura		Cerrada	<0.1mm.	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm	
		51	65		0.12		4	4	6	6	5	Valoración		6	5	3	1	0	
		52	65		0.12		4	6	6	6	5	Rugosidad		Muy Rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Lisa	Pulido	
		51	65		0.12		4	4	6	6	5	Relleno		Limpio	Duro <5mm.	Duro >5mm.	Suave<5mm	Suave>5mm	
		51	65		0.12		4	6	6	6	5	Valoración		6	4	2	2	0	
		51	65		0.12		4	6	6	6	5	Alteración		Sana	Lig. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	
					PROM.		4.0	5.3	5.4	5.5	5.0	Valoración		6	5	3	1	0	
												Agua Subterránea		Seco	Húmedo	Saturado	Goteo	Fluyendo	
												Valoración		15	10	7	4	0	
												Corrección por Orientación		Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable	
												Valoración		0	-2	-5	-10	-12	
												Clasificación		Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala	
												Valoración		100-81	80-61	60-41	40-21	<20	
												GSI	83	Valoración RMR	73	Clase de Macizo / Calidad			
															Clase II / Buena				
												Proyección Estereográfica				Fotografía de la Estación			
																Hastial derecho			
																			

**Anexo 15. Ficha de descripción de afloramientos**



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

<b>CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA SUPERFICIAL</b>						
<b>DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS</b>						
Número de muestra:		Código:		Proyecto: Diseño de Crucero		
Coordenadas	x:	y:	z:	Datum: WGS84		
Autor	Victor David Rodriguez Aguilar			Formación:		
Descripción:						
Elementos de Yacencia	Rumbo:		Buzamiento:		Dip/Dip Dir:	
Estructura	Fallas ( )		Pliegues ( )		Otros ( )	
Ancho			Alto			
Hidrología	Seco ( )		Húmedo ( )		Goteo ( )	Flujo ( )
Clasificación Según Resistencia	Muy Resistente ( )	Resistente ( )	Moder. Resistente ( )	Débil ( )	Muy Débil ( )	Extrem. Débil ( )
Grado de meteorización	Inalterada ( )	Ligeramente Meteorizada ( )	Moder. Meteorizada ( )	Muy Meteorizada ( )	Compl. Meteorizada ( )	Suelo Residual ( )
<b>MATRIZ ROCOSA</b>						
Nombre						
Tipo						
Color						
Mineralogía						
Estado de roca						
Fotografía						

**Anexo 16. Índices para estimación de propiedades en campo**

**Tabla 83. Resistencia a compresión uniaxial a partir de índices de campo ISRM (1981)**

Clase (a)	Calificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial ( MPa )	Índice de carga puntual ( MPa )	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100 – 250	4 – 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5 – 25	(b)	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una cortaplumas pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 – 5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0,25 – 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Sabanda arcillosa dura.

**Nota.** Tomado de la Asociación Internacional de Mecánica de Rocas ISRM (1981, como se citó en González de Vallejo et al., 2002)

**Tabla 84. Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso in situ ISRM (1981)**

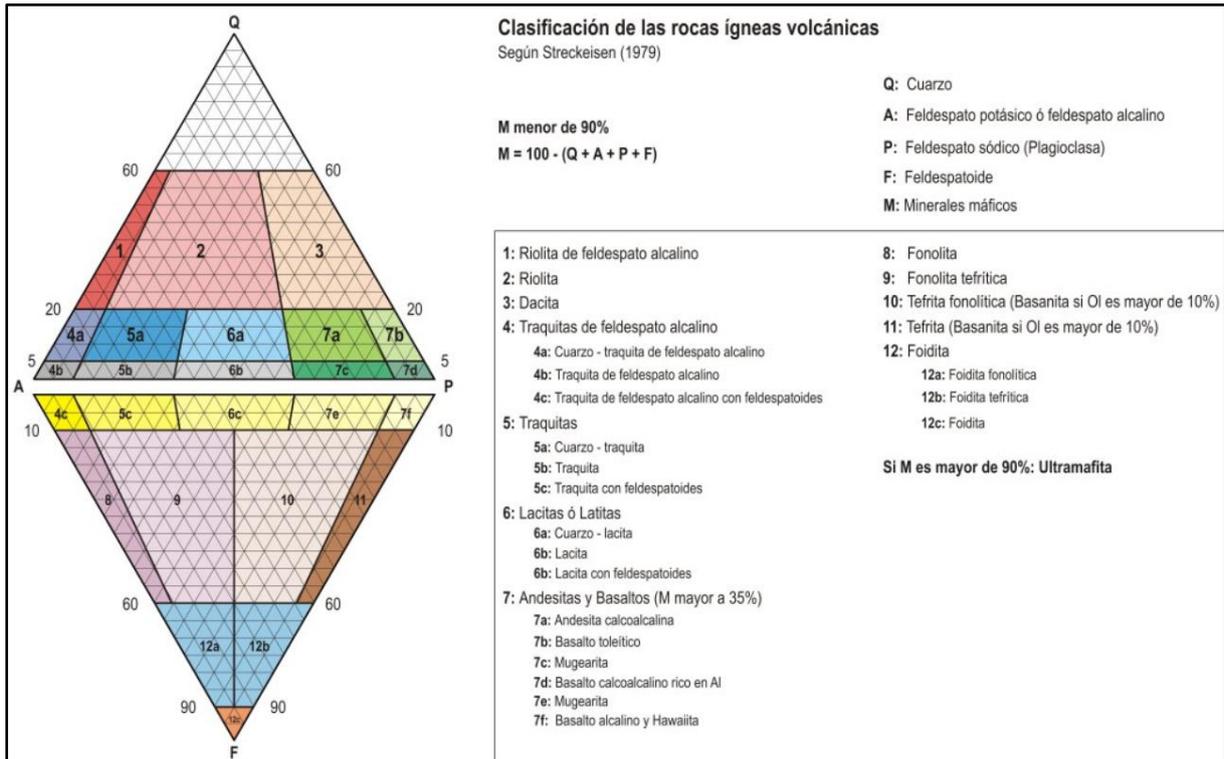
Descripción	Tipo	Grado de meteorización
No aparecen signos de meteorización	Fresco	I
La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.	Ligeramente meteorizado	II
Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados	Moderadamente meteorizado	III
Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados	Altamente meteorizado	IV
Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso	Completamente meteorizado	V
Todo el macizo rocoso se ha transformado en suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fábrica del material.	Suelo residual	VI

**Nota.** Tomado de la Asociación Internacional de Mecánica de Rocas ISRM (1981, como se citó en González de Vallejo et al., 2002)

Anexo 17. Ficha de descripción petrográfica

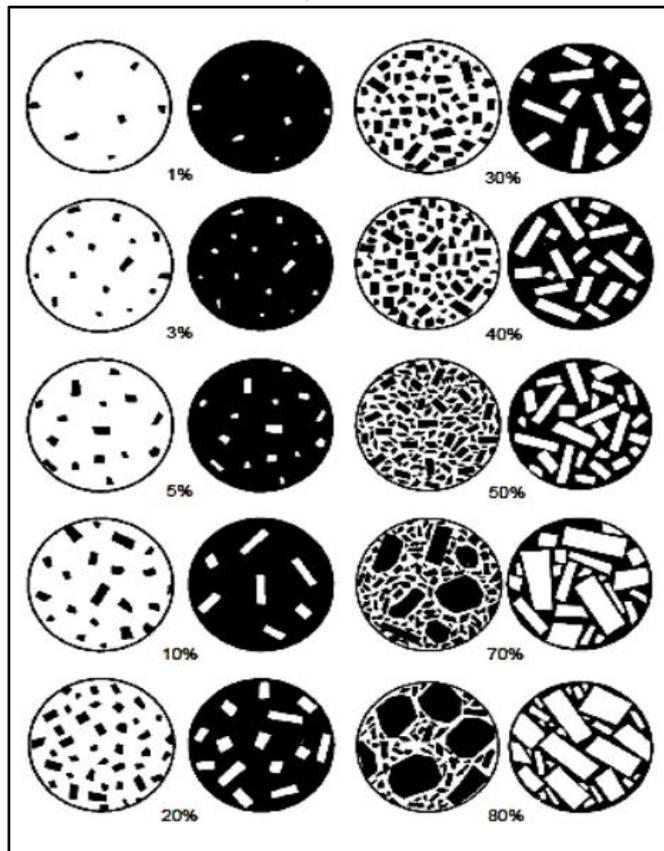
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b>									
<b>FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES</b>									
<b>CARRERA DE INGENIERÍA EN MINAS</b>									
<b>PROYECTO DISEÑO DE UN CRUCERO EN LA MINA PARAÍSO</b>									
<b>CÓDIGO DE LA MUESTRA</b>					<b>COLECTOR:</b> Victor David Rodriguez Aguilar				
<b>PROCEDENCIA DE LA MUESTRA</b>					<b>DATOS DE UBICACIÓN</b>				
Procedencia	Interior Mina		Superficie		<b>DATUM</b>	WGS84		PSAD56	
<b>Ubicación</b>					<b>Norte (Y)</b>		<b>Provincia</b>		
<b>Abscisa</b>					<b>Este (X)</b>		<b>Cantón</b>		
<b>DATOS ESTRUCTURALES</b>					<b>Cota (Z)</b>		<b>Sector</b>		
<b>Rumbo/Azimut</b>					<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA</b>				
<b>Buzamiento</b>					<b>Minerales Principales</b>				
<b>Dirección de Bz</b>					<b>Cuarzo</b>				
<b>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</b>					<b>Feldespatos</b>				
<b>Color</b>					<b>Plagioclasa</b>				
									
0-25%		25-45%		45-85%		85-100%			
<b>Textura</b>			<b>Forma de granos</b>			<b>Minerales Secundarios</b>			
<b>Fanerítica</b>			<b>Idiomorfo</b>			<b>Pirolocita</b>			
<b>Afanítica</b>			<b>Hipidiomorfo</b>			<b>Olivino</b>			
<b>Porfídica</b>			<b>Anhedral</b>			<b>Calcita</b>			
<b>Vitrea</b>			<b>% Fenocristales</b>						
<b>Piroclástica</b>						<b>Mineralización</b>			
<b>Tipo de roca</b>									
<b>Nombre de la roca</b>									
<b>FOTOGRAFÍA</b>									

**Anexo 18. Diagramas para identificación de rocas ígneas**



**Figura 66.** Diagrama de Streckeisen para rocas ígneas extrusivas

**Nota.** Tomado de Streckeisen (1979, como se citó en Castro, 1989).



**Figura 67.** Diagrama de estimación visual de porcentajes

**Nota.** Tomado de Philpotts (1989).



**Anexo 20. Parámetros de clasificación geomecánica de Bienawski RMR (1989)**

Resistencia de la roca intacta (Mpa)							
1	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Rangos para Ens.	
	Compresion simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1 <1
	Puntuacion	15	12	7	4	2	1 0
2	<b>RQD (%)</b>	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25	
	Puntuacion	20	17	13	6	3	
3	<b>Separacion de diaclasas</b>	>2 m.	0.6-2m.	0.2-0.6m.	0.06-0.2m.	<0.06m.	
	Puntuacion	20	15	10	8	5	
Estado de discontinuidades							
4	<b>Longitud</b>	< 1m.	1 - 3m.	3 - 10m.	10 - 20m.	> 20m.	
	Puntuacion	6	4	2	1	0	
	<b>Abertura</b>	Nada	< 0.1mm.	0.1 - 1.0mm.	1 - 5mm.	> 5mm.	
	Puntuacion	6	5	3	1	0	
	<b>Rugosidad</b>	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rug.	Lisa o plana	Pulida	
	Puntuacion	6	5	3	1	0	
	<b>Relleno</b>	Ninguno	< 5mm.(duro)	> 5mm.(duro)	< 5mm.(blandos)	> 5mm.(blandos)	
	Puntuacion	6	4	2	2	0	
	<b>Alteracion</b>	Inalterada	Liger. Alterada	Moder. Alterada	Muy alterada	descompuesta	
	Puntuacion	6	5	3	1	0	
Agua subterranea							
5	Flujo por C/10 m. de labor	Nulo	<10 Lts/min.	10-25 Lts/min.	25-125 Lts/min.	>125 Lts/min.	
	Presion de agua/tension principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5	
	Estado general	Seco	Humedo	Mojado	Goteando	Fluyendo	
	Puntuacion	15	10	7	4	0	
CORRECCION POR LA ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES							
B	Direccion y buzamiento	Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	
	Tuneles y minas	0	-2	-5	-10	-12	
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25	
	Taludes	0	-2	-25	-50	-60	

**Nota.** Tomado de Bieniawski (1989, como se citó en González de Vallejo et al., 2002).

**Anexo 21. Estimación del Índice Geológico de resistencia GSI**



**Nota.** Tomado de Hoek y Brown (1997, como se citó en González de Vallejo et al., 2002).

Anexo 22. Datos propiedades físicas y mecánicas de las rocas

E. Humedad Natural.

Nº H.	W. <del>húmeda</del> / Nº tara.	W. Tara.	W. tara + muestra húmeda	W. tara + muestra seca	$\% H = \frac{M_h - M_s \times 100}{M_s}$
1	M <sub>2</sub>	34.15 g.	337.17 g.	336.57	
2	BR.	32.12 g.	54.72.	54.63	
3	13R.	31.58 g	203.04	202.19	
4.	10R	30.65 g.	223.61.	223.14	

E. Densidad.

Nº H.	W. muestra.	Nombre.	W. saturado	W. sumergido
1	273.54 g.	control	273.96	178.64
2	278.09 g	MRVPO3	278.04	182.49
3	310.73 g	MRVPO4	310.91	203.80
4	214.88 g	—	215.16	141.78

? pignómetro

Nº	M (± 289) =	w <sub>2</sub>	w <sub>1</sub>
1	MRH03 (260)	147.83	167.72
2	MRH07 (243)		167.58
3	MRH08 (236)		167.68
4	MRH08 (236)		167.82

Nº	a	b	c	Peso	Fuerza	Área.	MPa.
1	50.5 mm	49.06	49.73	345.33	589.9 KN	2474.5 mm <sup>2</sup>	
2	48.88	49.61	48.40	339.14	583.8 KN	2420.6 mm <sup>2</sup>	
3	49.11	49.57	49.52	342.99	453.7 KN	2425.5 mm <sup>2</sup>	
4	48.79	49.16	49.55	344.77	969.2 KN	2396.0 mm <sup>2</sup>	

## CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Loja, 27 de noviembre de 2024

Yo, **Adriana Elizabeth Cango Patiño** con número de cedula 1103653133, Magister en Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros. Mención en Enseñanza de Inglés.

**Registro Senescyt 1049-2022-2589539**

### CERTIFICO:

Haber realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del trabajo de integración curricular denominado: Diseño de un crucero (955), en el nivel 2, para interceptar la veta SN01 de la mina “El Paraíso”, ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, de la provincia del Azuay, con número de cédula **0706569712**, del señor **Victor David Rodriguez Aguilar**, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Minas de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables. Dicho estudio se encontró bajo la dirección del **Ing. Hernán Luis Castillo García PhD**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Minas. Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, y autorizo al interesado hacer uso del documento para los fines académicos correspondientes.

Atentamente,



Mg. Sc. Adriana Elizabeth Cango Patiño  
Magister en Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros. Mención en Enseñanza de Inglés

Celular: 0989814921

Email: [adrianacango@hotmail.com](mailto:adrianacango@hotmail.com)